

**APROVECHAMIENTO DEL GAS NATURAL PARA LA REDUCCION DEL  
DIOXIDO DE CARBONO PRODUCIDO EN EL PROCESO INDUSTRIAL DEL  
RECOBRO MEJORADO TERMICO POR MEDIO DEL SOLAR EOR.**

**JUAN SEBASTIAN RODRIGUEZ SUAREZ**

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE EDUCACION PERMANENTE Y AVANZADA  
ESPECIALIZACION EN GESTION AMBIENTAL  
BOGOTA D.C.  
2017**

**APROVECHAMIENTO DEL GAS NATURAL PARA LA REDUCCION DEL  
DIOXIDO DE CARBONO PRODUCIDO EN EL PROCESO INDUSTRIAL DEL  
RECOBRO MEJORADO TERMICO POR MEDIO DEL SOLAR EOR.**

**JUAN SEBASTIAN RODRIGUEZ SUAREZ**

**Monografía para optar al título de Especialista en  
Gestión Ambiental**

**Orientador:  
JIMMY EDGARD ÁLVAREZ DÍAZ  
Biólogo, Doctor en Gestión de Recursos Naturales**

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE EDUCACION PERMANENTE Y AVANZADA  
ESPECIALIZACION EN GESTION AMBIENTAL  
BOGOTA D.C.  
2017**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

Firma del director de especialización

---

Firma del calificador

Bogotá, Octubre de 2017

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Educación Permanente

Dr. Luis Fernando Romero S.

Director Especialización en Gestión Ambiental.

Dr. Francisco Acher Narváez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis papas Jairo y Edna, a mis hermanos Diego y Valentina y a mi novia Catalina, por estar a mi lado siempre y potencializar lo mejor de mí, por enseñarme que las cosas con amor y pasión se logran y que toca entregar lo mejor de uno en cada proyecto que se realice.

“Se el cambio que quieres ver en el mundo”

***Gandhi***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi Familia por estar a mi lado día a día y darme lo mejor de ellos, por entregarme tanto amor y momentos inolvidables, también a todas las personas que conocí en este posgrado porque fue una etapa de mi vida muy especial.

A los profesores de la Fundación Universidad de América los cuales me entregaron grandes experiencias tanto humanas como académicas, y me dieron un valor agregado en mi vida profesional.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	16
OBJETIVOS	17
1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	18
1.1 TÉCNICAS DEL RECOBRO MEJORADO TÉRMICO.	18
1.1.1 Método del Solar EOR	19
1.1.2 Tipos de paneles solares	20
1.1.2.1 Torre solar	20
1.1.2.2 Tecnología de colectores Fresnel	21
1.1.2.3 Tecnología de Disco Striling	22
1.1.2.4 Tecnología de colectores Cilindro-Parabólico	23
1.1.2.5 Tecnología de Cilindro Cerrada	24
1.2 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO	25
1.2.1 Estudio de caso empresa <i>Glass Point</i>	25
1.2.2 Primer Caso de Estudio: Omán	25
1.2.3 Segundo Caso de Estudio: California.	26
1.3 EFICIENCIA DE LA TÉCNICA DEL SOLAR EOR	27
1.3.1 Aprovechamiento del gas natural	27
1.3.3 Aplicaciones del gas natural	28
2. METODOLOGIA	29
2.1 ANÁLISIS DOFA	29
2.2 ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES	30
2.2.1 Identificación de los impactos	30
2.2.2 Cuantificación de los impactos	31
3. PROCESO INDUSTRIAL DE LA TÉCNICA SOLAR EOR	32
3.1 PROCESO INDUSTRIAL	32
3.2 ANÁLISIS SITUACIONAL DEL PROCESO	37
3.2.1 Miraah	37
3.2.2 Berry	39
3.3 COMPARACION DE LOS ANALISIS SITUACIONALES DESCRITOS	41
4. IDENTIFICACION DE IMPACTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS	42
4.1 IMPACTOS POSITIVOS	42
4.2 IMPACTOS NEGATIVOS	48



5. ANALISIS DEL ENTORNO DE LA TECNOLOGIA SOLAR EOR	49
6. CONCLUSIONES.	56
7. RECOMENDACIONES.	57
BIBLIOGRAFÍA	58

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Especificaciones campo Miraah	26
Cuadro 2. Especificaciones del Campo Berry	26
Cuadro 3. Aplicaciones del Gas natural	28

## LISTA DE GRAFICOS

	<b>pág.</b>
Gráfico 1 Clasificación según de las técnicas de recobro.	18
Gráfico 2 Principio de operación de la generación de vapor.	20
Gráfico 3. Importacion de Gas natural en comparacion al Gas producido.	27
Gráfico 4. Proceso industrial Del Solar EOR.	32
Gráfico 5. Esquema estructural del Solar EOR.	33
Gráfico 6. Proceso de las calderas OTSG.	36
Gráfico 7. Crecimiento del solar EOR en las diferentes etapas.	44

## LISTA DE IMÁGENES

	<b>pág.</b>
Imagen 1 Torres Solares	21
Imagen 2. Colectores Fresnel.	22
Imagen 3. Discos de Stirling.	23
Imagen 4. Colectores cilindro- parabólico.	24
Imagen 5. Tecnología cilindro cerrada	25
<i>Imagen 6. Entorno general y específico de una empresa.</i>	31

## LISTA DE MAPAS

	<b>pág.</b>
Mapa 1. Localización del Sultanato de Omán.	37
Mapa 2. Localización del campo petrolero Berry, en California (Estados Unidos).	40

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Comparación de producción de los campos petroleros Miraah y Berry.	41
Tabla 2. Producción de toneladas de vapor por año en los diferentes escenarios proyectados (A completa escala, liderazgo del Mercado y estacionaria).	43
Tabla 3. Beneficios de los diferentes escenarios proyectados para la implementación del Solar EOR.	43
Tabla 4. Trabajos creados por el Solar EOR.	45
Tabla 5. Disminución de CO2 con la tecnología de Solar EOR	47
Tabla 6. Análisis PESTLE para la implementación de la tecnología Solar EOR.	50
Tabla 7. Análisis DOFA para la implementación de la tecnología Solar EOR.	54

## RESUMEN

La siguiente monografía tuvo como objetivo general Establecer la reducción de dióxido de carbono por medio del uso de la técnica Solar EOR, el cual permite alternativas para el aprovechamiento del gas natural. Esto se realizó por medio de una definición del proceso industrial, este fue abarcado desde su fase preliminar mostrando cada uno de los paneles solares que pueden ser utilizado en esta técnica, para así poder entender cómo se genera la sustitución del gas natural como fuente energética para la generación del vapor, este otorgara al proceso una disminución total en la emisión de gases de invernadero en especial del CO<sub>2</sub>, lo cual favorece a la empresa a generar reconocimiento y estatus por ser amigable con el medio ambiente y permitirá generar un mejor aprovechamiento del gas natural, el cual puede ser exportado como gas natural licuado, utilizado en procesos industriales con déficit energético o para suplir problemas de autosuficiencia que tenga el país.

La implementación del solar EOR como proceso verde se puede desarrollar por que se prioriza al medio ambiente como el foco de su proceso, en donde se busca el menor impacto ambiental que se pueda generar tanto a los ecosistemas, los recursos no renovables, renovables y demás factores asociados al medio ambiente. Pero al maximizar estos beneficios no significa que se tendrá una disminución en la eficiencia que se tendría en el proceso. Además de los beneficios ambientales, también se entregan beneficios económicos a los países donde se desarrollen con aumento de empleos, creación de oportunidades, nuevas relaciones internacionales y autosuficiencia energética, los beneficios sociales se pueden generar a partir de infraestructura o mejores condiciones para los empleados.

La empresa Glass Point se encuentra en un crecimiento constante, ya que su proceso es un muy innovador y poco conocido. Por lo que se va a generar un estudio del entorno de la empresa en los sectores económicos, sociales, políticos, tecnológico y así poder entender mejor a la empresa en su entorno general.

Para concluir esta monografía se desarrollara un análisis DOFA con el cual se crearan estrategias para potencializar este proceso en el mercado mundial.

**Palabras claves:** Glass Point, Solar EOR, Emisiones de CO<sub>2</sub>, Proceso verde.

## INTRODUCCION

“La contaminación nunca debería ser el precio de la prosperidad”

**Al Gore**

El propósito principal de esta investigación es exponer el desarrollo de las nuevas tecnologías en la industria del petróleo, específicamente en los cambios ocurridos en su proceso, teniendo en todo momento al medio ambiente en primer lugar. El principal reto que tienen las empresas hoy en día, es la necesidad de la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, debido a las graves consecuencias que atañen al planeta Tierra y por los grandes beneficios ambientales que pueden generar. Una de las opciones que las empresas petroleras utilizan para adoptar nuevas tecnologías, es la sustitución del uso del combustible fósil por otras alternativas energéticas más limpias. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las alternativas energéticas no implican un detrimento económico ni operacional para las empresas ya que, en la identificación y aplicación de estas, se requiere que la eficiencia energética de estas sea igual o superior a los procesos convencionales.

*Glass Point* es la empresa pionera en el recobro mejorado térmico terciario por medio de paneles solares, que genera la energía necesaria para poder evaporar el agua, aprovechando la radiación del sol. El agua evaporada pasa a través de una tubería para ser inyectada en la formación, con lo cual se genera un aumento en la temperatura del fluido y una disminución la viscosidad del hidrocarburo que aumenta la recuperación del mismo en superficie. La técnica de recobro mejorado por medio de paneles solares necesita la instalación de un complejo de paneles solares instalados en un invernadero, para protegerlos de las condiciones adversas del polvo, aire, agua y humedad del entorno. Lo más importante es mantener al máximo la eficiencia del proceso de recuperación, al mismo tiempo que se producen cero emisiones de dióxido de carbono gracias a la eliminación del uso del gas natural como fuente energética. Sin embargo, esto no significa que el gas natural se deseché si no que más bien se puede enviar a otros lugares donde haya déficit de este combustible, ya sea en el país de origen o en otros lugares para su exportación.

Al final del trabajo, se determinará el proceso de la empresa *Glass Point* para implementar la técnica del recobrado mejorado, mediante el análisis del entorno de la empresa con una matriz PESTLE, la cual permite el conocimiento de los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, legales y ambientales. Luego, se emplea un análisis DOFA, que analiza las oportunidades y fortalezas que hacen posible disminuir las debilidades y amenazas. Así se puede demostrar si los procesos implementados son más eficientes que los tradicionales y si traen mejores beneficios que un proceso común.



