

**DOCTORADO EN PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y DIRECCIÓN DE  
TECNOLOGÍA**



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla  
Centro Interdisciplinario de Posgrados  
Investigación y Consultoría  
Departamento de Ingeniería  
Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección  
De Tecnología

**Diseño de un modelo sustentable de producción más limpia:  
Estudio empírico en plantas de beneficio de carbón mineral  
ubicadas en el municipio de San Javier Sonora.**

Tesis que para obtener el Grado de Doctor  
En Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología

Presenta

Luis Enrique Duarte Verdugo

Puebla, México. Diciembre 2016



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

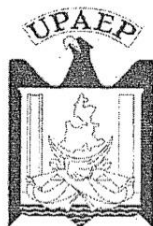
**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados

Investigación y Consultoría

Departamento de Ingeniería

Doctorado en Planeación Estratégica

y Dirección de Tecnología

**Se aprueba la Tesis:**

Diseño de un modelo sustentable de producción más limpia:

Estudio empírico en plantas de beneficio de carbón mineral

ubicadas en el municipio de San Javier Sonora

Luis Enrique Duarte Verdugo

Comité Asesor

Dr. Juan Carlos Robles Ibarra

Director(a) de Tesis

Dra. Beatriz Rico González

Asesor(a)

Dra. Genoveva Rosano Ortega

Asesor(a)

Puebla, México. 25 de octubre de 2016

## **DEDICATORIA**

### **A mi familia:**

A mi esposa Maria Yolanda, mis hijos Maira Yolanda, Luis Enrique y Mauro Alán, mis 4 motivos para seguir superándome.

### **A mi padres.**

Martin Duarte (QEPD), ejemplo de superación y honradez.

Aurelia Verdugo Ejemplo de fortaleza, a sus 90 años sigue cuidando de Jesús Ángel (su cruz) como desde el primer día que lo tuvo en sus brazos.

### **A mis tíos**

Leonel y Angelita, gracias por todo el apoyo recibido.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Sonora mi Alma Mater, sin su apoyo no hubiera sido posible lograr este objetivo en mi vida profesional.

A mis maestros, gracias por compartirme sus conocimientos y sus experiencias.

A mis asesores; Dra. Beatriz Pico Gonzalez y Dra. Genoveva Rosano Ortega les agradezco su tiempo, sus experiencias y sus conocimientos los cuales están plasmados en este trabajo.

A mi director de tesis, Dr. Juan Carlos Robles Ibarra, le quiero agradecer su amistad, así como el tiempo, consejos y conocimientos compartidos para lograr culminar con éxito esta tesis.

## INDICE

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>                                                              | <b>10</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                            | <b>11</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                                         | <b>12</b> |
| <b>CAPÍTULO I. PROPÓSITO Y ORGANIZACIÓN.....</b>                                 | <b>1</b>  |
| 1.1. Antecedentes.....                                                           | 1         |
| 1.2. Planteamiento del problema.....                                             | 9         |
| 1.3. Preguntas de investigación.....                                             | 17        |
| 1.3.1. Pregunta general.....                                                     | 17        |
| 1.3.2. Preguntas específicas.....                                                | 17        |
| 1.4. Propósito de la investigación.....                                          | 17        |
| 1.5. Objetivo General.....                                                       | 18        |
| 1.5.1. Objetivos específicos.....                                                | 18        |
| 1.6. Justificación de la investigación.....                                      | 19        |
| 1.7. Alcances y limitaciones.....                                                | 22        |
| 1.8. Organización del estudio.....                                               | 23        |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>                                           | <b>25</b> |
| 2.1 Planeación estratégica.....                                                  | 26        |
| 2.1.1. Modelo del proceso de planeación estratégica.....                         | 27        |
| 2.1.1.1. Misión.....                                                             | 28        |
| 2.1.1.2. Visión.....                                                             | 30        |
| 2.1.1.3. Análisis FODA.....                                                      | 31        |
| 2.2. Sistema de producción.....                                                  | 33        |
| 2.3. Producción más limpia.....                                                  | 34        |
| 2.3.1. La importancia de la tecnología en la producción más limpia.....          | 37        |
| 2.3.2. Tecnologías de producción más limpia en la industria minera Mexicana. ... | 39        |
| 2.3.3. Modelo de excelencia de producción más limpia.....                        | 39        |
| 2.3.3.1. Diagnóstico.....                                                        | 40        |
| 2.3.3.2. Política.....                                                           | 41        |
| 2.3.3.3. Estrategia.....                                                         | 41        |
| 2.3.3.4. Implementación.....                                                     | 42        |
| 2.3.3.5. Monitoreo.....                                                          | 42        |
| 2.3.3.6. Resultados económicos.....                                              | 43        |
| 2.3.3.7. Resultados ambientales.....                                             | 43        |
| 2.3.3.8. Resultados sociales.....                                                | 44        |
| 2.4. Desarrollo sustentable.....                                                 | 44        |
| 2.4.1. Desarrollo sustentable en la industria minera.....                        | 46        |
| 2.4.2. Directrices del desarrollo sustentable en la Industria Minera.....        | 47        |

|                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.3. Dimensiones del desarrollo sustentable. ....                                                                    | 52        |
| 2.5. Evaluación de Impacto Ambiental. ....                                                                             | 53        |
| 2.5.1. Herramientas utilizadas en la evaluación del impacto ambiental. ....                                            | 56        |
| 2.5.1.1. Listas de verificación. ....                                                                                  | 57        |
| 2.5.1.2. Matriz de Leopold. ....                                                                                       | 58        |
| 2.6. Legislación y marco administrativo. ....                                                                          | 64        |
| 2.6.1. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). ....                                     | 65        |
| 2.6.2. Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR). ....                                    | 67        |
| 2.7. Modelo sustentable de producción más limpia propuesto. ....                                                       | 69        |
| 2.7.1. Diagnóstico. ....                                                                                               | 71        |
| 2.7.2. Políticas. ....                                                                                                 | 72        |
| 2.7.3. Estrategia. ....                                                                                                | 74        |
| 2.7.4. Modelo sustentable de producción más limpia. ....                                                               | 74        |
| 2.7.5. Desarrollo sustentable. ....                                                                                    | 75        |
| 2.8. Marco teórico referencial. ....                                                                                   | 76        |
| <b>CAPÍTULO III. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y DEMOGRÁFICO DEL ESTADO DE SONORA Y DEL MUNICIPIO DE SAN JAVIER SONORA. ....</b> | <b>78</b> |
| 3.1. Contexto geográfico y demográfico del estado de Sonora. ....                                                      | 78        |
| 3.2. Contexto geográfico y demográfico del municipio de San Javier Sonora. ....                                        | 80        |
| 3.3. ¿Qué es el carbón? ....                                                                                           | 82        |
| <b>CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. ....</b>                                                              | <b>85</b> |
| 4.1. Diseño de la investigación. ....                                                                                  | 85        |
| 4.2. Estudio Empírico. ....                                                                                            | 86        |
| 4.3. Hipótesis planteadas. ....                                                                                        | 87        |
| 4.3.1. Hipótesis general. ....                                                                                         | 88        |
| 4.3.2. Hipótesis específicas. ....                                                                                     | 88        |
| 4.4. Descripción del objeto de estudio. ....                                                                           | 88        |
| 4.5. Población objeto de estudio. ....                                                                                 | 88        |
| 4.6. Selección y elaboración del instrumento. ....                                                                     | 89        |
| 4.6.1. Encuesta ....                                                                                                   | 89        |
| 4.6.2. Matriz de Leopold. ....                                                                                         | 90        |
| 4.6.2.1. Método Delphi. ....                                                                                           | 92        |
| <b>CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS. ....</b>                                                                         | <b>97</b> |
| 5.1. Resultados de la encuesta. ....                                                                                   | 97        |
| 5.1.1. Capacidad de producción de las plantas de beneficio de carbón mineral. ...                                      | 97        |
| 5.1.2. Número de empleados por planta. ....                                                                            | 98        |
| 5.1.3. Verificación de documentos. ....                                                                                | 99        |

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1.4. Guía de verificación del aire. ....                 | 99         |
| 5.1.5. Guía de verificación del suelo. ....                | 100        |
| 5.1.6. Guía de verificación de impacto ambiental. ....     | 101        |
| 5.1.7. Seguridad Industrial. ....                          | 102        |
| 5.2. Resultados de la matriz de Leopold. ....              | 102        |
| 5.3. Aceptación o rechazo de hipótesis. ....               | 104        |
| 5.3.1. Aceptación o rechazo de la hipótesis general. ....  | 104        |
| 5.3.2. Aceptación o rechazo de hipótesis específicas. .... | 105        |
| <b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>   | <b>108</b> |
| 6.1. Conclusiones. ....                                    | 108        |
| 6.2. Implicaciones para la ciencia. ....                   | 110        |
| 6.3. Recomendaciones. ....                                 | 111        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>                    | <b>114</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                        | <b>119</b> |

## **ANEXOS**

|                                                                      |  |
|----------------------------------------------------------------------|--|
| Anexo 1. Yacimientos de carbón mineral en el mundo                   |  |
| Anexo 2. Reservas de carbon a finales del 2013                       |  |
| Anexo 3. Yacimientos de carbón mineral en México                     |  |
| Anexo 4. Yacimientos de carbón mineral en el estado de Sonora México |  |
| Anexo 5. Solicitud de información a PROFEPA Delegación Sonora        |  |
| Anexo 6. Respuesta de PROFEPA a solicitud de información             |  |
| Anexo 7. Guía de verificación del aire                               |  |
| Anexo 8. Guía de Verificación del cumplimiento en materia suelo      |  |
| Anexo 9. Guía de verificación de impacto ambiental                   |  |
| Anexo 10. Encuesta aplicada                                          |  |
| Anexo 11. Solicitud de participación de expertos.                    |  |

## **FIGURAS**

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Propósito y Organización .....                                                                                             | 1  |
| Figura 2. Proceso de producción en una planta de beneficio de carbón mineral .....                                                   | 12 |
| Figura 3. Planta de beneficio de carbón mineral en operación .....                                                                   | 14 |
| Figura 4. Planta de beneficio de carbón mineral en operación .....                                                                   | 14 |
| Figura 5. Planta de beneficio de carbón mineral en operación .....                                                                   | 15 |
| Figura 6. Planta de beneficio de carbón mineral en operación .....                                                                   | 15 |
| Figura 7. Emisiones que genera una planta de beneficio de carbón mineral en operación<br>(imagen captada a 5 km. De la planta) ..... | 16 |
| Figura 8. Marco teórico .....                                                                                                        | 25 |
| Figura 9. Componentes del proceso de planeación estratégica .....                                                                    | 27 |
| Figura 10. Grupos afectados en la declaración de la misión.....                                                                      | 30 |
| Figura 11. Matriz FODA .....                                                                                                         | 32 |
| Figura 12. Modelo de un sistema de producción .....                                                                                  | 33 |
| Figura 13. Jerarquía de la prevención .....                                                                                          | 36 |
| Figura 14. Modelo de excelencia de producción más limpia .....                                                                       | 40 |
| Figura 15. Capital natural .....                                                                                                     | 45 |
| Figura 16. Matriz de identificación .....                                                                                            | 63 |
| Figura 17. Matriz de importancia .....                                                                                               | 64 |
| Figura 18. Modelo sustentable de producción más limpia propuesto .....                                                               | 70 |
| Figura 19. Capitulo III .....                                                                                                        | 78 |