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Establecer la reducción de dióxido de carbono por medio del uso de la técnica Solar EOR, el cual permite alternativas para el aprovechamiento del gas natural.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

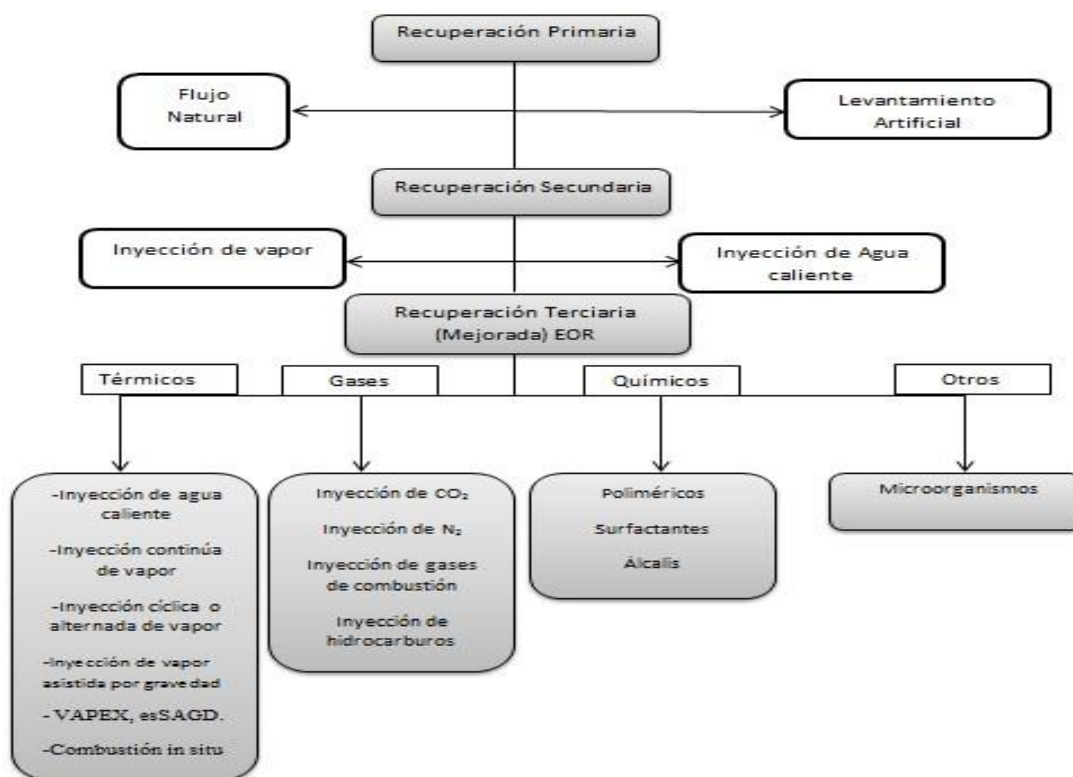
- Definir el proceso industrial del recobro mejorado conocido como Solar EOR.
- Estimar la cantidad de dióxido de carbono producido con el uso de la técnica de recobro térmico mejorado en los campos de Miraah y Berry, donde opera la empresa *Glass Point*.
- Identificar el entorno empresarial de *Glass Point* para la construcción de las estrategias utilizadas por la empresa.

# 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

## 1.1 TÉCNICAS DEL RECOBRO MEJORADO TÉRMICO.

La clasificación del petróleo, se rige bajo dos conceptos relevantes que ayudan a entender su comportamiento. En primer lugar, se encuentra la viscosidad, propiedad que mide de una manera cuantitativa la oposición que tiene el fluido a moverse, entre mayor sea este valor, mayor resistencia tendrá. La segunda propiedad, es la densidad que se mide en grados API (American Petroleum Institute), que se emplea normalmente como medida de la densidad para la clasificación del petróleo:

Gráfico 1 Clasificación según de las técnicas de recobro.



**Fuente:** A. A. Olajire, "Review of ASP EOR (alkaline surfactant polymer enhanced oil recovery) technology in the petroleum industry: Prospects and challenges," Energy, vol. 77, pp. 963-982, Dec. 2014.

Como se observa en la ilustración 1, la técnica del recobro mejorado, solar EOR, se encuentra en la categoría de recobro terciario, la cual es un recobro térmico que utiliza la inyección continua de vapor.

### 1.1.1 Método del Solar EOR

La solar EOR, es una técnica que se viene investigando desde 1983, la empresa ARCO Solar fue la primera en generar un plan piloto acerca del recobro mejorado térmico por medio de energía solar. Como dice Larson<sup>1</sup>, este proyecto pionero se dio en la ciudad de Taft, California. Para ello se utilizó una torre solar, la cual alcanzo a generar 1 mega watt de energía térmica en su pico de operación más alto. El beneficio que generaba la implementación de este proceso, en esta época específica, como argumenta R. Mokhtari<sup>2</sup>, no tenía la eficiencia necesaria por lo que no se pudo seguir desarrollando.

La solar EOR o también conocida como la técnica solar *thermal enhanced oil recovery*, es un nuevo proceso de recuperación terciaria térmica, basada en el mismo principio de la inyección de vapor, cuyo vapor es creado por el calentamiento y evaporación del agua. El uso de la energía solar se viene investigando desde 1970, cuyo primer proyecto se dio en el pozo Edison ubicado en California por la empresa Exxon. En este pozo, como refiere M. M. Salehi<sup>3</sup> la técnica del recobro mejorado térmico implementada mostró un 60% de incremento en la producción, comparando el uso del calor térmico con la producción fría.

La técnica de la solar EOR, usa espejos para reflejar y concentrar los rayos del sol para así transformar la energía solar en calor, que luego se transfiere a una tubería que conduce agua, tal y como se observa en la ilustración 2. Este proceso cuenta con un invernadero que protege los espejos y tuberías que conducen el agua antes del proceso y el vapor cuando sale del invernadero. El proceso de la ilustración 2, muestra que se inyecta agua a condiciones normales y al final se genera vapor. De igual forma, es importante hacer notar que los espejos reparten los rayos solares dependiendo de la intensidad solar, por lo cual no son fijos, sino que se mueven automáticamente dependiendo del ángulo de incidencia. Ante esta operación milimétrica y automatizada, se hace necesario la protección del sistema en un invernadero que los proteja de la arena y los vientos, factores que disminuyen la captación de energía térmica.

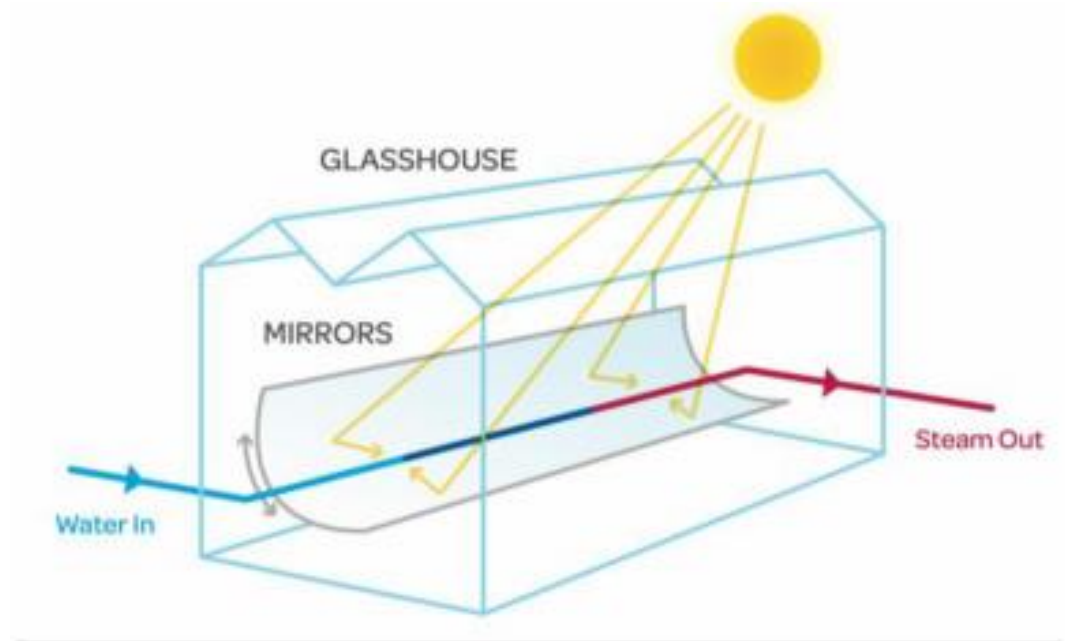
---

<sup>1</sup> Larson, Ronald, "Implementation of Solar Thermal Technology", 'MIT Press', 1996

<sup>2</sup> R. Mokhtari, S. Ashoori, and M. Seyyedattar, "Optimizing gas injection in reservoirs with compositional grading: A case study," J. Pet. Sci. Eng., vol. 120, pp. 225-238, Aug. 2014.

<sup>3</sup> M. M. Salehi, M. A. Safarzadeh, E. Sahraei, and S. A. T. Nejad, "Comparison of oil removal in surfactant alternating gas with water alternating gas, water flooding and gas flooding in secondary oil recovery process," J. Pet. Sci. Eng., vol. 120, pp. 86-93, Aug. 2014.

Gráfico 2 Principio de operación de la generación de vapor.



**Fuente:** GLASSPOINT. How enclosed troughs work. [ sitio web]. USA. Sec. Technology. Consultado 17, Octubre, 2017]. Disponible: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf).

## 1.1.2 Tipos de paneles solares

### 1.1.2.1 Torre solar

De acuerdo a EY building<sup>4</sup>, en las torres solares se usan espejos móviles (heliostatos), que se mueven para aprovechar el sol todo el día, la energía solar es reflejada sobre los espejos que tienen un ángulo de inclinación para que la energía reflejada llegue al receptor de energía en el tope de la torre. El receptor es usado directa o indirectamente para transferir el calor generado para la evaporación del agua.<sup>(\*)</sup>

<sup>4</sup> EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, Janurary 2014. P 21. [Consultado 15, abril, 2017]  
Disponible en

la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

<sup>(\*)</sup>Documento en ingles traducción realizada por el autor

Imagen 1 Torres Solares



Fuente: EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, January 2014. P 22. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

### 1.1.2.2 Tecnología de colectores Fresnel

De acuerdo a EY builder<sup>5</sup> La tecnología de colectores Fresnel usan una serie larga plana o ligeramente curva. Los espejos son puestos en diferentes ángulos para concentrar los rayos del sol, en cualquiera de los receptores que se tienen disponibles y ubicados a varios metros del espejo primario. Este sistema posee un sistema de rastreo para aprovechar al máximo los rayos del sol, de modo que todo el día lleguen a los receptores<sup>(\*)</sup>

---

<sup>5</sup> Ibid., p.21

(\*) Documento en ingles traducción realizada por el autor

Imagen 2. Colectores Fresnel.



**Fuente:** EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, Janurary 2014. P 22. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

### 1.1.2.3 Tecnología de Disco Striling

De acuerdo a EY building<sup>6</sup>, los discos Striling tienen forma parabólica, parecidos a unos satélites, que reflejan los rayos del sol a un receptor ubicado en el punto focal de los discos. El receptor tiene una micro-turbina. Este sistema requiere que el sol le proporcione energía en dos ejes, pero toda la energía se concentra en el punto focal, el cual puede soportar grandes temperaturas.<sup>(\*)</sup>

---

<sup>6</sup> Ibid., p.21

<sup>(\*)</sup>Documento en ingles traducción realizada por el autor.

Imagen 3. Discos de Stirling.



**Fuente:** EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, Janurary 2014. P 22. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

#### **1.1.2.4 Tecnología de colectores Cilindro-Parabólico**

De acuerdo a EY building<sup>7</sup>, los colectores Cilindro-Parabólicos también conocidos como PTC, consisten en espejos que reciben los rayos del sol. Estos colectores están construidos por un material reflectivo, en forma parabólica para que los rayos del sol se concentren en la tubería que pasa por el medio de estas.

---

<sup>7</sup> Ibid., p.21

Imagen 4. Colectores cilindro- parabólico.



**Fuente:** EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, January 2014. P 22. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

#### 1.1.2.5 Tecnología de Cilindro Cerrada

De acuerdo a EY building<sup>8</sup>, la tecnología de Cilindro Cerrada fue desarrollada por la empresa estadounidense Glass point, la cual creó un sistema de colectores que utilizan el mismo principio de los colectores cilindro-parabólicos, para el uso en la industria del petróleo. El uso del invernadero proporciona protección de los espejos contra la humedad, arena, viento, que son factores atmosféricos que reducen la eficiencia del sistema. El uso del invernadero disminuye la suciedad en los espejos en un factor de 30 veces, lo cual significa que cuando se presentan vientos altos este factor se triplica.<sup>(\*)</sup>

---

<sup>8</sup> Ibid., p.21

<sup>(\*)</sup>Documento en ingles traducción realizada por el autor



Imagen 5. Tecnología cilindro cerrada



**Fuente:** EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, January 2014. P 23. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

## 1.2 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

### 1.2.1 Estudio de caso empresa *Glass Point*

*Glass Point* es una empresa estadounidense fundada en 2009, la cual se ha dedicado a diseñar, fabricar e instalar generadores solares de vapor para la industria del petróleo y gas a nivel mundial. Esta empresa tiene la patente de la tecnología cilíndrica cerrada, con la cual supera los desafíos operativos que se encuentra en los campos petrolíferos en todo el mundo.