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 20. Ubicación del Estado de Sonora .....              | 79  |
| Figura 21. Ubicación del municipio de San Javier Sonora..... | 80  |
| Figura 22. Tipos y usos del carbón mineral .....             | 83  |
| Figura 23. Metodología de la investigación .....             | 85  |
| Figura 24. Matriz de Leopold (de importancia) .....          | 91  |
| Figura 25. Resultados y análisis .....                       | 97  |
| Figura 26. Conclusiones y recomendaciones .....              | 109 |

## **GRÁFICAS**

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Grafica 1. Volumen histórico de la producción de carbón antracítico en Sonora ..... | 13  |
| Gráfica 2. Población en San Javier Sonora (1980-2010).....                          | 81  |
| Gráfica 3. Número de empleados por plantas de beneficio.....                        | 98  |
| Grafica 4. Impacto ambiental .....                                                  | 102 |

## **TABLAS**

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Producción de carbón por país y por año (millones de toneladas) .....                                                         | 5   |
| Tabla 2. Autores y sus contribuciones .....                                                                                            | 77  |
| Tabla 3. Distribución de preguntas .....                                                                                               | 90  |
| Tabla 4. Valores de atributos .....                                                                                                    | 95  |
| Tabla 5. Matriz de Leopold de importancia .....                                                                                        | 96  |
| Tabla 6. Fases para implementar el Método Delphi .....                                                                                 | 96  |
| Tabla 7. Capacidad de producción mensual por planta .....                                                                              | 98  |
| Tabla 8. Verificación de documentos .....                                                                                              | 99  |
| Tabla 9. Guía de verificación del aire .....                                                                                           | 100 |
| Tabla 10. Guía de verificación del suelo.....                                                                                          | 101 |
| Tabla 11. Condiciones de trabajo .....                                                                                                 | 102 |
| Tabla 12. Matriz de Leopold (valores obtenidos utilizando el Método Delphi) .....                                                      | 104 |
| Tabla 13. Artículos que no se cumplen en la operación de las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora..... | 111 |
| Tabla 14. Producción de carbón (2006-2010) Población en San Javier Sonora (2000-2010). .....                                           | 112 |
| Tabla 15. Recomendaciones para lograr el desarrollo sustentable mediante un sistema de producción más limpia .....                     | 114 |

## **RESUMEN.**

Vivimos actualmente en una época de retos, existe una conciencia creciente de que necesitamos hacer una transición cultural, en la que debemos aprender a vivir más sosteniblemente para no degradar más los sistemas que son nuestro sustento de vida.

La presente investigación, tiene como objetivo el diseñar un modelo sustentable de producción más limpia, el cual es validado mediante la observación en campo así como investigación documental sobre las condiciones en que trabajan las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en el municipio de San Javier en el estado de Sonora y que están en operación actualmente, la información tanto documental como la observada en campo se obtuvo y se procesó mediante dos instrumentos; encuesta y la matriz de Leopold.

En esta tesis se integraron los siguientes elementos; Planeación estratégica, sistemas de producción más limpia, desarrollo sustentable, evaluación de impacto ambiental, así como las leyes y reglamentos que rigen el funcionamiento y operación de las plantas de beneficio de carbón mineral en el municipio de San Javier en el Estado de Sonora, estos elementos fueron determinantes para lograr diseñar el sistema de producción más limpia que aquí se propone.

La investigación se realizó en el Estado de Sonora, en donde hay una gran variedad de recursos minerales y además posee una larga historia como estado minero que data de siglos, así mismo es el principal productor de cobre y el único productor de molibdeno, grafito, wollastonita y carbón antracítico en México (Secretaría de Economía del Estado de Sonora, 2014).

El antecedente de Sonora como un estado en donde la actividad minera representa una de las principales actividades económicas y la experiencia profesional que se tiene en este sector, fueron los motivos que originaron esta investigación.

*Palabras claves:* Medio ambiente, planeación estratégica, producción más limpia, desarrollo sustentable, impacto ambiental.

## **ABSTRACT**

Today, we live in an era that presents incredible challenges, there is a growing awareness that we need to do a cultural transition in which we must learn to live more sustainably to not degrade our life support systems.

This research, has the aim of develop a sustainable model of cleaner production, the information that gives validity to this model was obtained by field observation and documentary research about the conditions of operation of the five plants located in the municipality of San Javier in the state of Sonora and are currently in operation, the information was processed in two instruments; Matrix of Leopold and a survey.

In this thesis the following elements were integrated; Strategic planning, systems cleaner production, sustainable development, environmental impact assessment, as well as laws and regulations governing the functioning and operation of the mills of coal in the municipality of San Javier in the State of Sonora,

The research was conducted in the State of Sonora, that has a variety of mineral resources and also has a long history as a mining state dating back centuries, addition is the largest copper producer and the sole producer of molybdenum, graphite, wollastonite and anthracite coal in Mexico.

The history of Sonora as a state where mining is one of the main economic activities and the professional experience that i have in this sector were the reasons that led to this investigation.

*Key words:* environment, strategic planning, cleaner production, sustainable development, environmental impact.

## INTRODUCCIÓN

La protección del medio ambiente y su conservación, así como el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, tanto renovables como no renovable así como de los factores bióticos y abióticos son elementos básicos para la vida y el bienestar de los seres humanos, sin embargo algunas de las actividades que el hombre realiza para; explotar, procesar y utilizar estos recursos impactan en el medio ambiente por las siguientes razones:

- Hay un gasto en las fuentes generadoras de recursos renovables y no renovables.
- Provocan contaminación por la generación de residuos en los procesos de producción.
- Contaminación del aire suelo y agua por la generación de emisiones.
- Cambios en los ecosistemas y por lo tanto afectación de flora y fauna.
- Cambios en las condiciones de vida de una sociedad

Por lo anterior, se considera que es indispensable diseñar e implementar estrategias que permitan lograr un desarrollo sustentable y por lo tanto evitar que un uso anárquico de los recursos conduzca a una situación irreversible.

La estructura de esta investigación consta de 6 capítulos, en el capítulo 1 se presenta el propósito y organización de la investigación, posteriormente en el capítulo 2 se hace referencia al marco teórico así como al modelo propuesto y su validación, en el capítulo 3 se abordan los temas que tienen que ver con la situación geográfica y demográfica del estado de Sonora y del municipio de San Javier Sonora, la metodología utilizada se presenta en el capítulo 4, en el capítulo 5 se pueden observar los resultados obtenidos en la investigación y un análisis de estos y por último en el capítulo 6 se presentan una serie de conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO I. PROPÓSITO Y ORGANIZACIÓN.

El presente capítulo está estructurado como se observa en la figura 1.

**Figura 1.- Propósito y organización.**



**Fuente:** Elaboración del autor.

### 1.1. Antecedentes.

Antes de la Revolución Industrial, la cantidad que se explotaba y se utilizaba de recursos minerales era mínima, después de este acontecimiento, la explotación y el consumo de estos recursos sufrió un incremento importante, la puesta en marcha de la Revolución Industrial ocasiono una mayor demanda de minerales como el fierro además de un mayor

consumo de combustibles fósiles como el carbón mineral (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

El aumento en el consumo de recursos minerales, exigía desarrollar e implementar métodos más productivos en la extracción de minerales y sistemas de transporte más eficientes, sin embargo el cuidado del medio ambiente no era un tema prioritario y por lo tanto no existía una cultura sustentable (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

En México, la actividad minera tuvo sus inicios desde hace más de 500 años tanto a cielo abierto como subterránea, incluso antes de la conquista, los aztecas y los mayas tenían habilidades y experiencias con metales (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

En la época de la conquista, la actividad económica más importante en México fue la minería, en el año de 1548 fueron descubiertos importantes yacimientos de mineral de plata, y poblaciones como; Zacatecas, Durango y Guanajuato crecieron y se convirtieron en importantes centros urbanos debido a los yacimientos mineros que existían en esas zona (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

El proceso de fundición que se utilizaba para obtener las barras de plata representaba una fuente de riesgos para la salud de los mineros de esos tiempos, incluso ocasionaba la muerte de algunos que trabajaban en este proceso (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

En los años 1600s con la introducción del polvo en la minería se incrementó la eficiencia de esta actividad, pero a la vez también se incrementaron los problemas en la seguridad y salud de los mineros, sobre todo por la falta de iluminación, ventilación y drenaje (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

En el siglo XVII la sociedad mexicana de minería promovió la innovación tecnológica mediante la utilización de bombas de vapor en las minas, así como máquinas de trituración (Isunza, 1987).

En el siglo XVIII, el primero de enero de 1792 fue creado el real seminario minero, el cuál fue un importante centro para el desarrollo de la ciencia con aplicación en la industria minera, los principales avances tecnológicos en esta actividad se refieren al uso de la electricidad, al sistema ferroviario, la perspectiva ambiental y el reúso del agua utilizada en las minas en actividades agrícolas (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

Los inicios de la actividad minera en México se concentraron en la explotación de metales preciosos como el oro y la plata (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004), pero en la actualidad esta actividad se ha diversificado bastante ya que se explotan minerales tanto metálicos como no metálicos (Isunza, 1987).

En esta investigación, se consideró como referencia para validar el diseño del modelo sustentable de producción más limpia propuesto un estudio empírico el cual proporcionó información sobre las condiciones en que operan las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en el municipio de San Javier Sonora, las cuales son cinco, es por ello que en los siguientes párrafos se presenta información sobre el carbón mineral para tener un mejor conocimiento sobre este.

Según el Instituto Mundial del Carbón (WCI) El carbón mineral ha sido para la humanidad uno de los recursos energéticos no renovables más importantes para satisfacer sus necesidades, la exploración y explotación de este mineral ha impactado tanto en la evolución como en la modernización de la sociedad.

En la actualidad el carbón es una de las fuentes de energía más importantes del mundo, con la que se produce casi el 40% de la electricidad mundial (World Coal Institute, 2005). En muchos países, esta cifra es todavía mayor: Polonia obtiene el 94% de su electricidad gracias al carbón, Sudáfrica el 92%; China el 77%; y Australia el 76% (World Coal Institute, 2005).

De los combustibles fósiles, el carbón ha sido la fuente de energía con mayor crecimiento en los últimos años; mayor que la del gas y el petróleo (Feltham, 2004), además, el carbón tiene las reservas más ampliamente distribuidas, se extrae en más de 100 países y en todos los continentes excepto la Antártida.

En el anexo 1, se observa que las mayores reservas se encuentran en los EE.UU., Pakistán, Rusia, China, India y Australia (Catelin, 2010). British Petroleum en su informe de 2014, estimaba que a finales de 2013 había 891,531 millones de toneladas de carbón de reserva comprobadas en todo el mundo, esto equivale a que se cuenta con una reserva de 147 años de carbón mineral, en el anexo 2 se presenta a detalle estas reservas por país y por región.

En muchos casos, las empresas tienen conocimiento que los depósitos de carbón no han sido suficientemente perforados para calificarlos como "probados", pero algunas naciones no han actualizado su información y asumen que las reservas permanecen en los mismos niveles a pesar de la explotación del combustible.

British Petroleum estima que queda suficiente carbón para los próximos 147 años (BP, 2014), este periodo podría ampliarse debido a una serie de desarrollos, entre los que se incluyen, el descubrimiento de nuevas reservas gracias a las actividades de exploraciones actuales y futuras, y mejoras en las técnicas de extracción que permitirán acceder a reservas anteriormente inaccesibles.

En el anexo 2, se observa que los países con mayores reservas de carbón mineral, no están confinados a una única región. Estos países son: China, EEUU, India, Australia y Sudáfrica (Salinas & Muñoz, 2014).

Un dato sobre este mineral es que la mayoría de la producción mundial de carbón se utiliza en el país en el que se produce; sólo un 18% de la producción se dedica al comercio internacional de carbón (Catelin, 2010).

La reserva es una estimación basada sólo en los niveles de producción actuales y los niveles de reservas demostradas para los países indicados, y no hace suposiciones de la producción futura o incluso tendencias de la producción actual. En la tabla 1, se puede observar la producción de carbón de los diez principales productores de este mineral en el periodo 2008-2013. ***Producción de carbón por país y por año (millones de toneladas)***

**Tabla 1.- Producción de carbón por país y por año (millones de toneladas).**

| PAÍS          | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| China         | 2802 | 2973 | 3235 | 3516 | 3545 | 3680 |
| USA           | 1063 | 975  | 984  | 994  | 922  | 893  |
| India         | 516  | 556  | 574  | 570  | 607  | 605  |
| Unión Europea | 588  | 560  | 549  | 578  | 584  | 543  |
| Australia     | 408  | 422  | 433  | 421  | 453  | 478  |
| Rusia         | 329  | 301  | 322  | 336  | 356  | 347  |
| Indonesia     | 240  | 256  | 275  | 353  | 386  | 421  |
| Sudáfrica     | 253  | 251  | 257  | 252  | 258  | 257  |
| Alemania      | 192  | 184  | 182  | 189  | 196  | 190  |
| Polonia       | 144  | 135  | 133  | 139  | 144  | 143  |

**Fuente:** (Salinas & Muñoz, 2014).

Según Flores y Galicia (1988), en México se conocen yacimientos de carbón mineral desde 1850, los principales yacimientos se localizan en tres regiones, que corresponden a los estados de Coahuila, Oaxaca y Sonora (ver anexo 3), siendo la región carbonífera más importante del país el estado de Coahuila (Corona, Benavides, Tritlla, & Piedad, 2006).

La primera producción comercial de carbón mineral en México sucedió en 1884 en el pueblo de San Felipe al sur de la Estación Sabinas Coahuila (Flores & Galicia, 1988), este mineral, primero se utilizó para fundir cobre de las minas de la región, después para proveer de combustible a los ferrocarriles y a finales del siglo XIX para las nacientes industrias metalúrgicas y del acero.

En la actualidad el mayor conocimiento tanto geológico como económico de las zonas carboníferas del país se tiene en las Subcuencas del Distrito Monclova-Sabinas del Estado de Coahuila, las Subcuencas en el Distrito Tezoatlán-Mixtepec en el Estado de Oaxaca y las de San Javier-San Marcial en la cuenca de barrancas Sonora (Flores & Galicia, 1988).

Las zonas en el estado de Sonora en donde existen importantes yacimientos de carbón mineral son; Cabullona, Porción Central en el Municipio de San Javier Sonora y en Álamos (Ver anexo 4). Según (Flores & Galicia, 1988). La porción central destaca como

la más importante, este factor influyo para realizar la investigación en esta zona carbonífera.

En el periodo de 1890 a 1911 los depósitos del Distrito de Santa Clara (zona centro del estado de Sonora) fueron explotados por las subsidiaria Southern Pacific Railroad Co (Wilson I. F., 1946), pero se presentaron una serie de problemas que impedían que esta compañía siguiera explotando este mineral, entre los que destacan:

- Altos costos de explotación.
- El impacto de la Revolución Mexicana en 1910.
- Problemas con la tribu Yaqui

Esta región se encuentra en el centro del estado de Sonora, aproximadamente a 90 kilómetros al sur de Hermosillo, la geología y los depósitos de Carbón han sido investigados por (Dumble, 1899), (Flores T. , 1930), (Wilson & Rocha, 1946), y (Flores & Galicia, 1988). Sin embargo no se encontraron investigaciones sobre los procesos de producción en las plantas de beneficio.

En el desarrollo de esta investigación, se encontró que en el municipio de San Javier Sonora ya se han realizado investigaciones únicamente sobre los yacimientos del carbón mineral, sin embargo no se encontraron investigaciones que sirvan como referencia para el diseño del modelo propuesto sobre las condiciones de operación en que se encuentran las plantas de beneficio de este mineral, y su contribución al desarrollo sustentable mediante sistemas de producción más limpia, incluso tampoco se han realizado auditorías ambientales a las cinco plantas de beneficio, según respuesta de la PROFEPA delegación Sonora (ver anexo 6) .

Con el fin de encontrar antecedentes que contribuyan a fortalecer esta investigación, se investigó documentalmente, así como en sitios web, si en plantas de beneficio de carbón mineral ya sea en Sonora, en México o en algún otro lugar del mundo, se han desarrollado modelos sustentables de producción más limpia o algún modelo similar, y se encontró

que en una mina de carbón en Venezuela se tiene implementado un sistema de Gestión, Seguridad y Ambiente, la razón social de esta empresa minera es Carbones del Guasare S. A.

Como se observa en el anexo 2, Venezuela ocupa el lugar número 30 de los países con reservas de carbón mineral, en este país, específicamente en el estado de Zulia se encuentra Carbones del Guasare (CDG) y es la compañía carbonífera más grande de Venezuela, produce 6,800,000 toneladas por año (Gutierrez, 2011).

Las actividades que desarrolla esta empresa son exploración, explotación, transporte y comercialización de carbón para la generación de electricidad y uso de acerías en el mercado energético mundial.

La misión de CDG es la siguiente:

“Maximizar beneficios para los accionistas y grupos de interés, mediante el desarrollo sustentable de la potencialidad energética de nuestros yacimientos, operando con gente excelente, en forma responsable y segura”.

En CDG producir en armonía con el medio ambiente sella su compromiso moral y ético frente a la vida presente y futura, para ello elaboró una estrategia, mediante el desarrollo de operaciones seguras, confiables, eficientes y protectoras del medio ambiente y del hombre, esta estrategia consiste en la implementación un sistema de Gestión de Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) que está alineado con la misión de la empresa.

Esta filosofía de SHA se traduce en políticas y programas para proteger la calidad de las aguas, controlar emisiones a la atmósfera, repoblar las zonas intervenidas, fomentar la educación ambiental y controlar los impactos a las comunidades ubicadas en las áreas de influencia de sus operaciones (Gutierrez, 2011).

Para proteger la calidad del aire en CDG se dispone de un conjunto de instalaciones para el control de emisiones de partículas de polvo y/o carbón a la atmosfera y una red de medidores que permiten monitorear la eficiencia de estos equipos, para el control de

emisiones se utilizan difusores para aplicación de agua, productos supresores de polvo de carbón, así como cortinas rompe vientos (Gutierrez, 2011).

En CDG se tiene un programa de rehabilitación de suelos en las áreas intervenidas por la minería, a través de programas permanentes de reforestación con plantas nativas, preservando el patrimonio natural y el equilibrio biológico de la región. Además se disponen de patios especiales para el manejo y disposición de desechos industriales (Gutierrez, 2011).

En lo que se refiere a la educación ambiental, en CDG se construyó una sólida plataforma humana para la prevención de riesgos ambientales, la conservación de la naturaleza y el desarrollo de un ciudadano ecológicamente identificado con la preservación responsable de su entorno. En esta plataforma están incluidos; niños, estudiantes, docentes, vecinos de la región, familiares de trabajadores, socios y contratistas, quienes han recibido formación ambiental a través de jornadas de Saneamiento e Higiene ambiental, talleres, charlas y visitas guiadas (Gutierrez, 2011).

En resumen, en CDG se han implementado estrategias para minimizar el impacto ambiental tanto en la calidad del aire así como en los suelos, además de un programa de educación ambiental, con el objetivo de que esta actividad sea sustentable.

Industrias Peñoles, empresa Mexicana Fundada en 1887, es otro caso de empresa minera que ha implementado sistemas de producción más limpia, en esta empresa no se beneficia carbón mineral, pero por sus características se consideró importante hacer mención ya que ha implementado sistemas de producción más limpia en sus procesos (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

Para Industria Peñoles, el desarrollo sustentable significa "Un compromiso con el espacio, la cultura y las tradiciones de las comunidades vecinas, actuando en estricto cumplimiento con la ley, sin poner en peligro que las futuras generaciones tengan el acceso a la riqueza natural de la zona" (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

Peñoles utiliza sistemas de producción más limpia en sus plantas por ejemplo en las instalaciones de Química del Rey, se instaló una casa de bolsas para limpiar la combustión de los gases, para lograr esta tarea fue necesario reducir la temperatura de salida de los gases a 200 °C con el uso de un intercambiador de calor precalentando el agua que se alimenta a las calderas, este proyecto logro ahorros de 1 m<sup>3</sup> de combustible por tonelada de vapor, además de lo anterior el grupo Peñoles también tiene en sus instalaciones sistemas de tratamiento de aguas así como colectores de polvos (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

## **1.2. Planteamiento del problema.**

En los últimos años se ha tenido la oportunidad de observar las condiciones en que trabajan las plantas de beneficio de carbón mineral que se encuentran en el municipio de San Javier Sonora. El común denominador es que todas generan una gran cantidad de emisiones, y al parecer no se han implementado medidas preventivas ni correctivas que minimicen o resuelvan este problema, la situación ha sido la misma en ese lapso de tiempo, incluso las plantas que se han instalado más recientemente presentan las mismas condiciones de operación.