Los generadores solares de vapor de *Glass Point* pueden reducir el consumo de gas y las emisiones de carbono de un campo petrolífero hasta en un 80%. El gas ahorrado puede ser redirigido hacia el mercado de exportación u otros usos de alto valor, como el desarrollo industrial y la generación de electricidad. Al ahorrar recursos valiosos de gas, la instalación de generadores solares en campos petroleros puede ayudar a transformar las economías locales donde se opera.

### 1.2.2 Primer Caso de Estudio: Omán

La empresa *Glass Point* diseñó el sistema de colectores solares en Miraah, que es la planta más grande en la historia de la implementación de la técnica solar EOR, puesto que produce 1.021 Mega Watts, por medio de la concentración de la luz para generar 6.000 toneladas de vapor por día. Miraah disminuye el uso de gas natural

en un volumen de 5,6 trillones de btu por año, La información básica de esta planta se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Especificaciones campo Miraah.

<b>OPERADOR</b>	Petroleum Development Oman
<b>LOCACION</b>	Amal, Oman
<b>ESTADO</b>	En construcción
<b>PRODUCCION DE ENERGIA</b>	1,021 MW termica

**Fuente:** Elaboración propia

Para el mega proyecto de Miraah se instalaron 36 casas de invernadero ubicadas por módulos de 4 invernaderos interconectados. Miraah reduce la emisión de CO<sub>2</sub> en más de 300.000 toneladas por año. Esta disminución de dióxido de carbono, es comparado con la emisión que producen 63.000 carros particulares.

### 1.2.3 Segundo Caso de Estudio: California.

Este fue el primer Proyecto que se realizó, en Kern County, California. Este es un sistema que usa la concentración solar para producir aproximadamente 1 millón de btus por hora. El pozo petrolero donde se instaló la Solar EOR ha producido crudo por más de un siglo, por lo que prueba que esta tecnología se puede usar en todos los tipos de yacimientos. La construcción tiene más de 7.000 pies cuadrados de tierra (21.336 m), el sistema encerrado utiliza agua precalentada a 190 °F (87.77 °C). La información básica de esta planta se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Especificaciones del Campo Berry.

<b>OPERADOR</b>	Berry Petroleum
<b>LOCACION</b>	Mckittrick, CA
<b>ESTADO</b>	Operación desde 2011
<b>PRODUCCION DE ENERGIA</b>	300 Kw termica

**Fuente:** Elaboración propia

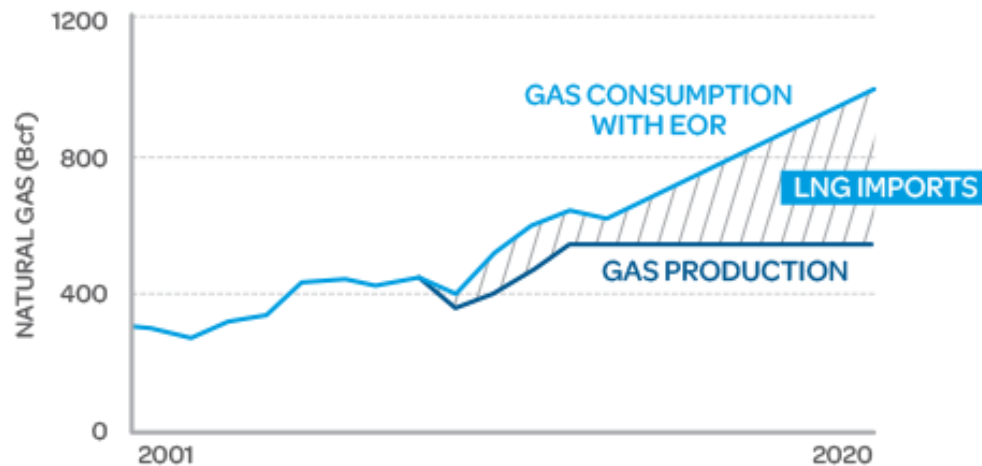
## 1.3 EFICIENCIA DE LA TÉCNICA DEL SOLAR EOR

### 1.3.1 Aprovechamiento del gas natural

El gas natural es un hidrocarburo muy apetecido en los mercados primarios, secundarios y terciarios; por lo que, al poder suplir el consumo de este combustible en el recobro mejorado térmico, se va a poder tener una mejor disposición tanto ambiental como económicamente.

*Glass Point* muestra el beneficio económico que genera el implementar la tecnología de la Solar EOR, así en la imagen 1 se muestra claramente el aumento en la producción de Gas Natural Licuado (LNG), que es casi un 60% más de la cantidad que se llegaría a importar. Como dice EY building<sup>9</sup>. Esto es una ganancia económica importante para la empresa Miraah, ejemplo claro donde se observa que la cantidad de gas natural utilizada en los pozos petroleros se redujo y que el consumo para otros usos se disparó a 5,6 trillones de BTU/año. Este consumo tiene diferentes alternativas de uso diferentes a las operaciones petroleras.

Gráfico 3. Importación de Gas natural en comparación al Gas producido.



**Fuente:** EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, January 2014. P 22. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

<sup>9</sup> Ibid., p.21

### 1.3.3 Aplicaciones del gas natural

En la actualidad, el gas natural es un combustible muy apetecido por el mercado, ya que no genera partículas sólidas ni azufre, por esto es especialmente atractiva para la exportación en forma de gas natural licuado para ser utilizado en la industria privada para la generación de energía. Además, genera ventajas en la industria donde es imperativo asegurar una fuente de energía limpia, eficiente y de alta confiabilidad<sup>10</sup>. A continuación, en la tabla 1, se muestran las aplicaciones del gas natural en los diferentes mercados:

Cuadro 3. Aplicaciones del Gas natural.

SECTOR	APLICACIONES	COMBUSTIBLE A SUSTITUIR
Sector Residencial	Calefacción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasóleo.</li> <li>• Propano/butano.</li> <li>• Electricidad.</li> <li>• Carbón.</li> <li>• Fuel.</li> <li>• Biomasa.</li> </ul>
	Cocción.	
	Secadoras Chimeneas.	
	Lavavajillas.	
	pre térmico.	
	agua caliente sanitaria	
Sector Terciario	Climatización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasóleo.</li> <li>• Propano.</li> <li>• Electricidad.</li> <li>• Carbón.</li> </ul>
	Sistema de calefacción.	
	Agua caliente sanitaria.	
	Cocción/ preparación de alimentos.	
Sector Industrial	Generación de vapor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasóleo.</li> <li>• Propano.</li> <li>• Electricidad.</li> <li>• Carbón.</li> <li>• Fuel.</li> <li>• Biomasa.</li> </ul>
	Sistema de calefacción.	
	Industria de la alimentación.	
	Industria del cemento.	
	Secado.	
	Cocción de productos cerámicos.	
	Fundición de metales.	
	Tratamientos térmicos.	
	Temple y recocido de metales.	
	Hornos de fusión.	
Generación eléctrica micro y cogeneración.		
Sector Energía	Cogeneración eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carbón.</li> <li>• Fuel.</li> </ul>
Sector vehicular	Autobuses.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diésel.</li> <li>• Gasolina.</li> </ul>
	Taxis.	
	flotas de transporte.	
	carretillas elevadoras.	
	vehículos particulares.	

**Fuente:** Elaboración propia

<sup>10</sup> Gas Natural. [sitio web]. Bogota D.C.CO.quienessomos.[Consultado 5, abril, 2017]. Disponible en:  
<http://www.gasnaturaldistribucion.com/es/conocenos/quienes+somos/historia+del+gas/1297105143407/aplicaciones+del+gas+natural.html>

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 ANÁLISIS DOFA

Se aplicará el análisis DOFA, cuya metodología de análisis permite la comparación de las técnicas EOR implementadas a nivel mundial. Esto con el fin de conocer y recopilar las ventajas y desventajas de la aplicación de esta técnica según sea el uso que las distintas empresas hacen dependiendo de sus condiciones particulares, que optan por una u otra técnica EOR. Así que el propósito principal de este análisis, es mostrar para los estudios de caso analizados, las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas en la implementación de una u otra técnica EOR. Por tanto, el análisis DOFA define los aspectos internos y externos que favorecen o no el buen funcionamiento de la empresa. Para el desarrollo del análisis se procede a realizar una matriz que consiste de cuatro pilares, que se nombran a continuación:

- **Debilidades (D):** se refiere a los aspectos internos que no permiten el crecimiento de la empresa o el cumplimiento de los objetos que se planearon.
- **Oportunidades (O):** Son los hechos o características externas a la empresa que pueden ser utilizadas a favor, para garantizar el crecimiento de la empresa
- **Fortalezas (F):** Características internas de la empresa que permiten impulsar al mismo y poder cumplir los objetivos.
- **Amenazas (A):** son las características externas de la empresa las cuales no pueden ser controladas por la empresa.

Luego de tener identificadas las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que involucran cada caso de estudio por aparte, se procederá a la creación de la respectiva matriz DOFA, la cual brindará un entendimiento mayor de la situación específica de la empresa analizada. Una de las matrices que resultan del análisis DOFA, es la Matriz de Estrategias, la cual tiene como fin conducir a potenciar las fortalezas y oportunidades, a neutralizar y evitar las debilidades y a crear planes de contingencia los cuales ayudan a enfrentar la materialización de las amenazas. Esto se dará por medio de los siguientes cruces desarrollados:

- **Estrategias y Acciones (DO):** En este grupo de acciones, se deben reunir los planes conducentes a cada una de las debilidades que se consideraron como oportunidades de mejoramiento del grupo de trabajo o que representan ajustes positivos para el proyecto.
- **Estrategias y Acciones (DA):** En este grupo de acciones, se deben reunir los planes conducentes a cada una de las debilidades que se consideraron como amenazas para el proyecto. Estas acciones deben ser muy precisas y lo suficientemente analizadas, ya que representan debilidades del grupo de trabajo que ponen en riesgo directo el éxito del proyecto. El nivel de prioridad de estas acciones se debe considerar como muy alto.

- **Estrategias y Acciones (FO):** En este grupo de acciones, se deben reunir los planes conducentes a cada una de las fortalezas internas o externas que fueron consideradas como oportunidades que tienen el grupo de trabajo para potencializar y asegurar el éxito del proyecto. Es así, que se deben presentar acciones que permitan aprovechar al máximo estas fortalezas que están de nuestro lado en la ejecución del proyecto.
- **Estrategias y Acciones (FA):** En este grupo de acciones, se deben reunir los planes conducentes a cada una de las fortalezas generalmente externas, que de una u otra manera ponen en riesgo permanente el éxito del proyecto durante toda su implementación. Estas acciones también son de prioridad muy alta, por lo tanto, deben existir planes detallados y muy estudiados que contengan o minimicen los efectos negativos que amenazan al proyecto<sup>11</sup>.

## 2.2 ANÁLISIS DE IMPACTOS AMBIENTALES

### 2.2.1 Identificación de los impactos

La identificación de los impactos se dará al entender el entorno en el cual las empresas desarrollan sus proyectos energéticos, el cual afecta el proyecto y al mismo tiempo reciben los impactos ambientales de las actividades desarrolladas por la empresa. Así que el análisis del entorno, se define como el conjunto de factores externos que delimitan el entorno general que afectan a todas las empresas, los cuales pueden actuar de modo directo. En la ilustración 8, se pueden ver claramente los componentes de cada uno de los entornos.