En la actualidad hay cinco plantas de beneficio de carbón mineral (Secretaria de Economía del Estado de Sonora, 2014). Estas plantas generan una gran cantidad de emisiones cuando están en operación, las cuales ocasionan los siguientes inconvenientes:

- Existen condiciones inseguras de trabajo.
- Impactan negativamente en el aire.
- Impactan negativamente en el suelo.
- Impactan en el medio ambiente afectando flora y fauna vecinas a estas plantas.
- No se cumplen con las políticas.

Los inconvenientes antes presentados son las causas que le dan origen al problema planteado en esta investigación, el cual consiste en que esta actividad económica no contribuye al desarrollo sustentable.

Tanto los inconvenientes que ocasionan las plantas de beneficio de carbón mineral cuando están en operación así como el problema que estos generan, fueron los factores que motivaron para diseñar una propuesta que le dé solución a ambos, esta propuesta consiste en diseñar un modelo sustentable de producción más limpia, mediante un estudio empírico realizado en las cinco plantas de beneficio de carbón mineral que se ubican en el municipio de San Javier Sonora.

Para proporcionar argumentos que demuestran que existe el problema antes planteado el cual refiere que las cinco plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora no contribuyen al desarrollo sustentable debido a las condiciones en que estas están operando actualmente, se citan a los siguientes autores:

- Hilson & Murck (2000) establecen que para que una empresa minera contribuya al desarrollo sustentable debe de implementar solidas herramientas de gestión ambiental y utilizar tecnologías limpias.
- Labonne (1999) considera que un requisito para que una empresa minera contribuya al desarrollo sustentable, debe de minimizar el impacto ambiental en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto.
- Para Eggert (2000), una empresa minera puede contribuir al desarrollo sustentable manteniendo y mejorando las condiciones de vida de la comunidad, mediante la creación de empleos para sus residentes con condiciones seguras de trabajo.
- Cooney (2000), propone para mejorar la sostenibilidad en las operaciones mineras las siguientes seis directrices; mejorar la planeación, mejorar la gestión ambiental, utilizar tecnologías más limpias, atender las necesidades de la comunidad y grupos de interés, formar alianzas de sostenibilidad y hacer énfasis en el entrenamiento.

- Según Jackson (1993), en el cuidado del medio ambiente se tienen dos opciones; prevenir y reaccionar. La reacción se relaciona con el control de la contaminación, es decir son las acciones que se ejecutan una vez que los efectos de la contaminación se han presentado, en contraparte la prevención son las medidas adoptadas para influir en las posibles causas de los efectos adversos (Jackson, 1993).

La propuesta de esta investigación para resolver el problema que se plantea, sin duda es una reacción y no prevención ya que los efectos que generan en el medio ambiente las cinco plantas de beneficio ya están presentes. Sin embargo se puede tomar como referencia para prevenir que nuevos proyectos de beneficio de carbón mineral impacten negativamente en el medio ambiente, de esta manera se pueden evitar muchos problemas debido a que desde el diseño del sistema de producción se estarían implementando acciones y estrategias de prevención.

Es importante destacar que el diseño del modelo sustentable de producción más limpia que se propone en esta investigación no es exclusivo para plantas de beneficio de carbón mineral, ya que se puede adaptar e implementar en cualquier proceso de producción.

Con el fin de proporcionar evidencias que sustentan los inconvenientes así como el problema que generan, se presenta en los siguientes párrafos de este apartado información sobre la situación actual de la explotación del carbón mineral en el estado de Sonora específicamente en las cinco plantas de beneficio que se ubican en el municipio de San Javier, así como las condiciones de operación de estas.

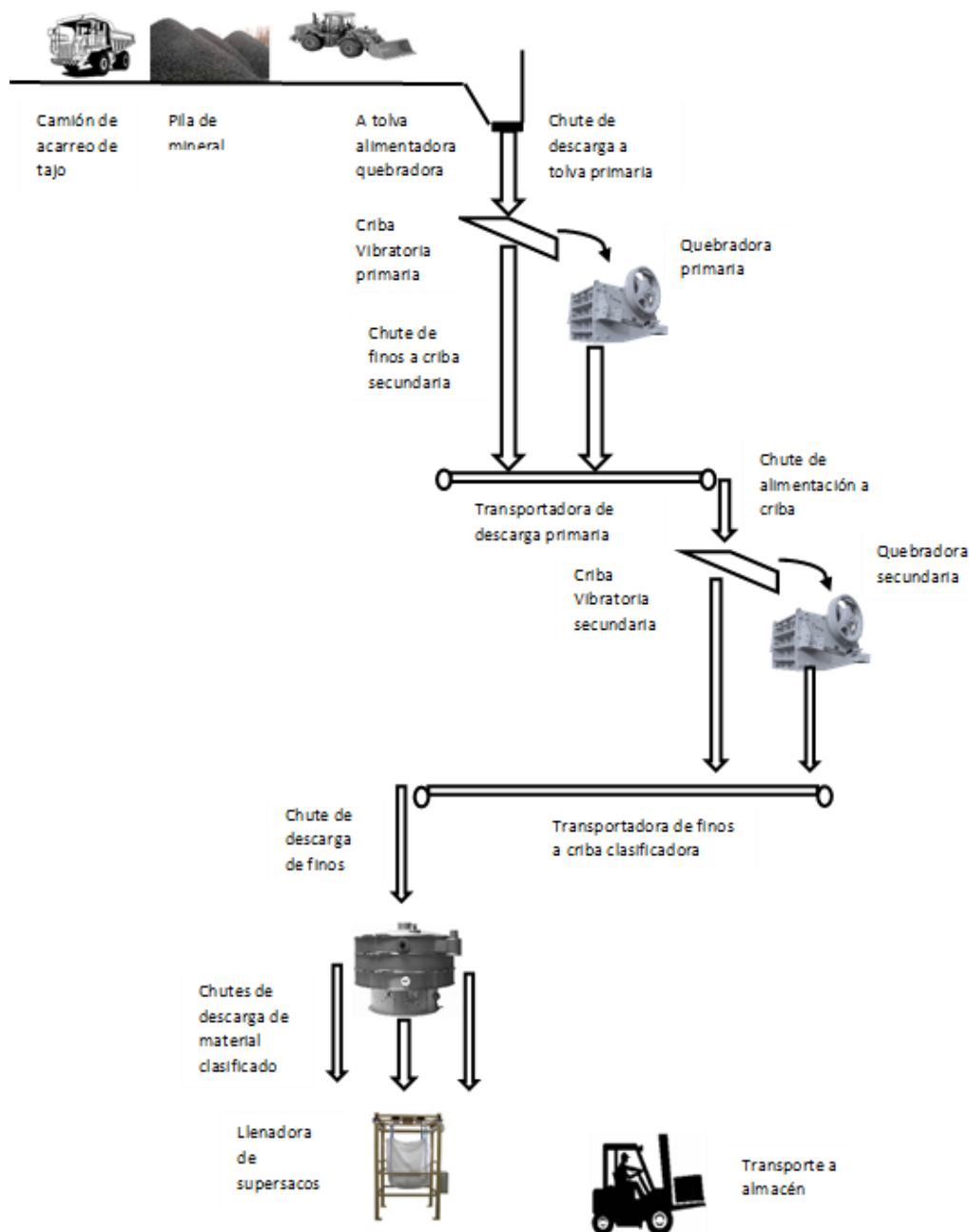
En los últimos años en la zona centro del Estado de Sonora, específicamente en el municipio de San Javier, la explotación de carbón mineral ha tenido un incremento, la Dirección General de Minería del Estado de Sonora informó que la producción anual de carbón antracítico en esta zona es de aproximadamente de 200,000 toneladas (Secretaría de Economía del Estado de Sonora, 2014).

En el municipio de San Javier existen 40 pequeñas minas, de donde se obtiene el carbón mediante el minado subterráneo (Secretaría de Economía del Estado de Sonora, 2014),

una vez que se extrae el carbón este se transporta a las plantas de beneficio (secantes), en donde se le agrega valor al mineral, clasificándolo granulométricamente.

El proceso de producción el cual es muy similar en las cinco plantas estudiadas se presenta en la figura 2. Este proceso incluye las siguientes actividades básicas; Cribado primario y secundario, trituración primaria y secundaria, clasificación y ensacado.

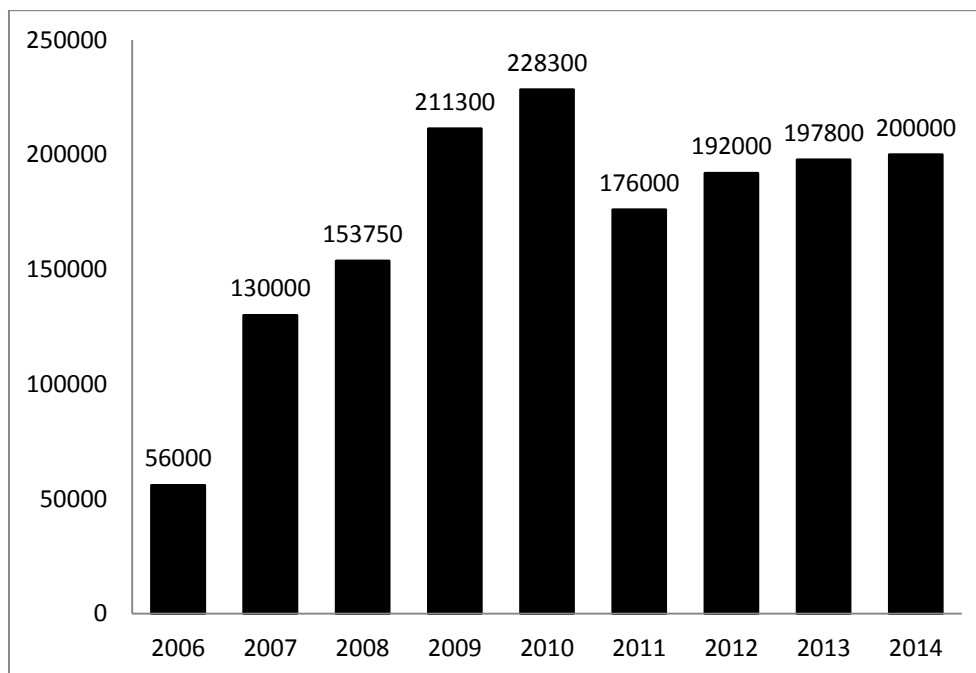
**Figura 2.- Proceso de producción en una planta de beneficio de carbón mineral.**



**Fuente:** Elaboración del autor con información obtenida en visitas a las plantas y entrevistas a empresarios.

El número de plantas de beneficio que hay en esta región son 5, esto ha generado beneficios económicos para esta zona de Sonora ya que se generan aproximadamente 250 empleos. En la gráfica 1 se observa el volumen histórico en toneladas de carbón antracítico producidas en el estado de Sonora en el periodo 2006-2014 (*Secretaria de Economía del Estado de Sonora, 2014*).

**Gráfica 1.- Volumen histórico de producción de carbón antracítico en Sonora (toneladas).**



**Fuente.** (Secretaria de Economía del Estado de Sonora, 2014).

Con el objetivo de tener un conocimiento más amplio sobre la operación de las plantas de beneficio y sus procesos, se visitaron cuando estas estaban en operación, y se observó una gran emisión de polvos al ambiente, estas emisiones de polvos primeramente pueden afectar al recurso humano que labora en estas plantas debido a que si no cuentan con equipos de protección adecuados su salud está en riesgo, además se tienen problemas con la visibilidad y por lo tanto se generan condiciones inseguras de trabajo las cuales son causas de un accidente de trabajo, además de impactar el aire, también se generan problemas en las áreas cercanas a las plantas de beneficio ya que se observó que hay una gran cantidad de finos de carbón mineral tanto en el suelo como en la flora contiguas a estas plantas, en las figuras 3, 4, 5, 6 y 7 se pueden observar las emisiones se generan cuando estas plantas están en operación.

**Figura 3.- Planta de beneficio de carbón mineral en operación.**



**Fuente:** Elaboración del autor, a partir de visita a la planta de Beneficio de Carbón mineral en San Javier, Sonora, 2013.

**Figura 4.- Planta de beneficio de carbón mineral en operación.**



**Fuente:** Elaboración del autor, a partir de visita a la planta de Beneficio de Carbón mineral en San Javier, Sonora, 2015.

**Figura 5.- Planta de beneficio de carbón mineral en operación.**



**Fuente:** Elaboración del autor, a partir de visita a la planta de Beneficio de Carbón mineral en San Javier, Sonora, 2015.

**Figura 6.- Planta de beneficio de carbón mineral en operación.**



**Fuente:** Elaboración del autor, a partir de visita a la planta de Beneficio de Carbón mineral en San Javier, Sonora, 2015.

**Figura 7.- Emisiones que genera una planta de beneficio de carbón mineral en operación (fotografía tomada a 5 km de la planta).**



**Fuente:** Elaboración del autor, a partir de visita a la planta de Beneficio de Carbón mineral en San Javier, Sonora, 2015.

Las 5 imágenes anteriores representan evidencias de que existe un problema en la operación de las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en la zona centro del estado de Sonora, ya que se generan una gran cantidad de emisiones a la atmósfera que primeramente afectan al recurso humano que labora en estas plantas y posteriormente a las áreas contiguas a estas plantas de beneficio.

Lo anterior no se debe de considerar un problema menor, por lo que se deben de sugerir estrategias que generen alternativas de solución, y esta investigación precisamente pretende diseñar una propuesta que se pueda considerar como parte de la solución al problema antes planteado.

### **1.3. Preguntas de investigación.**

Considerando los requisitos que deben de cumplir las preguntas de investigación. Los cuales según León y Montero (2003), no se debe conocer la respuesta y que se puedan responder con evidencia empírica, en esta investigación se plantearon una pregunta general y 4 preguntas específicas, estas son:

#### **1.3.1. Pregunta general.**

¿Cómo se puede diseñar un modelo sustentable de producción más limpia, mediante un estudio empírico?

#### **1.3.2. Preguntas específicas.**

- ¿Qué elementos deben integrar el modelo sustentable de producción más limpia?
- ¿Qué estrategias se deben de implementar en el diseño de un modelo sustentable de producción más limpia?
- ¿Qué tipo de políticas se deben respetar para el diseño de un modelo sustentable de producción más limpia?
- ¿Qué tipo de diagnóstico se debe realizar para el diseño un modelo sustentable de producción más limpia?

### **1.4. Propósito de la investigación.**

El propósito de esta investigación, es diseñar una propuesta que se pueda considerar como una alternativa para darle solución al problema antes planteado, el cual es generado por las condiciones en que trabajan las cinco plantas de beneficio de carbón mineral en el municipio de San Javier en el Estado de Sonora.

Para lo anterior se debe de tomar como referencia el Principio I de la reunión que se celebró en Río de Janeiro (La Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medio Ambiente en Rio de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992) la cual estableció que, “Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sustentable y tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza”.

Este principio antes mencionado sin una adecuada tecnología es imposible de lograrse, tal como lo establece la “Resolución Aprobada por la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas el 21 de Diciembre del 2009”, que reconoce la función decisiva que tienen la ciencia y tecnología, incluso las tecnologías ecológicamente racionales, en la protección del medio ambiente así como en el mejoramiento de la productividad y competitividad (ONU, 2010).

### **1.5. Objetivo General**

El objetivo general que se pretende lograr con esta investigación es el siguiente.

Diseñar un modelo sustentable de producción más limpia, mediante un estudio empírico realizado en las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en el municipio de San Javier Sonora, con la información obtenida mediante una investigación tanto documental como observación en campo de las condiciones de operación de las plantas de beneficio de carbón mineral antes mencionadas.

#### **1.5.1. Objetivos específicos.**

Los objetivos específicos en esta investigación son los siguientes:

- Conocer los elementos que integran el modelo sustentable de producción más limpia.

- Identificar las estrategias que se integran en función de la misión, visión y el análisis FODA para el desarrollo de un modelo sustentable de producción más limpia..
- Conocer las políticas que integran el diseño de un modelo sustentable de producción más limpia.
- Identificar los elementos que integran el diagnóstico para el diseño de un modelo sustentable de producción más limpia.

### **1.6. Justificación de la investigación.**

La visión de un mundo necesitado de progreso ha llevado a creer que la naturaleza, como proveedora de materia prima es limitada y que como receptora de los vertimientos tiene capacidad de dilución infinita, sin embargo, hay que considerar que la tierra cuenta con recursos y un valor estético que hay que cuidarlos y preservarlos para asegurar la sustentabilidad del planeta, se ha olvidado que sin planeta no hay humanidad, prefiriendo crecer y promulgar que sin humanidad no hay planeta (Masters & Ela, 2008).

Minimizar el impacto ambiental negativo, es un objetivo de primer orden para todo tipo de industrias, y la industria minera no debe ser la excepción. Para contribuir al desarrollo sustentable las empresas mineras deben de minimizar el impacto ambiental negativo en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto; desde la exploración, operación hasta la clausura del proyecto (Labonne, 1999).

Hilson & Murck (2000), establecen que en las tres etapas se debe de considerar lo siguiente.

- En la etapa de **exploración** las empresas mineras deben poner mucho cuidado en el impacto ambiental adverso a la flora y fauna así como la contaminación de arroyos y cañadas.

- En la etapa de **operación** de una instalación minera se debe de implementar sistemas de producción más limpios utilizando tecnologías limpias con el objetivo de minimizar los desperdicios así como las emisiones.
- En la **clausura**, la administración debe implementar medidas tecnológicas que garanticen la calidad del aire, que las fuentes de aguas superficiales y subterráneas estén protegidas y la producción ecológica tome un cauce normal tras el abandono del proyecto minero.

El crecimiento económico y la protección al medio ambiente son dos aspectos complementarios, sin una protección adecuada del medio ambiente, el crecimiento económico se vería desvirtuado, y sin crecimiento económico se fracasaría en la protección al medio ambiente (Miller, 2009).

La única fuente de recursos tanto renovables como no renovables que tenemos para satisfacer nuestras necesidades es el planeta tierra, es por ello que debe implementar estrategias para utilizar estos recursos de manera racional con el objetivo de que las futuras generaciones también puedan satisfacer sus necesidades (Miller, 2009).

Los criterios para el desarrollo han tenido una serie de cambios, pero al menos deben de cumplir con las siguientes características para que este desarrollo sea sustentable (Miller, 2009):

- Garantizar la calidad de vida del presente y del futuro.
- Asegurar un acceso continuo a los recursos naturales.
- Evitar daños permanentes al medio ambiente.

Partiendo del concepto de desarrollo sustentable el cual fue definido en 1987 durante el desarrollo de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo o Comisión Bruntland de la siguiente manera “*El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus*

*propias necesidades*”, se justifica ampliamente este trabajo de investigación, sin embargo debemos tener muy claro que el desarrollo sustentable no es una tarea fácil, ya que depende de muchos factores tales como; tecnologías, población, empresarios, gobiernos, instituciones de educación y de investigación, profesionistas, etc. (Hilson & Murck, 2000).

El desarrollo sustentable independientemente de que incluya componentes científicos técnicos, no es un principio exclusivo de carácter científico-técnico, también es de carácter meramente normativo, por lo tanto es determinante la participación de la sociedad a la hora de definir las formas y contenidos del desarrollo sustentable (Miller, 2009).

Diseñar un modelo que producción más limpia que resuelva el problema planteado, hará que esta actividad prospere en esta región y sea una opción económicamente sustentable para el beneficio de los habitantes del municipio de San Javier en el Estado de Sonora.

Hilson & Murck (2000) señalan que una mina debe minimizar los impactos ambientales a través de una gestión eficaz del medio ambiente con el fin de contribuir al desarrollo sustentable, este sistema de gestión ambiental es un modelo de mejoramiento continuo que ayuda a una organización a cumplir con los objetivos ambientales así como con las regulaciones ambientales, los beneficios obtenidos mediante este sistema son:

- El recurso humano está en mejores condiciones para examinar sistemáticamente todos los procesos y actividades y su impacto en el ambiente, además de identificar los requisitos legales y evaluar alternativas.
- Al implementar un sistema de gestión ambiental se recupera la inversión en el largo plazo a través de una reducción de los costos y mejorar la eficiencia.
- la implementación de un sistema de gestión ambiental en una mina permite planear la operación de un plan con enfoque ambiental de manera proactiva.

### 1.7. Alcances y limitaciones.

El alcance de esta tesis consiste en ***“diseñar un modelo sustentable de producción más limpia”***, que se pueda implementar en cualquier sistema de producción, y para su validación se realizó un estudio empírico en las cinco plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora.

Para la obtención de la información se aplicaron los siguientes dos instrumentos:

- **Encuesta**, para el diseño de la encuesta se consideraron las hojas de verificación del aire, suelo e impacto ambiental que utiliza la PROFEPA en sus auditorías ambientales.
- **Matriz de Leopold**, para elaborar la matriz se utilizó la técnica del método Delphi.