Para la identificación de los impactos, se tendrá en cuenta cada uno de los procesos o interacciones que genera la empresa con ellos, para poder ratificar los impactos generados. Estos impactos que se encuentran en esta identificación se califican de forma cualitativa y van ayudar a la generación de la matriz DOFA y serán claves para su cuantificación.

---

<sup>11</sup> El método DOFA un método muy utilizado para diagnóstico de vulnerabilidad y planeación estratégica. Colombia. [sitio web] Colombia, abril 2010. P 6. [Consultado 15, junio, 2017] Disponible en la página web: <http://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/portal/sites/default/files/8.%20M%C3%A9todo%20DOFA%20para%20diagn%C3%B3stico.pdf>

Imagen 6. Entorno general y específico de una empresa.



**Fuente:** EDEBE. La empresa y su entorno: Bloque 1 empresa y cultura emprendedora. [sitio web]. S.L. Sec. Documento. 14 de julio de 2008. P.16. [Consultado 17, Octubre, 2017]. Disponible: [https://www.edebe.com/educacion/documentos/830343-0-529-830343\\_LA\\_EIE\\_CAS.pdf](https://www.edebe.com/educacion/documentos/830343-0-529-830343_LA_EIE_CAS.pdf)

### 2.2.2 Cuantificación de los impactos

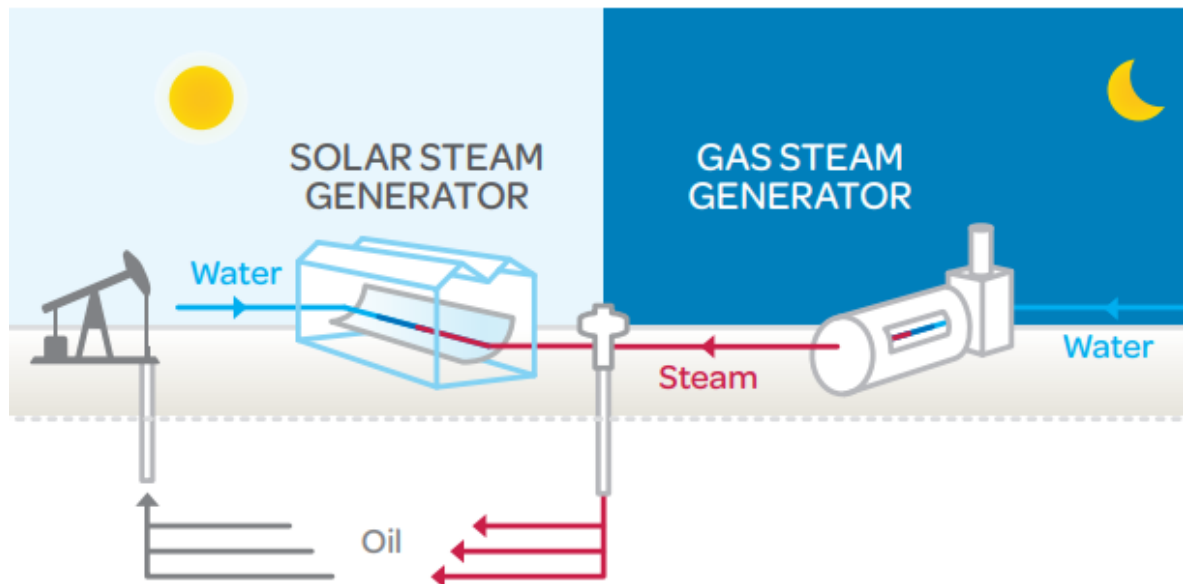
Luego de tener identificados y cuantificados los impactos de forma cualitativa, se utilizará el análisis PESTLE, que como cada letra de su nombre indica cada uno de los factores externos que afectan la operación de la empresa: políticos, económicos, sociales, tecnológicos, legales y ambientales. En la ilustración 9, se muestran los aspectos y factores que componen el análisis PESTLE, los cuales se califican cualitativamente en la matriz desarrollada, para así poder determinar de forma cuantitativa los impactos negativos y positivos que tiene el proceso. Una vez completada la matriz, se estará en disposición de generar las optimizaciones y planes de control para los impactos negativos encontrados.

### 3. PROCESO INDUSTRIAL DE LA TÉCNICA SOLAR EOR

#### 3.1 PROCESO INDUSTRIAL

En la grafico 4, se visualiza el diagrama del proceso industrial aplicado en la tecnología solar EOR, la cual se desarrolla en dos partes consecutivas para entender mejor el funcionamiento. En la primera parte, se detallan los equipos y las características que se encuentran en la fuente de generación del vapor de agua por medio del calor obtenido de la radiación solar reflejada, o SOLAR EOR. Seguidamente, se observan las calderas de recuperación de calor de paso único (OTSG), las cuales funcionan en caso de que ocurra cualquier falla en el sistema o que las condiciones meteorológicas no cumplan con los requerimientos básicos ni favorezcan el funcionamiento nocturno.

Gráfico 4. Proceso industrial Del Solar EOR.



**FUENTE:** GLASSPOINT. Esay to integrate with existing Surface facilities [ sitio web]. USA. Sec. Technology. [Consultado 10,Abril 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/technology/integration/>

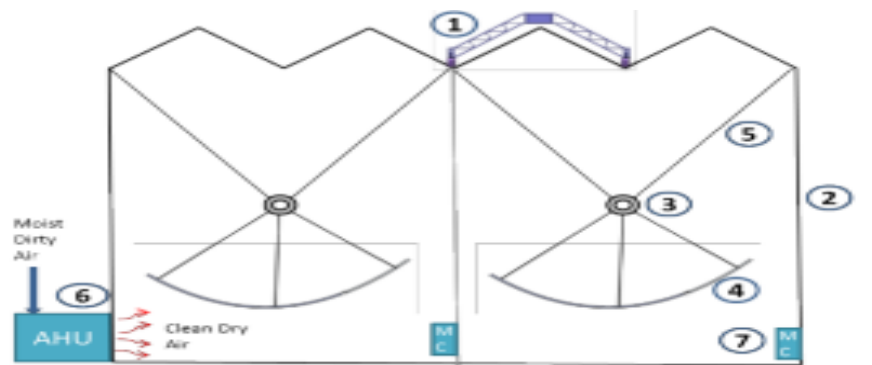
Este proceso industrial se rige bajo el poder energético que se genera por la concentración solar o CSP, el cual se ha venido estudiando por más de 100 años. Durante todo este tiempo de avances y perfeccionamiento del proceso, se han generado varios sistemas que usan la radiación solar para generar vapor, mediante la instalación de espejos que generan un punto focal para la concentración de los rayos solares y así poder obtener altas temperaturas sobre la superficie donde se emplean.



Para obtener una mayor eficiencia en el proceso, se debe tener presente que si la relación ente el largo del espejo y las dimensiones pequeñas del objetivo, el proceso va a ser térmicamente más eficiente. Como dice Palmer<sup>12</sup>: “a esta relación se le da el nombre de <tasa de concentración>, el cual es el criterio principal para la construcción de los espejos del solar EOR”. Otro criterio a tener en cuenta es el ángulo con el que el rayo solar va a impactar sobre el vidrio del panel solar, para luego rebotar hacia el objetivo. Este ángulo tiene que concentrar la mayor cantidad de radiación posible así que de no cumplir con ello, la radiación se va a dispersar en el ambiente y, por tanto, no se cumplirá con la eficiencia esperada. Por lo que estos dos criterios tienen que estar en el punto exacto para poder generar altas temperaturas y tener un proceso más eficiente.

A continuación, se describirán cada uno de los pasos que se utilizan en la técnica solar EOR, empezando por el sistema de Tecnología de Cilindro Cerrada. Como se observa en el Grafico 5, Como lo expresa Palmer<sup>13</sup>, “la generación de vapor se realiza a través de los espejos parabólicos ligeros que se cuelgan (4) desde el techo, del invernadero (2) donde se encuentran alojados”. Igualmente, Palmer<sup>14</sup> vuelve a aseverar que “el invernadero proporciona el soporte estructural y aísla los colectores solares del viento, arena y humedad”.

Gráfico 5. Esquema estructural del Solar EOR.



**Fuente:** PALMER, D. *et al.* Construction, operations and performance of the first enclosed trough solar steam generation pilor for EOR applications. En: SPE international. Muscat.2 de abril de 2014. P.5. [Consultado 08, abril, 2017]. Disponible: [https://www.onepetro.org/search?q=Construction%2C+operations+and+performance+of+the+first+enclosed+trough+solar+steam+generation+pilor+for+eor+applications&peer\\_reviewed=&published\\_between=&from\\_year=&to\\_year=](https://www.onepetro.org/search?q=Construction%2C+operations+and+performance+of+the+first+enclosed+trough+solar+steam+generation+pilor+for+eor+applications&peer_reviewed=&published_between=&from_year=&to_year=)

<sup>12</sup> Palmer, D., & O'Donnell, J. (2014, March 31). Construction, Operations and Performance of the First Enclosed Trough Solar Steam Generation Pilot for EOR Applications. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/169745-MS

<sup>13</sup> Ibid., p.5

<sup>14</sup> Ibid., p.5

Los espejos utilizados en este proceso tienen forma de nido de abeja, están contruidos en aluminio liviano de bajo costo, los cuales se cuelgan del techo del invernadero, lo cual significa que el diseño estructural del invernadero permite soportar las cargas que se ha procurado que sean estructuralmente resistentes en un diseño económico. En cuanto a los materiales de construcción, los espejos que usan generalmente corresponden a los CSP convencionales.

La mayoría de los campos petrolíferos tienen un ambiente adverso, en el cual es muy fácil encontrar arena, polvo y humedad en el aire, por lo que se puede llegar a generar condensación en la noche, que en los lugares donde además se encuentra polvo, dará como resultado un “lodo” que necesita un lavado húmedo permanente. Por esta razón, en los invernaderos de Glass Point, Como dice Palmer<sup>15</sup>, “se cuenta con un sistema de limpieza automático ubicado en el techo (1), el cual es capaz de lavar la superficie de la azotea entera cada noche, para poder asegurar que no se van a tener obstrucciones en la captación de los espejos solares”. El agua utilizada se reutiliza para no tener un consumo de agua innecesaria.

Las infiltraciones de polvo que se pueden generar, se controlan al máximo por medio de la presión positiva de un aire acondicionado (6). El aire acondicionado proporciona aire filtrado, el cual maneja una sobrepresión dentro de la estructura en todas las condiciones, Como dice Palmer<sup>16</sup>, “este diseño se da como control cuando se presenten intensas tormentas de arena por un largo periodo de tiempo<sup>2</sup>. Las pequeñas perdidas de energía que se generan por la sombra generada por la estructura, se compensan con la protección y control de los invernaderos y paneles de la suciedad y los vientos.

Al no tener fuerzas de los vientos actuando sobre los colectores o espejos, se ofrece una alta precisión óptica en los reflectores parabólicos, cuyo peso entonces puede ser bajo, así que el peso de los espejos y el marco solo es de 4,2 Kg/m<sup>2</sup>. Como dice Palmer<sup>17</sup>, “al ser un sistema ligero, igualmente el soporte que lo sostiene (5) es liviano, el cual se compone de barras de acero mantenidas en tensión para que puedan soportar la expansión térmica diaria que se genera y las contracciones que se presencian en los colectores”. El sistema de soporte es el que controlar el ángulo de incidencia que se va a tener en cada espejo. Este ángulo puede inclinarse en varios metros con una precisión de 0.01 grados. Si este ángulo varia por alguna razón, Como argumenta Palmer<sup>18</sup>, “automáticamente se rectifica para asegurar la eficiencia más alta en cada espejo”.