En varias etapas de esta investigación, se tuvieron una serie de conversaciones con personal de la dirección General de Minería del Estado de Sonora, los cuales se mostraron interesados en el proyecto de investigación, y proporcionaron información de interés para la presente investigación.

Además de entrevistar a funcionarios del gobierno del estado de Sonora, también se entrevistaron a académicos y empresarios que tienen bastante experiencia en el sector minero, la información proporcionada tuvo gran impacto en los resultados y conclusiones obtenidas.

Parte importante de este proyecto, son los propietarios y administrativos de las plantas de beneficio, la información y cooperación que estos proporcionen es determinante para lograr el propósito y el objetivo planteado, la falta de información y cooperación de las partes involucradas en esta actividad económica fueron algunas de las limitantes que se tuvieron en el desarrollo de esta investigación.

Otra de las limitantes que se presentaron en esta investigación, es la falta de información que se tiene en la Procuraduría Federal de Protección al Medio Ambiente (PROFEPA) Delegación Sonora, a esta dependencia se le solicito mediante oficio información sobre auditorías ambientales que se hayan realizado a las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en el municipio de San Javier en el Estado de Sonora (ver anexo 5), la respuesta de esta dependencia fue que no se tiene información sobre auditorías ambientales que se hayan realizada a estas plantas de beneficio (ver anexo 6).

La falta de información, tuvo un gran impacto en el desarrollo del modelo ya que las variables que se incluirían en este, se obtendrían de las auditorías ya realizadas por parte de la PROFEPA a las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en la zona de estudio.

La única información relevante que proporciono PROFEPA fueron las hojas de verificación del aire, suelo e impacto ambiental (ver anexos 7, 8, y 9), estas hojas de verificación se utilizaron para diseñar los reactivos de la encuesta.

Una de las principales contribuciones de esta investigación es que se puede tomar como referencia para investigaciones académicas posteriores, además de que será de utilidad para todos aquellos que estén interesados en invertir en esta actividad económica, ya que les puede servir como una guía para poder tomar decisiones adecuadas.

### **1.8. Organización del estudio.**

Con el propósito de proporcionar información básica de esta investigación, en este capítulo primeramente se proporcionó información sobre los antecedentes, en la segunda parte se presentó el planteamiento del problema, posteriormente la preguntas que se relaciona con esta investigación, en la parte cuarta se refiere al propósito de la investigación, en el apartado 5 se presentó el objetivo, en el punto 6 de este capítulo se presentó la justificación de la investigación, en la séptima parte los alcances y limitaciones y por último la organización del estudio.

Para realizar esta investigación, primeramente se analizaron varias opciones, y debido a la experiencia profesional en la actividad minera, así como al problema detectado y la justificación, se decidió realizar una investigación que tiene como objetivo general diseñar un modelo sustentable de producción más limpia, el cual se sustenta en la información obtenida sobre la operación de las plantas de beneficio de carbón mineral en el municipio de San Javier en el Estado de Sonora.

Las actividades realizadas en este trabajo son las siguientes:

- Investigación documental.
- Investigación de campo, visitando comunidades aledañas a las plantas de beneficio de carbón mineral.
- Entrevistar a funcionarios de distintas dependencias (SEMARNAT, PROFEPA, Dirección de Minería del gobierno del estado de Sonora).
- Presentar avances al comité doctoral.

Las actividades anteriores se realizaron de manera simultánea.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

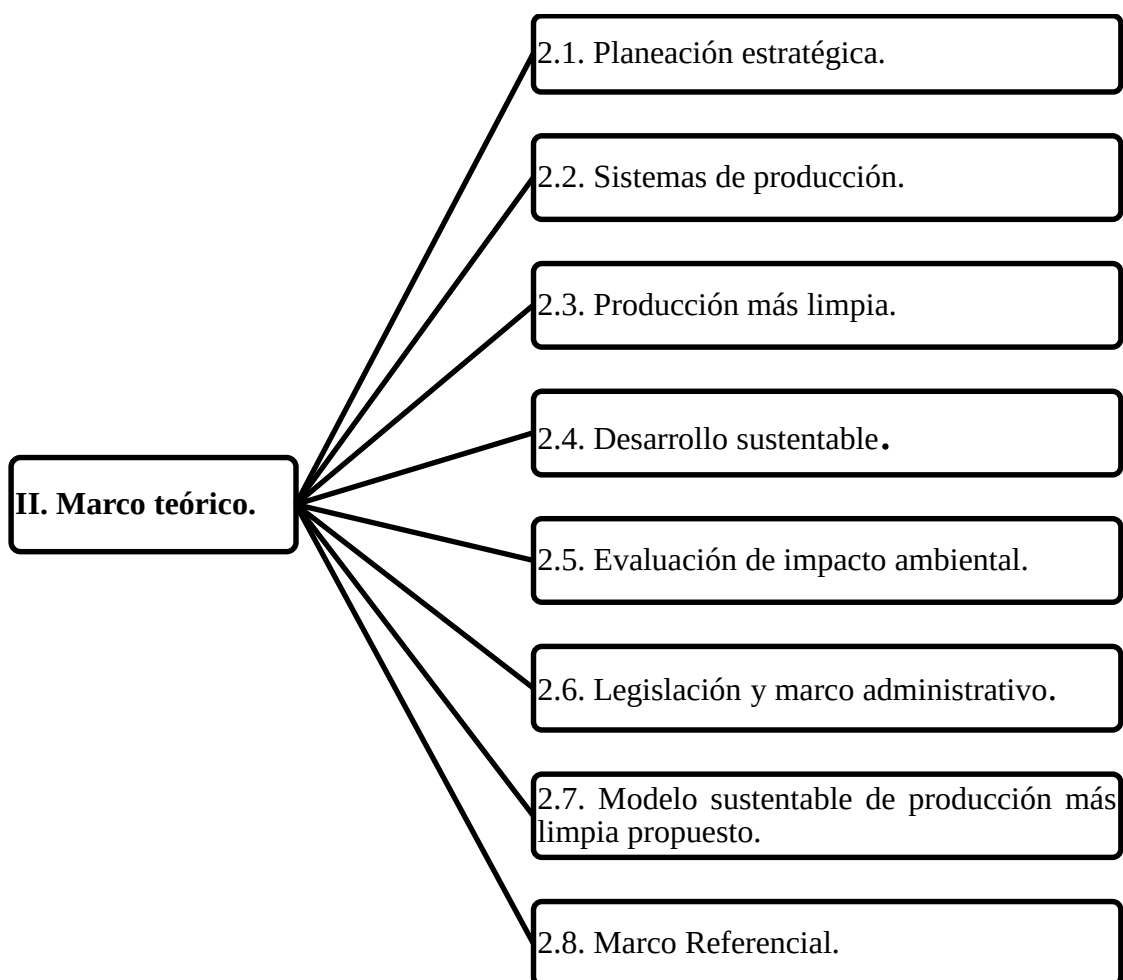
En este capítulo se presenta el desarrollo de la perspectiva teórica que consiste básicamente en dos etapas, las cuales según Hernández Sampiere y Fernández Collado (2010) son las siguientes.

**Primera etapa.-** Revisión analítica de la literatura correspondiente.

**Segunda etapa.-** Construcción del marco teórico.

En la figura 8 se observan los temas incluidos en este capítulo.

**Figura 8.- Marco teórico.**



**Fuente:** Elaboración del autor.

## **2.1 Planeación estratégica.**

En este apartado se citan algunos autores de planeación estratégica, posteriormente se presentan las partes que integran un modelo de planeación estratégica las cuales son; misión, visión y el análisis FODA.

La planeación formal es un esfuerzo administrativo que sirve para visualizar condiciones futuras tomando decisiones presentes a través de un documento llamado plan, este plan ayudará a los directivos a tomar mejores decisiones estratégicas que les permitan lograr los objetivos (Hill & Jones, 2011).

Porter (2004) define la estrategia como la búsqueda de una posición favorable dentro de una industria, escenario fundamental donde se lleva a cabo la competencia, y su finalidad es establecer una posición rentable y sustentable frente a las fuerzas que rigen la competencia en la industria.

En lo que se refiere a planeación estratégica, se tienen registros que tuvo sus orígenes en la década de los 50's (Carrion Maroto, 2007), algunos conceptos de planeación estratégica son los siguientes:

Steiner (1995) nos dice que la planeación estratégica consiste en la identificación sistemática de las oportunidades y peligros que se pueden presentar en el futuro, los cuales combinados con otros datos importantes proporcionan las bases para que una empresa tome mejores decisiones en el presente, esto implica entre otras cosas, la elaboración de múltiples planes para alcanzar la visión y misión previamente establecidas.

Gutierrez Tamayo y Sanchez Mazo (2008) definen a la planeación estratégica como un proceso sinérgico, cambiante, que incluye la implementación de prácticas flexibles, de tipo progresivo y que permiten concretizar realidades, permitiendo a su vez crear planes, programas y proyectos operativos entorno al funcionamiento del sistema.

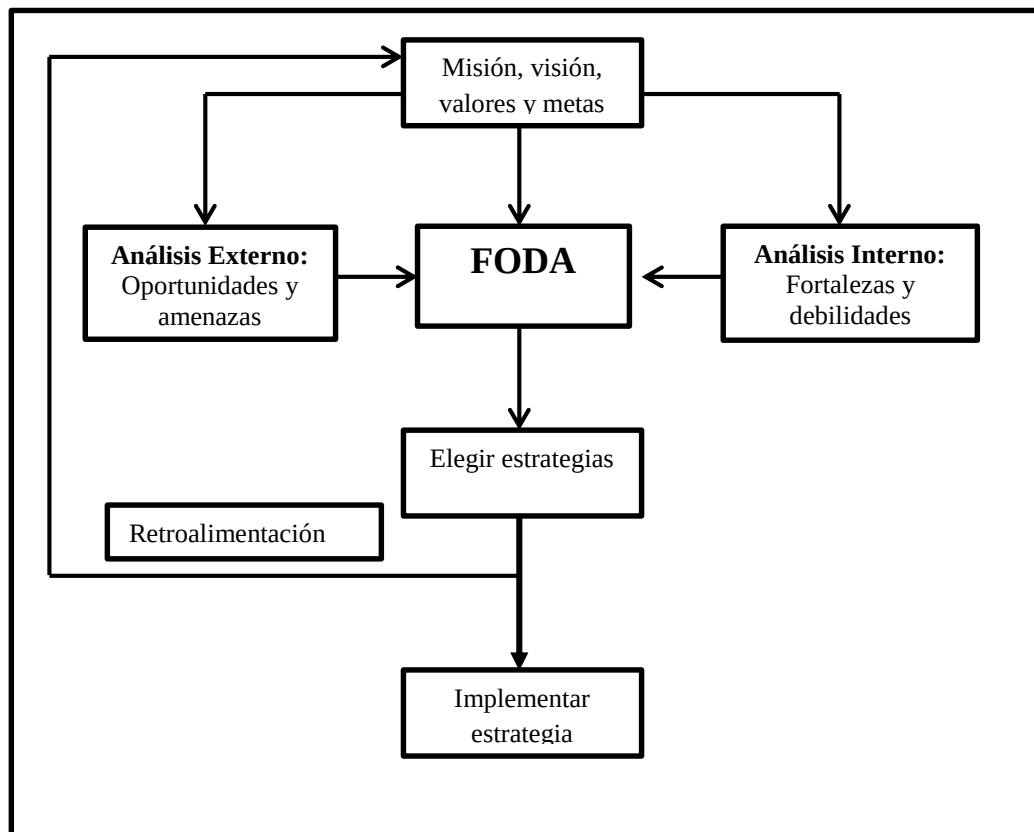
Kotler y Armstrong (2007), definen la planeación estratégica como el proceso de crear y mantener una coherencia estratégica entre las metas y las capacidades de la organización,

esto implica definir una misión clara para la compañía, establecer objetivos y coordinar estrategias funcionales.

### 2.1.1. Modelo del proceso de planeación estratégica.

El proceso formal para desarrollar la planeación estratégica puede variar en cuanto al número de etapas, pero básicamente consta de 5 pasos principales (Hill & Jones, 2011), en la figura 9 se presentan estos 5 pasos.

**Figura 9.- Componentes del proceso de planeación estratégica.**



**Fuente:** (Hill & Jones, 2011).

En la figura 9 se observa que el primer paso del proceso de planeación estratégica consiste en determinar la misión, visión, valores y metas de la empresa, el segundo paso se refiere a analizar el entorno competitivo externo de la empresa para identificar oportunidades y amenazas, el tercer paso se relaciona con un análisis del entorno operativo de la empresa para identificar sus fortalezas y debilidades, los pasos dos y tres integran lo que se llama

análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), en el cuarto paso se deben de elegir las estrategias basándose en las fortalezas y debilidades de la organización con el fin de aprovechar las oportunidades y contrarrestar las amenazas externas, es importante considerar que las estrategias deberán ser congruentes con la misión y metas principales de la organización, el quinto paso se trata de implementar las estrategias.

A continuación se describen en qué consisten; misión, visión y análisis FODA.

#### **2.1.1.1. Misión.**

El primer componente del proceso de planeación estratégica consiste en elaborar la declaración de la misión de las organización, la cual ofrece el marco o contexto en donde se formulan las estrategias (Hill & Jones, 2011).

Para Muñiz Gonzalez (2010), la misión define la razón de ser de la empresa, condiciona sus actividades presentes y futuras, proporciona unidad, sentido de dirección y guía en la toma de decisiones estratégicas.

Wheelen (2013) considera que la misión debe incluir los valores y la filosofía de la empresa sobre su manera de hacer negocios.

Según Kotler (2006) para definir la misión de una empresa se debe responder a las clásicas preguntas de Peter Drucker.

- ¿Cuál es nuestro negocio?
- ¿Quién es nuestro cliente?
- ¿Cuál es el valor esperado por el cliente?
- ¿Cuál será nuestro negocio?
- ¿Cuál debería ser nuestro negocio?

En la mayoría de las organizaciones, las decisiones estratégicas se guían mediante los enunciados de la misión, esta describe los propósitos generales que persigue la organización y brinda los criterios fundamentales para evaluar la efectividad de la organización a largo plazo (Guiltiman & Gordon, 2005).

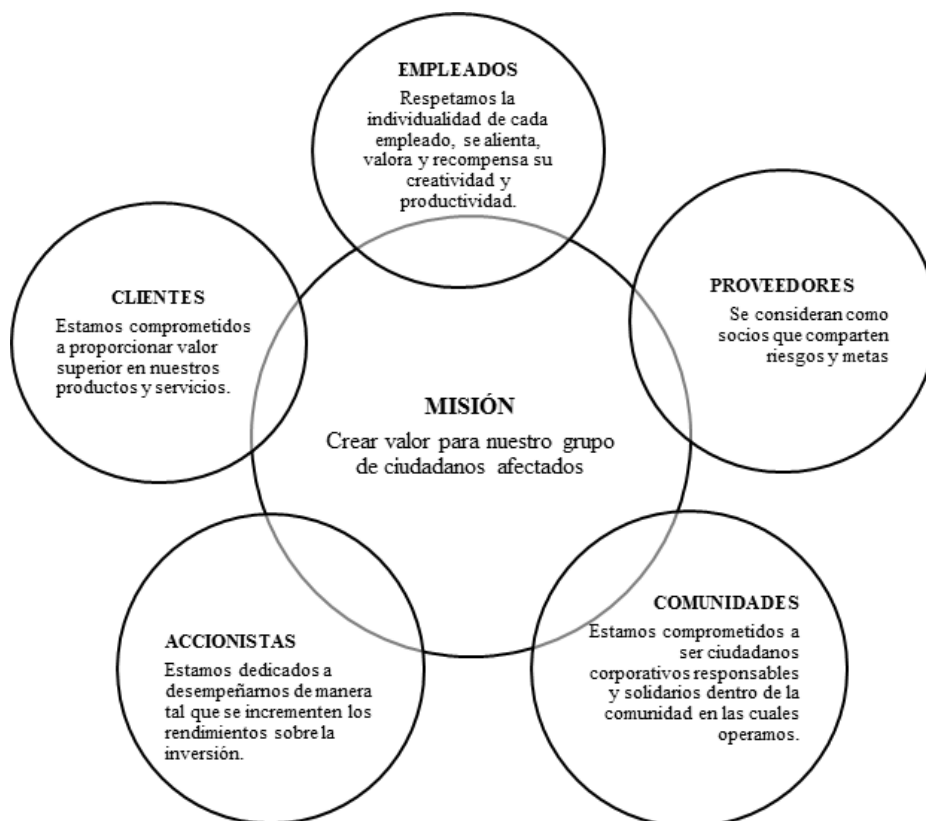
Debido a que el entorno es variable y siempre está cambiando las organizaciones se ven obligadas a modificar su misión, los cambios tecnológicos pueden crear una oportunidad para ampliar la definición del negocio (Guiltiman & Gordon, 2005).

Los pasos para desarrollar la declaración de la misión son los siguientes (Koontz & Weihrich, 2001).

- Evaluación del perfil pasado y presente de la empresa.
- Obtención de aportaciones de los participantes en la empresa acerca de la dirección futura.
- Equilibrio entre las opuestas necesidades de los grupos interesados (accionistas, empleados, comunidad, proveedores y clientes).
- Elaboración de la declaración de la misión para la descripción de la dirección general de la organización, sus valores y filosofía, su ámbito geográfico y su contribución a la sociedad.
- Discusión de la declaración de misión con grupos interesados, administradores y empleados y realización de los ajustes necesarios.
- Comunicación de la declaración de misión a todos los que deban conocerla y exposición de sus implicaciones para la dirección estratégica de la organización, sus objetivos organizacionales específicos e incluso las metas y objetivos específicos de cada unidad organizacional.

En la figura 10, se puede observar a todos aquellos grupos de ciudadanos que se deben de considerar en la declaración de la misión.

**Figura 10.- Grupos afectados en la declaración de la misión.**



**Fuente:** (Schermerson, 2006)

#### **2.1.1.2. Visión.**

Para Porter (Porter, 2004) la visión se enfoca en el futuro de la empresa y describe lo que la empresa quiere ser y lograr, además que su definición debe contemplar la misión de la organización.

Wheelen & Hunger (2013) consideran que la visión presenta lo que a la organización le gustaría llegar a ser. Por otra parte Hill & Jones (2011) establecen que la visión presenta parte del estado futuro deseado; articula, con frecuencia en términos audaces, lo que a la empresa le gustaría lograr.

Fleitman (2000) define a la visión “como el camino al cual se dirige la empresa a largo plazo y sirve de rumbo y aliciente para orientar las decisiones estratégicas de crecimiento

junto a las de competitividad y sugiere darle respuestas a las siguientes preguntas en la elaboración de la visión.:

- ¿Cuál es la imagen deseada de nuestro negocio?
- ¿Cómo seremos en el futuro?
- ¿Qué haremos en el futuro?
- ¿Qué actividades desarrollaremos en el futuro?

#### **2.1.1.3. Análisis FODA.**

La comparación de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas suele conocerse como análisis FODA (en inglés SWOT; Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) (Kenneth, 1980), este análisis es una herramienta que permite conocer y evaluar las condiciones de operación reales de una organización, a partir del análisis de las 4 variables principales (fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas), con el fin de proponer acciones y estrategias para su beneficio. El análisis FODA tiene como objetivo crear, afirmar o afinar el modelo de negocio específico de una empresa que mejor alinee, ajuste o combine sus recursos y capacidades con las demandas del entorno en el que opera (Hill & Jones, 2011).

De las cuatro variables antes mencionadas se debe de considerar que tanto las fortalezas como debilidades son variables internas y por lo tanto la organización puede tener un control sobre ellas, por otra parte las oportunidades y las amenazas son variables externas consecuentemente resulta complicado modificarlas.

Kotler y Armstrong (2008) Definen las cuatro variables de la siguiente manera:

**Fortalezas:** Son las capacidades internas que pueden ayudar a la compañía a lograr sus objetivos, estas fortalezas pueden ser: Finanzas sanas, sistemas de producción eficientes, capacidades y preparación del recurso humano, productos y servicios competitivos, etc.

**Debilidades:** Son los elementos internos que podrían interferir con la capacidad de la compañía de lograr sus objetivos, las debilidades se pueden presentar en: tecnología obsoleta, recursos humanos, organización, etc.

**Oportunidades:** Factores externos que la compañía puede explotar y aprovechar para lograr sus objetivos, las oportunidades pueden presentarse en cualquier ámbito como: político, económico, social, tecnológico, etc.

**Amenazas:** Elementos actuales o factores emergentes externos que podrían desafiar el desempeño de la compañía, las amenazas pueden presentarse como: una competencia agresiva, impuestos, inflación, restricciones gubernamentales, etc.

En la figura 11 se observa en que consiste la matriz de análisis FODA.