---

<sup>15</sup> Ibid., p.5

<sup>16</sup> Ibid., p.6

<sup>17</sup> Ibid., p.5

<sup>18</sup> Ibid., p. 6

La tecnología que se utiliza en los colectores es patentada por *Glass Point*, la tubería (3) por donde pasa el agua, que luego se convertirá en vapor, tiene una medida estándar de 2" (60 mm), está hecha de acero al carbón, material que es similar al material utilizado en las calderas de yacimientos petrolíferos. Como cuenta Palmer<sup>19</sup>, "la tubería es un tubo pulido y recubierto con una capa amortiguadora, la cual maximiza la absorción de la radiación solar, reduciendo al mínimo las pérdidas a través de la emisión infrarroja". Se utilizan escudos de cristal tubular para poder disminuir las pérdidas de calor por convección.

La calidad del vapor que se genera se vigila en un sistema de separación, para poder volverlo a mezclar. Cuando se separa el vapor se aloja en un vaso, mientras que el flujo que tiene agua y vapor es medida, Como argumenta Palmer<sup>20</sup>, "para poder retirar la fase líquida la cual es llevada al tanque de agua para no desperdiciar energía y poder recircularla. El vapor restante es re-mezclado con el que se encuentra en el vaso alojado, para asegurar que tenga la calidad de inyección".

La segunda parte del proceso de la Solar EOR, son las calderas de recuperación del calor de paso único, las cuales se utilizan cuando las condiciones meteorológicas no son aptas o en condiciones nocturnas cuando no se tiene emisión de radiación solar. Estas calderas constituyen el 20% del proceso de la solar EOR, por lo que demuestra que son las reservas del proceso que a continuación se revisarán en mayor detalle.

Hasta la década de los ochenta, las Calderas Convencionales de Tambor se utilizaban para producir vapor. En esa época, la Marina de los Estados Unidos investigó el uso combinado de turbinas de gas y plantas de turbinas de vapor, para obtener energía de propulsión adicional para los barcos. La compañía estadounidense Solar Turbines, como muestra la empresa IST<sup>21</sup>, realizó progresos significativos en el perfeccionamiento del concepto de las OTSG para el uso a bordo de barcos y en tierra.

La creación del Innovative Steam Technologies (IST) se debió a la adquisición de la tecnología OTSG de Solar Turbines en 1992. IST puso a funcionar la tecnología en las aplicaciones de calderas de recuperación del calor (HRSG, por sus siglas en inglés) en operaciones de turbinas de gas.

---

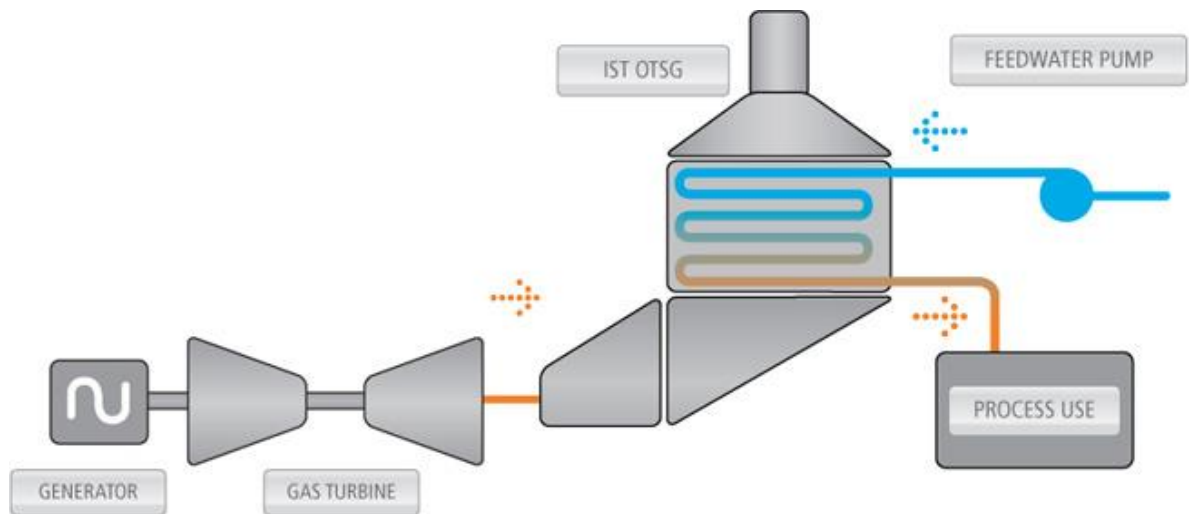
<sup>19</sup> Ibid., p.6

<sup>20</sup> Ibid., p.6

<sup>21</sup> IST. Flexible operation.[ sitio web]. USA. Sec. Industries. Powergen. cogen. [Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <http://otsg.com/industries/powergen/cogen/>

Descrito de manera simple, como dice Chaar<sup>22</sup>, “un OTSG consiste de una estructura cerrada con una entrada en el extremo inferior que acepta aire calentado (generalmente proveniente a gran velocidad de una turbina de gas) y una toma en la parte superior de la estructura que permite el escape del aire”. Dentro de esta estructura cerrada hay un banco ininterrumpido de tubos de acero de alta calidad. Como vuelve a mencionar Chaar<sup>23</sup>, “el agua de alimentación ingresa por la parte superior del banco de tubos y es calentada por el gas de escape de la turbina para generar vapor en el extremo de salida del tubo”.

Gráfico 6. Proceso de las calderas OTSG.



**Fuente:** IST. Flexible operation. [ sitio web]. USA. Sec. Industries. Powergen. cogen. [Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <http://otsg.com/industries/powergen/cogen/>

Como Glass Point busca la disminución en la contaminación por los gases de efecto invernadero, sus OTSG cuentan con un sistema de control de emisiones que utiliza catalizadores de monóxido de carbono (CO), una red de inyección de amoníaco y catalizadores de reducción selectiva (SCR). Así se pueden cumplir con las exigencias, que se vuelven cada vez más estrictas, de las reglamentaciones ambientales.

La OTSG que se utiliza en el recobro mejorado térmico es la SQ90, la cual cuenta con una calidad de vapor del 90 %, esto se logra con la aplicación de los tubos estriados que se emplean en las calderas de alta presión. Como muestra Heins<sup>24</sup>,

<sup>22</sup> Chaar, M., Venetos, M., Dargin, J., & Palmer, D. (2015, October 11). Economics of Steam Generation for Thermal EOR. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/175162-MS

<sup>23</sup> Ibid., p. 8

<sup>24</sup> Heins, W., & Peterson, D. (2012, January 1). Use of Evaporation for Heavy Oil Produced Water Treatment. Petroleum Society of Canada. doi:10.2118/05-01-01

“esta aplicación busca incrementar la producción de petróleo a los precios más bajos de producción. Estos son algunos de los beneficios que generan esta OTSG”:

- Más vapor separado de menos agua.
- Menos consumo de combustible y menos emisiones de gases invernadero.
- Reducción significativa de los costos de purga y manipulación.
- Reducción de los costos de tratamiento de agua.

### 3.2 ANÁLISIS SITUACIONAL DEL PROCESO

El proceso de la Solar EOR, se realiza actualmente en dos pozos previamente descritos: el primero es Miraah y el otro Berry. A continuación, se dará una descripción más profunda sobre cada uno de estos pozos.

#### 3.2.1 Miraah

Omán es ampliamente reconocido como un líder global en tecnologías de recuperación mejorada de petróleo (EOR). Desde 2007, Omán ha aumentado constantemente su producción de petróleo a niveles casi récord, a través de la inyección de vapor y otras soluciones avanzadas EOR. El país está ahora explorando proyectos EOR a gran escala, para ahorrar recursos valiosos de gas necesarios para impulsar el crecimiento económico.

Según el Centro Nacional de Estadística e Información (NCSI), el gas utilizado en los yacimientos petrolíferos de Omán representa más del 20% del consumo total de gas del país, una parte significativa del cual se utiliza como combustible para el recobro mejorado EOR. Como la muestra *Glass Point*<sup>25</sup>, “la tendencia del consumo de gas en la producción de crudo predice que seguirá aumentando a medida que el EOR se expanda para contribuir con un tercio de la producción de petróleo crudo del país para 2020”. Al mismo tiempo, se necesita más gas para la generación de energía, la desalación y el desarrollo industrial del país. Por lo que *Glass Point* apunta a liberar gas del proceso de recobro para el crecimiento económico del país. En este sentido, *Glass Point* se asoció con *Petroleum Development Oman*, el mayor productor de petróleo y gas del país.

De esta forma, Miraah es la planta más grande, a nivel mundial, donde se busca el aprovechamiento de la energía del sol para producir vapor, el cual se inyectará para aumentar la producción del pozo, Esto es fundamental para disminuir la viscosidad del crudo en el subsuelo por medio del aumento de su temperatura. Este campo es un claro ejemplo del aumento en el mercado de los procesos limpios, que busca no impactar el medio ambiente.}

---

<sup>25</sup> *GLASS POINT*. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. Oman. markets. Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

Mapa 1. Localización del Sultanato de Omán.



**Fuente:** GLASS POINT. Miraah fact sheet. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. Oman. Downloads & videos. Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

Se estima que este proyecto producirá 1 Gigawatt térmico (GWth), el cual disminuirá la cantidad de gas natural requerido para la operación de las OTSG, Como muestra Glass Point<sup>26</sup> El promedio que se espera en la generación de vapor es de 6.000 toneladas (Tn) de vapor solar. Este campo tuvo un proyecto piloto operado por la compañía Glass Point, el cual demostró la fiabilidad del sistema superando las expectativas de la compañía, por lo que se construyó una planta 100 veces más grande.

Com muestra Glass Point<sup>27</sup>, “el campo cuenta con una extensión de 3 km<sup>2</sup> o lo que es lo mismo 360 canchas de futbol, lo que muestra la envergadura de este proyecto. La tecnología usada en este campo es la de Tecnología de Cilindro Cerrada”, la cual esta patentada por *Glass Point* y es la más eficiente en el mercado, como se ha explicado con antelación. Como dice *Glass Point*<sup>28</sup>, “serán 36 casas de invernadero, las cuales se unirán por módulos constituidos de 4 invernaderos, por lo que se tendrá 9 módulos en total para este campo”.

---

<sup>26</sup> GLASSPOINT. Miraah fact sheet. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. Oman. Downloads & videos. Consultado 17, Octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

<sup>27</sup> GLASSPOINT. Miraah infographic-How big is miraah. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. Oman. Downloads & videos. Consultado 17, Octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

<sup>28</sup> GLASSPOINT. Miraah fact sheet. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. Oman. Downloads & videos. Consultado 17, Octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

Como sigue expresando *Glass Point*<sup>29</sup>, “usando la energía solar para generar vapor, Omán puede ahorrar hasta el 80% del gas usado actualmente para EOR. El gas ahorrado se puede exportar como gas natural licuado (GNL), que puede aumentar los ingresos de exportación de Omán o como energía y materia prima para nuevas fábricas, generando empleos y diversificando la economía local”.

### 3.2.2 Berry

La producción de petróleo de California, necesita métodos de recuperación terciaria, especialmente las de inyección de vapor caliente, con las cuales ha logrado extender el valor y la vida útil de los campos petrolíferos de California, durante las últimas cinco décadas. Como lo expresa *Glass Point*<sup>30</sup>, “hoy en día, casi la mitad de toda la producción de crudo de California depende de la inyección de vapor, utilizando el gas natural importado como combustible”. La generación de vapor del campo petrolífero consume aproximadamente el 14% de todo el gas natural usado en California.

Como también muestra *Glass Point*<sup>31</sup>, “el vapor solar reduce los costos de operación en más del 60% del costo de operación de un campo de petróleo pesado convencional en California”. Este costo se destina para la compra del combustible para generar el vapor que se necesita para la recuperación térmica del petróleo mejorado. *Glass Point* ofrece vapor a menor costo que el vapor de gas natural, lo que proporciona ahorros significativos. Con los bajos precios actuales del petróleo, el despliegue de la EOR solar puede reducir los costos de operación y mejorar los márgenes del productor.

---

<sup>29</sup> Ibid., p. 1

<sup>30</sup> Ibid., p. 1

<sup>31</sup> Ibid., p. 1

Mapa 2. Localización del campo petrolero Berry, en California (Estados Unidos).



**Fuente:** Google maps. Glass point california. [Consultado 08,junio.2017] Disponible en : <https://www.google.es/maps/search/berry+glass+point/@40.396764,-3.713379,6z/data=!3m1!4b1>

Este proyecto pionero para la compañía *Glass Point*<sup>32</sup>, dio inicio en febrero de 2011 cuando se mostró el primer método de la Solar EOR. Este pozo tiene por nombre 21Z de la compañía *Berry Petroleum*, ubicado en el condado de Kern en California. Este proyecto tiene una capacidad para generar 1 millón de Btus/h de calor solar, por medio de la tecnología de cilindro cerrada.

Los yacimientos que se encuentran en el condado de Kern, han estado en producción durante más de un siglo, de aquel petróleo liviano y de condiciones óptimas para sacarlo del subsuelo. Así que los productores locales se han visto en la labor de investigar tecnologías avanzadas que les permitan producir sus yacimientos de crudo pesado, sacando la mayor rentabilidad en el proceso y minimizando el impacto ambiental. El proyecto Berry fue construido en menos de seis semanas, lo que muestra la eficiencia de los materiales y equipos de última tecnología que utiliza *Glass Point*<sup>33</sup>. Para este contrato. La empresa se asoció con firmas locales, como PCL industrial Services y TJ Cross Engineers, para poder construir e integrar el nuevo sistema, con las instalaciones de superficie ya existentes.

---

<sup>32</sup> Ibid., p. 2

<sup>33</sup> Ibid., p. 2



Esta planta genero vapor y agua precalentada a 190 °F (87,77 °C), la cual se recircula a las OTSG necesitando una menor cantidad de gas natural para llegar a evaporar esta agua, cuando se necesite en casos de emergencia. Esta planta lleva operando más de seis años, lo que demuestra la eficiencia y fiabilidad de la tecnología del Solar EOR, que consolidó a la empresa y así pudo llevar esta idea a más países y megaproyectos. Por lo que para *Glass Point*<sup>34</sup>, esta es una de las plantas con más historia y sentimiento.

### 3.3 COMPARACION DE LOS ANALISIS SITUACIONALES DESCRITOS

Para comprender mejor la utilidad y beneficios detrás de la aplicación de la técnica solar EOR, se comparan las experiencias realizadas por la empresa *Glass Point*, tanto en Omán como en California, poniendo en relieve los factores de producción de ambos campos. De esta forma se podrán comparar y definir la eficiencia del proceso en cada uno de los dos campos examinados. En la tabla 1, se relacionan las áreas de los campos, la energía producida, el vapor generado, las casas de invernadero construidas, el consumo total de gas natural utilizado y disminuido, las cantidades de CO<sub>2</sub> disminuidas y el tiempo total invertido en la construcción del proyecto. De esta forma, se vislumbra el gran tamaño de la plana de Omán, en comparación con las de California, con valores muy altos de ahorro y de disminución de CO<sub>2</sub>.

Tabla 1. Comparación de producción de los campos petroleros Miraah y Berry.

	MIRAAH	BERRY
<b>ÁREA</b>	3 KM <sup>2</sup>	N/A
<b>Energia Producida</b>	1 GW	0,2928 GW
<b>Vapor generado</b>	6.000 Tn	N/A
<b>Casas de invernadero</b>	36	1
<b>Consumo de gas natural disminuido</b>	5'600.000 MM Btus/año	8,640 MMBtus/año
<b>CO2 disminuido</b>	300.000 Tn/año	463 Tn año
<b>tiempo de construccion</b>	2 años	6 semanas

Fuente: Elaboración propia

<sup>34</sup> Ibid., p. 1

## 4. IDENTIFICACION DE IMPACTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS

### 4.1 IMPACTOS POSITIVOS

La solar EOR es un método revolucionario en todos los sentidos, por lo que su aplicación en los sistemas de extracción de crudo pesado, genera beneficios económicos, ambientales, de mano de obra, etc. En este capítulo, se mostrarán los beneficios que se generaron en cada uno de los campos. Los beneficios económicos se calcularon por tres factores: directos, indirectos y efectos, que se definen de la siguiente manera:

- **Directo:** EY building<sup>35</sup> actividades de los proveedores de la Solar EOR, esto quiere decir el producto interno bruto (PIB) y el trabajo que se genera.
- **Indirectos:** EY building<sup>36</sup> la demanda de los proveedores para suplir las necesidades a lo largo de su cadena de suministro, el empleo generado indirectamente por parte del impacto del proyecto.
- **Efectos:** EY building<sup>37</sup> proveedores y sus empleados.

Otros factores que se tienen en cuenta para mostrar los beneficios económicos que genera el solar EOR son:

- **A gran escala:** EY building<sup>38</sup>, asume el despliegue al límite del proyecto. Lo que revolucionó la economía del lugar.
- **Liderazgo:** EY building<sup>39</sup> asume un mayor nivel de implementación de la Solar EOR, que el método convencional.
- **Crecimiento sostenido:** EY building<sup>40</sup> supone una cantidad mínima de instalación solar para el funcionamiento de la solar EOR, en este punto se tiene un aumento en la economía, pero permanece bajo con altos potenciales.

---

<sup>35</sup> BERRY Building.Op.Cit.,p. 26

<sup>36</sup> Ibid., p. 26

<sup>37</sup> Ibid., p.26

<sup>38</sup> Ibid., p.5

<sup>39</sup> Ibid., p.5

<sup>40</sup> Ibid., p.5

En la tabla 2, se muestra el crecimiento que se va a tener en el campo de Omán a través de los años y en los diferentes casos ya explicados anteriormente. Como se observa en la tabla el aumento de la producción de vapor siempre es creciente, en cualquiera de los casos que se aplique la tecnología esto demuestra la viabilidad del proyecto. Demostrando que se respalda que se va a seguir valorizando nuestra inversión en el tiempo.

Tabla 2. Producción de toneladas de vapor por año en los diferentes escenarios proyectados (A completa escala, liderazgo del Mercado y estacionaria).

Tons of steam per day	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Full-scale</b>	-	1,360	4,420	21,420	38,420	72,148	105,876	139,604	173,332	207,060
<b>Leadership</b>	-	1,360	4,420	10,370	17,850	40,154	62,458	84,762	107,066	129,370
<b>Steady</b>	-	1,360	4,420	10,370	17,850	25,670	33,490	41,310	49,130	56,950

**Fuente:** EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, January 2014. P 26. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

Tabla 3. Beneficios de los diferentes escenarios proyectados para la implementación del Solar EOR.

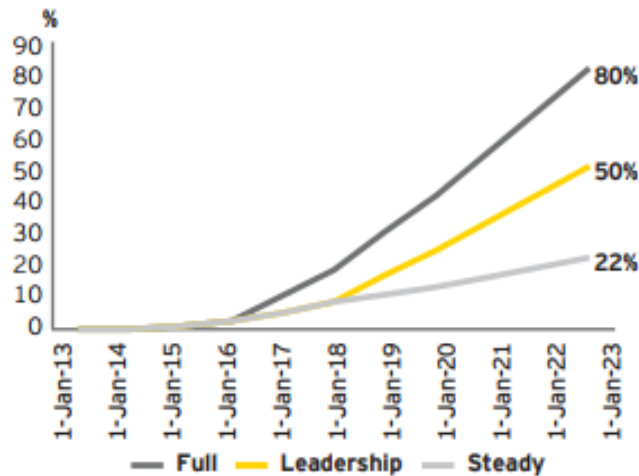
Scenario	Assumptions
<b>Steady</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 53,550 tonnes of steam produced per day<sup>53</sup></li> <li>▶ 9.4GWth of installed capacity</li> <li>▶ Total discounted<sup>54</sup> capex required: USD 6.2 billion</li> <li>▶ 22% of Omani EOR is solar-generated in 2023</li> </ul>
<b>Leadership</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 121,550 tonnes of steam produced per day<sup>53</sup></li> <li>▶ 21.3GWth of installed capacity</li> <li>▶ Total discounted capex<sup>54</sup> required: USD 8.6 billion</li> <li>▶ 50% of Omani EOR is solar-generated in 2023</li> </ul>
<b>Full-scale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 194,480 tonnes of steam produced per day<sup>53</sup></li> <li>▶ 34.0GWth of installed capacity</li> <li>▶ Total discounted capex required<sup>54</sup>: USD 13.8 billion</li> <li>▶ 80% of Omani EOR is solar-generated in 2023</li> </ul>

**Fuente:** EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, January 2014. P 27. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

Pero no solo se va a tener un aumento en la producción de vapor, sino que, por el contrario, va a revolucionar toda la economía energética que se maneja. En la tabla 3 se ve más preciso los beneficios que resultará de la implementación de la solar EOR.

Para entender la importancia en la disminución económica de este proceso, como lo define EY building<sup>41</sup>, “el CAPEX, el cual se ejecuta cuando un negocio invierte en la compra de un activo fijo o para añadir un valor a un activo existente con una vida útil que se extiende más allá del año imponible”. Dicho en otras palabras, es la inversión que se realizará, ya sea en maquinaria, equipos o medios de transporte. En el caso de implementación más baja en la solar EOR, se ve que se tiene una disminución importante en el CAPEX utilizado 6,2 billones de dólares, tal como lo menciona EY building<sup>42</sup>; y en el caso donde se implemente en totalidad el proceso, se va a poder disminuir 13,8 billones de dólares.

Gráfico 7. Crecimiento del solar EOR en las diferentes etapas.



**Fuente:** EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, Janurary 2014. P 28. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

Otro beneficio que genera la implementación, es la captación de los procesos de recobro mejorado, ya que por su gran eficiencia operativa puede suplir la demanda de recobro convencional que se viene utilizando. En el grafico 7 se ve el crecimiento de la Solar EOR.

<sup>41</sup> Ibid., p.27

<sup>42</sup> Ibid., p.28

Esto muestra la visión que tiene la empresa *Glass Point*, la cual a través de los años quiere acoger todo el mercado y generar la transición a un proceso verde que ponga en primer lugar al medio ambiente, entendiendo las regulaciones de emisiones que se manejan y los gastos económicos que se tienen que aceptar por el uso de procesos convencionales, los cuales generan contaminación. Se muestra según EY building<sup>43</sup>, “lo que corresponde con la mano de obra que se genera al implementar la Solar EOR, es muy alto, por lo que la inyección de dinero que se genera se queda en el país donde se produzca la inversión”. A continuación, en la tabla 4, se mostrará la generación de empleos directos e indirectos que se dio en Omán, gracias a la implementación de la solar EOR.

Tabla 4. Trabajos creados por el Solar EOR.

2014-23	Steady	Leadership	Full-scale
Direct GVA (USD m)	1,539	3,277	5,234
<b>Total jobs, among which</b>	<b>39,114</b>	<b>111,561</b>	<b>168,701</b>
Sensitivities	Steady	Leadership	Full-scale
Direct GVA (USD m)	1,329	2,831	4,521
<b>Total jobs, among which</b>	<b>11,886</b>	<b>33,900</b>	<b>51,263</b>
Jobs filled by Omani nationals <sup>5a</sup>	2,479	7,071	10,693
Indirect jobs supported by construction activity	4,545	12,964	19,605

Fuente: EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, Janurary 2014. P 29. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

Como lo muestran las tablas, la generación de empleo que se tendrá tanto directa como indirectamente, es muy alto, lo que va a ayudar a la economía del país. La generación de empleo es un factor indispensable para el crecimiento del país, ya que, de lo contrario, se podría caer en una trampa de pobreza tanto de las personas como de las empresas. Al incentivar la mano obra propia va a generar un aumento en el capital humano del país, el consumo y así mismo su crecimiento.

La empresa Glass point, es una multinacional, por lo que también va a ayudar a la generación de empleo en otros países, los cuales serán proveedores de maquinaria,

<sup>43</sup> Ibid., p.29

sistemas de control o de mantenimiento, al traer mano de obra extranjera a su país se está incentivando el turismo y consumo de bienes propios del país.

Como muestra EY building<sup>44</sup>, “en la creación de empleo directa del país se van a poder invertir 3,6 billones de dólares, los cuales se podrán ver reflejados en el PIB del país y de manera indirecta va a generar 2,83 billones de dólares, dando así más de 45.000 empleos, una cifra muy alta por la implementación de esta tecnología”.

La disminución en el consumo del gas natural trae beneficios positivos para los países donde se aplican algunos de estos son:

- Lo que argumenta EY building<sup>45</sup>, “liberar gas natural utilizado en el recobro mejorado, lo que permitirá volver proyectos inviables por la falta de disponibilidad de gas natural y así poder generar más empleo en otros sectores”.
- Lo que argumenta EY building<sup>46</sup>, “permitir que el exceso de gas natural disponible se utilice en otros proyectos térmicos de recobro mejorado, con el fin de aumentar la extracción de petróleo y así aumentar los ingresos públicos del país.”
- Lo que argumenta EY building<sup>47</sup>, “mejorar la balanza comercial de gas natural”.

Los impactos positivos de la solar EOR no solo se quedan en la parte económica del país, sino que uno de los más importantes beneficios son los ambientales, los cuales se mostraran a continuación. Principalmente, se va a generar una disminución en las emisiones de dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y dióxido de azufre, según las estimaciones cuantitativas de los beneficios ambientales generados por el uso del Solar EOR, que se muestran en la tabla 5.

---

<sup>44</sup> Ibid., p.33

<sup>45</sup> Ibid., p.33

<sup>46</sup> Ibid., p.33

<sup>47</sup> Ibid., p.38

Tabla 5. Disminución de CO2 con la tecnología de Solar EOR

Emissions	Steady	Leadership	Full-scale
CO <sub>2</sub> (Million tons/year)	3.5	8.1	13.0

Fuente: EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, January 2014. P 38. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

Los paneles solares necesitan refrigeración, por lo que también tienen algunos retos para el medio ambiente. Argonne National Laboratory (2013) sugiere que las tecnologías CSP que utilizan sistema de refrigeración en húmedo pueden consumir grandes cantidades de agua (aunque los sistemas de refrigeración en seco, se ratifica con EY building<sup>48</sup>, “que utilizan menos de una décima parte de la cantidad utilizada por los sistemas de refrigeración húmeda”. Sin embargo, la empresa *Glass Point* enfoca todos sus esfuerzos en generar un proceso totalmente verde mencionado por EY building<sup>49</sup>, “por lo que sus paneles solares no necesitan de un sistema de enfriamiento, lo que significa que no van a generar ningún impacto adverso en su huella hídrica”.

Hay dos tipos de seguridad energética: a largo plazo y a corto plazo. La seguridad a largo plazo, del suministro energético está vinculado principalmente a inversiones oportunas para suministrar energía, de acuerdo con la evolución económica y las necesidades ambientales. Esto se relaciona con la escasez absoluta - potencial agotamiento de recursos, como el petróleo y el gas. Por el contrario, basado en EY building<sup>50</sup>, “la seguridad a corto plazo del suministro de energía, se centra en la capacidad del sistema energético para reaccionar rápidamente a cambios repentinos en el equilibrio entre la oferta y la demanda”.

La dependencia del gas natural importado crea vulnerabilidades significativas a corto plazo. Basado en EY building<sup>51</sup>, “esto se relaciona con la escasez relativa, midiendo la ausencia temporal de recursos como los causados por la falta de

---

<sup>48</sup> Ibid., p.38

<sup>49</sup> Ibid., p.39

<sup>50</sup> Ibid., p.38

<sup>51</sup> Ibid., p.38

capacidad de suministro”. Una sola medida de la seguridad energética requiere considerar de la escasez absoluta y relativa del suministro de energía.

Por lo que el uso de la solar EOR tiene obvias ventajas en términos de seguridad de suministro de energía para Omán. El uso de energía solar en lugar de gas natural para la recuperación de petróleo puede liberar gas natural para otros usos en los sectores industriales de Omán, reduciendo a su vez el riesgo inherente en la dependencia por importaciones de gas naturales significativas desde Irán.

## 4.2 IMPACTOS NEGATIVOS

Los impactos negativos que se tienen en el proceso industrial son mínimos y si se considera que es un proceso verde, disminuye al máximo estos problemas. La empresa *Glass Point*, es una empresa con una confidencialidad muy alta por lo que no se encuentra mucha información al respecto, algunos de los impactos negativos que se encuentran en este proceso son:

- **Contaminación visual:** El proceso de la Solar EOR, necesita una gran extensión de terreno, como se ha demostrado anteriormente; por lo que se va a tener un cambio brusco del entorno donde se va a desarrollar el proyecto, cambiando el ambiente natural que se tiene por un nuevo ambiente donde se ve implícito la industria y el proceso. Los ecosistemas y animales que se puedan desempeñar en este entorno, van a tener una variación en su comportamiento, ya que se van a perder espacios de su hábitat natural. Aunque la empresa *Glass Point*, genera un estudio ambiental previo muy extenso para que esto sea mínimo.
- **Dependencia de las condiciones climáticas:** el proceso de la solar EOR es vulnerable a las condiciones del clima, por lo que, si no se generan las condiciones mínimas de operación, se debe recurrir al sistema de apoyo el cual es un sistema convencional que generará emisiones de dióxido de carbono.

En la revisión realizada no fue posible documentar mayores impactos negativos del proceso, lo que demuestra lo bien estructurado y planeado con lo que se realizó todo el proceso de implementación de la Solar EOR, y el compromiso que se tiene con generar el menor impacto ambiental posible para que se ha reconocido como un proceso verde. Sin lugar a dudas, los precios tan altos implicados en la construcción y operación, junto con la baja rentabilidad a corto plazo, son los impedimentos principales para que los países opten por este tipo de tecnología.



## **5. ANALISIS DEL ENTORNO DE LA TECNOLOGIA SOLAR EOR**

En este capítulo se va a desarrollar el análisis del entorno, por medio de dos matrices de análisis de la información consultada. La primera matriz que se desarrolló, fue la conocida como PESTLE, que evalúa cualquier organización en los pilares políticos, económicos, sociales, tecnológicos, legales y ambientales. Estos son los factores que afectan el proceso de la solar EOR, que una vez determinados servirán para alimentar la matriz de análisis DOFA, la cual mira la empresa desde los problemas internos de la empresa y así mismo como el entorno externo la pueden afectar. Esto permitirá generar estrategias para maximizar las fortalezas y oportunidades y disminuir las amenazas y debilidades, según se muestra en la tabla 6 y 7.

Tabla 6. Análisis PESTLE para la implementación de la tecnología Solar EOR.

Componente	Factor	Descripción del factor en el entorno del proyecto	Fase de análisis					Nivel de incidencia					¿Describa cómo incide en el proyecto?	¿Cómo potenciaría los efectos positivos y disminuiría los negativos?	
			I	P	Im	C	Cr	Mn	N	I	P	Mp			
politico	Relaciones de poder	Autosuficiencia energética											X	Generación de crecimiento en el PIB del país y mejor optimización de los recursos fósiles.	Tener la operación en su máximo punto de eficiencia, para generar el mayor aprovechamiento del recurso fósil
político	Expectativas de la comunidad	Generación de empleo		X									X	Beneficios sociales, culturales y económicos al incentivar el proceso de Solar EOR:	Asegurando un mínimo de empleo para los nacionales en todos los ámbitos técnicos, tecnológicos, gerenciales y de mano de obra pesada.
Político	Formas de organización existentes	Innovación	X							X				Al ser un proceso nuevo se va a tener cierta repelencia y a métodos modernos	Asegurando una buena comunicación del proceso industrial mostrando sus beneficios y desventajas que cuenta de forma transparente.
Económico	Estructura de la propiedad	Alto costo de inversión	X						X					Limitantes de empresas interesadas por falta de capital.	Demostrar el beneficio económico que se genera a largo plazo, con datos certificados en otras plantas ya existentes

Económico	Infraestructura, cobertura y calidad de los servicios públicos	Localización del proyecto		X					X				Se generaran sobre costos al tener que llevar los servicios públicos, a lugares aislados de la urbes	Crear procesos con consumo mínimo y con altos porcentaje de reutilización de los recursos utilizados.
Económico	Niveles de productividad	Sobre demanda del recurso fósil					x				X		El gran crecimiento de los países, es proporcional al consumo energético de la región.	Tener la operación en su máximo punto de eficiencia, para generar el mayor aprovechamiento del recurso fósil y poder venderlo
Social	Demográfico	Número de habitantes			x					X			Al ser un proceso industrial se va a tener un aumento en las ciudades cercanas a donde se genere el proceso generando oportunidades en diferentes sectores.	Asegurando lugares aptos en todos los sentidos para alberga la cantidad de personas que se espera que llegue con este nuevo proceso y suplir sus necesidades a cabalidad.
Tecnología	Tecnología disponible	Falta de proveedores				x		X					Al ser un proceso innovador la mayoría de productos que se utilizan, serán importados y no será de fácil acceso	Tener un buen stock en la zona y tener un buen control de mantenimiento para no para la producción por una falla operativa.

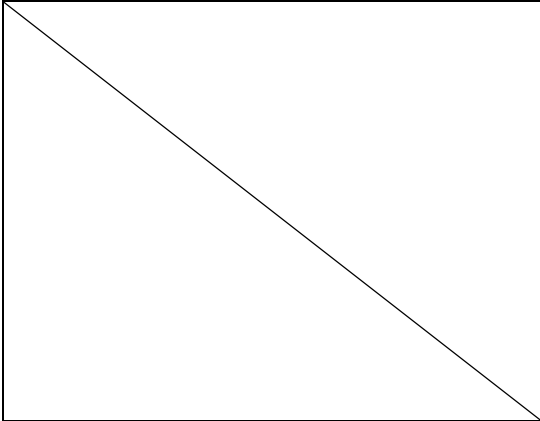
Ambiental	Clima	Temperatura				x		X					Bajas temperaturas no permitirán el buen funcionamiento del proceso y por ende utilizar el sistema secundario	Mantener buenas reservas en las baterías para suplir días con una baja temperatura
Ambiental	Clima	Precipitación				x		X					Las grandes precipitaciones van a generar una perturbación en el invernadero y una disminución en la captación del brillo solar	Hacer un estudio completo para saber los meses donde se van a registrar las mayores precipitaciones y generar alternativas para no afectar el proceso.
Ambiental	Clima	Brillo solar				x		X					Los lentes del solar EOR aprovechan este principio por lo que si no son aptos no se podrá llevar acabo.	Asegurar un estudio pertinente de la radiación solar emitida en el lugar donde se realizara la Solar EOR:
Ambiental	Geología	Erosibilidad				x		X					Al tener mucho polvo el invernadero se encontrara limpio lo que no permitirá el paso eficiente de los rayos solares	Mantener los limpiadores del invernadero en óptimas condiciones y a su mayor eficiencia.
Ambiental	Aire	Gases				x						X	Disminución de la emisión de gases de invernadero	Operación con su mayor eficiencia posible.

Ambiental	Aire	Ruido				x						X	Disminución del generación del ruido	Buen mantenimiento de la maquinaria y de los lentes.
Ambiental	Paisaje	Calidad visual			x			X					Cambio en el paisaje por la construcción de la infraestructura necesaria	Uso de materiales amigables con el medio ambiente y una construcción con una contaminación visual.
Ambiental	Contaminación	Problema de contaminación del aire, agua, suelos			x							X	No se genera contaminación en ninguno de los recursos.	Seguir cumpliendo a cabalidad la política de contaminación 0.

**Fuente:** Adaptado de la metodología Green Project Management por el autor.

<b>Categoría:</b> Político Económico Social Tecnológico Ambiental	<b>Fase:</b> I: Iniciación P: Planificación Im: Implementación C: Control Cr: Cierre	<b>Nivel de incidencia:</b> Mn: Muy negativo N: Negativo I: Indiferente P: Positivo Mp: Muy positivo
--	---	---

Tabla 7. Análisis DOFA para la implementación de la tecnología Solar EOR.

	<p style="text-align: center;"><b>DEBILIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia de un solo proveedor.</li> <li>• Necesidad de obra calificada experta en el tema.</li> <li>• Falta de comunicación del proceso.</li> <li>• Grandes espacios para la infraestructura.</li> <li>• Gran inversión inicial en el proceso.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>FORTALEZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exclusividad del proceso.</li> <li>• Proceso amigable con el medio ambiente.</li> <li>• Generación de empleo.</li> <li>• Disminución del OPEX.</li> <li>• Aprovechamiento del combustible fósil.</li> <li>• Certificación de calidad y premios de diferentes entidades.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>OPORTUNIDADES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Innovación del proceso.</li> <li>• Apertura de nuevos mercados.</li> <li>• Disminución de pagos por contaminación.</li> <li>• Necesidad de procesos eficientes con la menor contaminación posible.</li> <li>• Necesidad de extraer la mayor cantidad de petróleo posible</li> <li>• Oportunidad de expansión a nivel mundial.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>DO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asociarse con nuevos proveedores.</li> <li>• Tener un método de pago a crédito o generar alianzas en la cual Glass Point entre a ser inversionista del proceso.</li> <li>• Generación de empleos de otros países para generar una disminución del riesgo de talento humano en la empresa</li> </ul> <p>y consolidar nuevas alianzas con industria energética de cada país.</p>	<p style="text-align: center;"><b>FA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad para los empleados de la empresa para poder generar condiciones una cultura empresarial positiva hacia los empleados.</li> <li>• Demostrar los beneficios de poder disminuir el consumo de combustible fósil en el proceso de forma ambiental y económica.</li> <li>• Se debe regular la calidad del proceso con lo más altos estándares de calidad, por medio de certificación vigentes como la ISOS.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas de investigación en los demás recursos naturales, para la generación de una diversificación en la fuente del proceso.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>AMENAZAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Llegada de competidores</li> <li>• Perdida del mercado por la tecnología común.</li> <li>• Perdida de ejecutivos.</li> <li>• Factores climáticos</li> <li>• Restricciones al poder prestar el servicio.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>DA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de la dependencia de la bomba OTSG por medio de baterías para almacenar la energía producida en el día.</li> <li>• Estudios precisos para poder entender mejor los ecosistemas en los que se va a tener el proceso y así anular los impactos negativos que tiene el proceso.</li> <li>• Incentivar la cultura ciudadana verdad, y así generar un cambio cultural a cerca de la protección de los recursos naturales sin perder la eficiencia del proceso industrial.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>FO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar alianzas con otros países, mostrando el beneficio económico que se tendrá ya que la legislación penaliza la generación de gases de invernadero de la empresa.</li> <li>• Tener la capacidad operativa para cualquier proceso que presente el mercado.</li> </ul>

**Fuente:** Elaborado por el Autor

## 6. CONCLUSIONES.

- Los nuevos procesos verdes son el futuro en la industria, donde se pudo alcanzar el equilibrio entre la eficiencia del proceso y el cuidado medio ambiental que se necesita, GlassPoint muestra con hechos concretos tanto económicos, sociales y ambientales el beneficio que conlleva aplicar esta tecnología en los procesos de recobro mejorado a nivel mundial.
- El proceso de Solar EOR, es capaz de darle un plus económico al país donde se utilice como se puede observar en Omán en donde se tuvo una disminución en el consumo de gas natural en 5'600.000 MM Btus/año, esta cifra fue capaz de suplir el déficit energético que tenía el país, dándole así una seguridad energética y una autosuficiente.
- La empresa Glass Point ha generado una disminución de 350.000 Tn/año de emisiones de CO<sub>2</sub>, esta cantidad es equivalente a 63.000 carros y tuvo una disminución mayor que lo que genero todos los carros eléctricos vendidos en Estados Unidos. Esto demuestra el gran beneficio ambiental que deja el Solar EOR, en estos momentos que el calentamiento global es inminente. Se debe buscar el cambio de los procesos industriales a procesos verdes.
- Glass point tiene un mercado muy amplio el cual tiene mucho potencial, pero tiene que generar nuevas alianzas estratégicas con otros países para una mejor difusión de este proceso, y así poder seguir generando el cambio en donde el medio ambiente es lo más importante del proceso.



## **7. RECOMENDACIONES.**

- Para dar continuidad a esta investigación se recomienda desarrollar temas relacionados con los impactos negativos del proceso industrial del Solar EOR.
- Generar un estudio de caso en Colombia, con el fin de observar la viabilidad que podría llegar a tener este proceso industrial en algún campo petrolífero con las condiciones ambientales óptimas para su funcionamiento, y así demostrar el beneficio económico, social y ambiental que dejaría en nuestro país.
- Esta monografía permite incentivar la investigación de futuros estudiantes que tengan interés en el tema tratado, tomando como punto de partida los procesos industriales verdes, en especial el uso de paneles solares como fuente de energía para cualquier proceso.
- Se debe indagar en la normativa específica sobre las emisiones de dióxido en la industria del petróleo.

## BIBLIOGRAFÍA

Olajire, "Review of ASP EOR (alkaline surfactant polymer enhanced oil recovery) technology in the petroleum industry: Prospects and challenges," Energy, vol. 77, pp. 963-982, Dec. 2014.

Larson, Ronald, "Implementation of Solar Thermal Technology", 'MIT Press', 1996

R. Mokhtari, S. Ashoori, and M. Seyyedattar, "Optimizing gas injection in reservoirs with compositional grading: A case study," J. Pet. Sci. Eng., vol. 120, pp. 225-238, Aug. 2014.

M. M. Salehi, M. A. Safarzadeh, E. Sahraei, and S. A. T. Nejad, "Comparison of oil removal in surfactant alternating gas with water alternating gas, water flooding and gas flooding in secondary oil recovery process," J. Pet. Sci. Eng., vol. 120, pp. 86-93, Aug. 2014.

EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, Janurary 2014. P 21. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

IST. Flexible operation. [ sitio web]. USA. Sec. Industries. Powergen. cogen. [Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <http://otsg.com/industries/powergen/cogen/>

Chaar, M., Venetos, M., Dargin, J., & Palmer, D. (2015, October 11). Economics of Steam Generation for Thermal EOR. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/175162-MS

Heins, W., & Peterson, D. (2012, January 1). Use of Evaporation for Heavy Oil Produced Water Treatment. Petroleum Society of Canada. doi:10.2118/05-01-01

GLASS POINT. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. Oman. markets. Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

GLASSPOINT. Miraah fact sheet. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. California. Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

EY BUILDING A BETTER WORKING WORLD. Solar enhanced oil recovery: An in-country value assesment for Oman. [sitio web] Oman, January 2014. P 27. [Consultado 15, abril, 2017] Disponible en: la página web: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/\\$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014/$FILE/EY-Solar-enhanced-oil-recovery-in-Oman-January-2014.pdf)

GLASS POINT. Miraah fact sheet. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. Oman. Downloads & videos. Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

GLASS POINT. Miraah fact sheet. [ sitio web]. USA. Sec. Markets. California. Consultado 17, octubre, 2017]. Disponible: <https://www.glasspoint.com/markets/oman/>

CHAAR,Marwan, et al. Economics of Steam Generation for Thermal EOR. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2015. ISBN 978-1-61399-406-1.

PALMER,Daniel; O'DONNELL,John y WALTER,Bernard. Solar Enhanced Oil Recovery Application to Kuwait's Heavy Oil Fields. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2015. ISBN 978-1-61399-406-1.

TESTA,D., et al. Concentrating Solar Power Applied to EOR: High Temperature Fluid Circulation for Enhancing the Recovery of Heavy Oil. [Print(0)]:Offshore Mediterranean Conference, 2015. ISBN 0788894043648

CHAAR,Marwan, et al. Economics of Steam Generation for Thermal EOR. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2014. ISBN 978-1-61399-338-5.

MACGREGOR,Rod. Q&A with Rod MacGregor, Chief Executive Officer and President, GlassPoint Solar.

O'DONNELL,J.; HEISLER,M. A. y CHANDRA,M. Solar-Generated Steam for Oil Recovery: Process Integration Options, Net Energy Fraction, and Carbon Market Impacts. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2015. ISBN 978-1-61399-404-7.

PALMER,Daniel y O'DONNELL,John. Construction, Operations and Performance of the First Enclosed Trough Solar Steam Generation Pilot for EOR Applications. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2014. ISBN 978-1-61399-313-2.

TESTA,D., et al. Concentrating Solar Power Applied to EOR: High Temperature Fluid Circulation for Enhancing the Recovery of Heavy Oil. [Print(0)]:Offshore Mediterranean Conference, 2015. ISBN 0788894043648.

CHAAR,Marwan, et al. Economics of Steam Generation for Thermal EOR. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2014. ISBN 978-1-61399-338-5.

O'DONNELL,J.; HEISLER,M. A. y CHANDRA,M. Solar-Generated Steam for Oil Recovery: Process Integration Options, Net Energy Fraction, and Carbon Market Impacts. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2015. ISBN 978-1-61399-404-7

CHAAR,Marwan, et al. Economics of Steam Generation for Thermal EOR. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2014. ISBN 978-1-61399-338-5.

AL-SALMI,Salim; ROMERO,Pedro y AL BALUSHI,Mohammed. An Innovative Process to Unlock Heavy Oil Resources in a Highly Fractured Carbonate Field. [Print(0)]:Society of Petroleum Engineers, 2014. ISBN 978-1-61399-313-2.

H. Golghanddashti, "A new analytically derived shape factor for gas-oil gravity drainage mechanism," J. Pet. Sci. Eng., vol. 77, no. 1, pp. 18-26, Apr. 2011.

K. Li and R. N. Horne, "Modeling of oil production by gravity drainage," J. Pet. Sci. Eng., vol. 60, no. 3-4, pp. 161-169, Mar. 2008.

M. M. Kulkarni and D. N. Rao, "Experimental investigation of miscible and immiscible Water-Alternating-Gas (WAG) process performance," J. Pet. Sci. Eng., vol. 48, no. 1-2, pp. 1-20, Jul. 2005.

A. Peña-Fernández, S. Wyke, N. Brooke, and R. Duarte-Davidson, "Factors influencing recovery and restoration following a chemical incident.," Environ. Int., vol. 72, pp. 98- 108, Nov. 2014.

M. M. Salehi, M. A. Safarzadeh, E. Sahraei, and S. A. T. Nejad, "Comparison of oil removal in surfactant alternating gas with water alternating gas, water flooding and gas flooding in secondary oil recovery process," J. Pet. Sci. Eng., vol. 120, pp. 86-93, Aug. 2014.

B. Yang, C. Xi, X. Wei, K. Zeng, and M.-C. Lai, "Parametric investigation of natural gas port injection and diesel pilot injection on the combustion and emissions of a turbocharged common rail dual-fuel engine at low load," Appl. Energy, vol. 143, pp. 130-137, Apr. 2015.