**Figura 11.- Matriz FODA.**

|         |         | Positivos     | Negativos   |
|---------|---------|---------------|-------------|
| Interno |         | Fortalezas    | Debilidades |
|         | Externo | Oportunidades | Amenazas    |

**Fuente:** (Kotler & Armstrong, 2008).

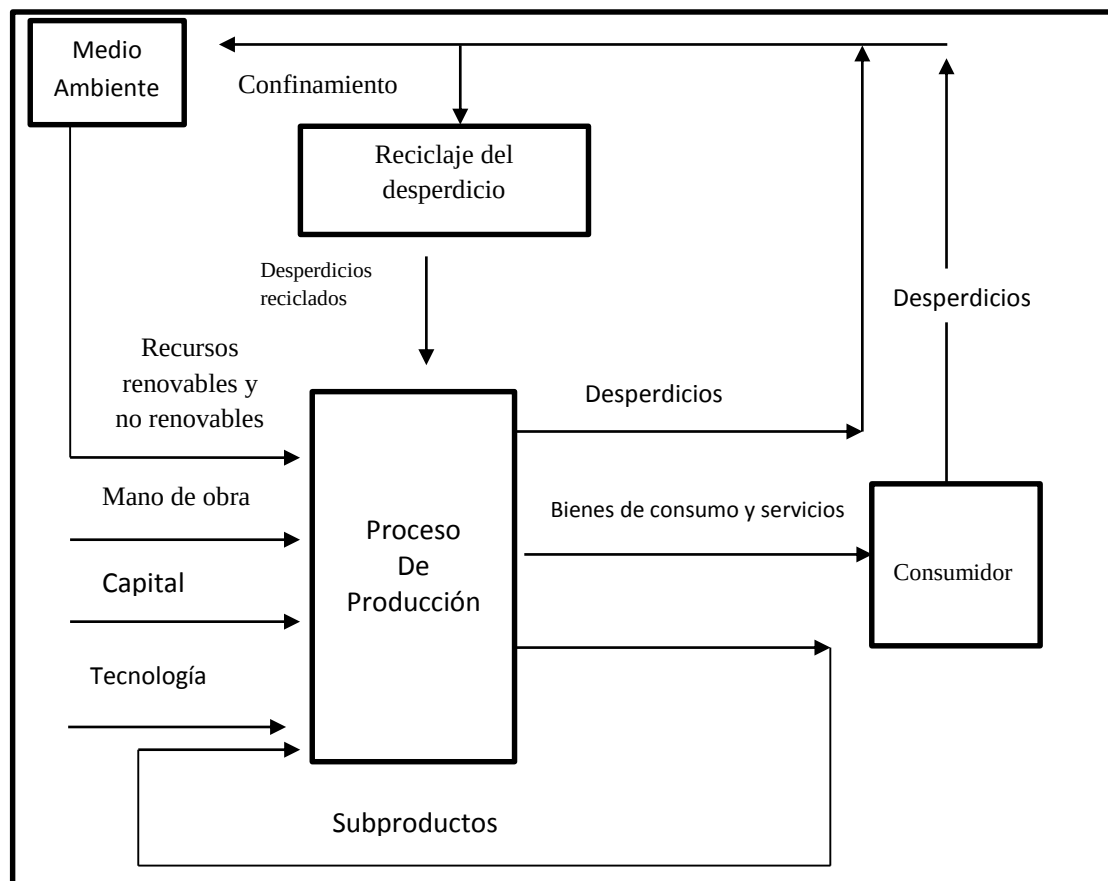
Parte fundamental del análisis FODA es que los administradores y responsables de una empresa deben de detectar con anticipación estas fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, para identificar situaciones de riesgo que pueden afectar la posición futura de la empresa (Kotler & Armstrong, 2008).

## 2.2. Sistema de producción.

Un sistema de producción, es el almacén o el esqueleto de las actividades dentro del cual puede ocurrir la creación del valor (Hopeman, 2002), este valor puede ser un bien o un servicio.

En un extremo del proceso se encuentran los insumos o entradas, en el otro están los productos o salidas conectando las entradas con las salidas existen una serie de operaciones o procesos, en la figura 12 se presenta de manera gráfica en que consiste un sistema general de producción.

**Figura 12.- Modelo de un sistema de producción.**



**Fuente:** Elaboración del autor.

Los esquemas tradicionales de un sistema de producción, consideran solo entrada de insumos y salida del producto terminado, en la figura 12, se puede observar que del medio ambiente obtenemos todos los recursos ya sean renovables o no renovables los cuales

ingresan a un proceso de producción y mediante una serie de operaciones que le agregan valor a estos recursos se obtiene un producto terminado, pero además en este proceso se generan desperdicios, estos desperdicios pueden presentarse de diversas maneras tales como: emisiones, materiales que se utilizaron en el proceso de producción, mermas, etc. los cuales si estos no entran en un sistema de reciclaje se van a depositar en su totalidad al medio ambiente.

### **2.3. Producción más limpia.**

El Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente, define a la producción más limpia como “la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, a los productos y a los servicios, para incrementar la eficiencia y reducir los riesgos relevantes de los seres humanos y el medio ambiente” (Espinoza, 2007)

En los **procesos** la producción más limpia busca la eliminación o reducción de las materias primas tóxicas, reducción de emisiones, vertimientos y desechos y el uso eficiente de los recursos.

En lo que se refiere al **producto** la producción más limpia pretende lograr una mayor eficacia en cada una de las etapas del ciclo de vida del producto, algunos ejemplos de prácticas limpias a lo largo del ciclo de vida del producto son:

- Utilizar materias primas renovables y biodegradables.
- Procesos eficientes en el consumo de materiales.
- Fabricar productos de bajo impacto ambiental.
- Reducir el consumo de recursos energéticos durante su uso.

En las empresas de **servicios** la producción más limpia busca incorporar las prácticas ambientales en su diseño y prestación para garantizar el uso adecuado de recursos, como materiales, insumos, energía y agua.

Es importante destacar que la producción más limpia no consiste en un asunto de mejoras incrementales, sino de un cambio de modelo, que implica la reconversión tecnológica con el objetivo de transformar los procesos en más eficientes en el uso de materiales, insumos y recursos naturales, además de tecnologías limpias que minimicen los desperdicios y diseños ambientales de productos que permitan su reproceso (Jackson, 1993).

El nuevo paradigma de la gestión ambiental se enfoca en la prevención de la contaminación implementando acciones como; minimizar desperdicios, reducir el uso de tóxicos así como utilizar tecnologías más limpias (Jackson, 1993).

Jackson (1993) define a la producción más limpia como “Un enfoque operativo para el desarrollo de los sistemas de producción y de consumo que incorpora la prevención en la protección del medio ambiente”.

Un principio fundamental del paradigma de la prevención se relaciona con identificar posibles daños o peligros al medio ambiente, por lo tanto este paradigma ambiental consiste precisamente en comprender totalmente el concepto de prevención, ya que parte del problema es precisamente la falta de entendimiento el concepto de prevención en un contexto ambiental, y se debe de distinguir la diferencia entre reacción y prevención.

La reacción se relaciona con el control de la contaminación, es decir son las acciones que se ejecutan una vez que los efectos de la contaminación se han presentado, en contraparte la prevención son las medidas adoptadas para influir en las posibles causas de los efectos adversos (Jackson, 1993).

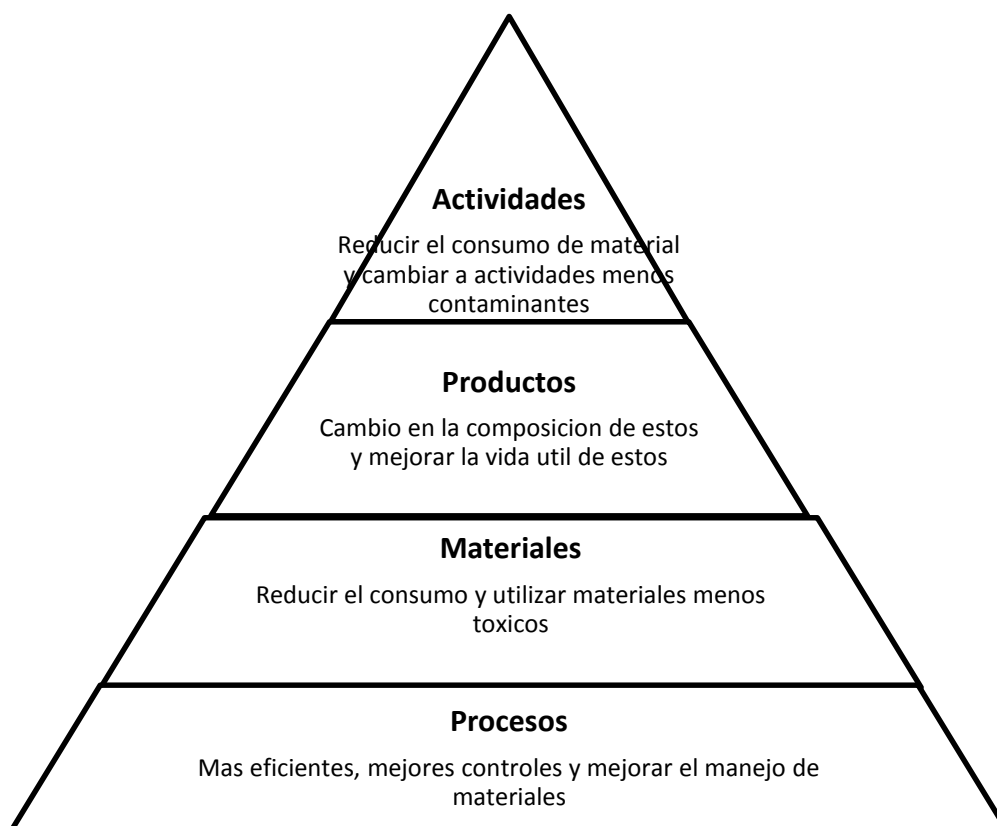
En la figura 13 se presenta la jerarquía o los niveles de la prevención.

El concepto de prevención tiene una amplia responsabilidad social, y se requiere la participación de; gobierno, industria, organismos reguladores, legisladores, ingenieros de procesos, diseñadores y consumidores.

Mientras que el gobierno y organismos reguladores crean circunstancias óptimas para promover la prevención la cual se puede implementar al nivel de los procesos, de los materiales y de las actividades, la industria debe desempeñar un papel activo. Las actitudes que deben adoptar las industrias para el cuidado del medio ambiente se basan en los siguientes tres aspectos (Vidal & Franco, 2009)

- Cumplir con las regulaciones actuales.
- Anticiparse a las regulaciones cada vez más estrictas.
- Pensar y actuar en el cuidado del medio ambiente.

**Figura 13.- Jerarquía de la prevención.**



**Fuente:** (Jackson, 1993).

La figura 13 nos muestra que un sistema de producción más limpia integra los cuatro factores de la jerarquía de la prevención los cuales son: procesos, materiales, productos y actividades sin importar la ubicación de estos factores, todos tienen la misma importancia.

### **2.3.1. La importancia de la tecnología en la producción más limpia.**

Las condiciones cambiantes del mercado han llevado a las organizaciones a romper los paradigmas relacionados con las formas de atender al cliente, de vender y fabricar productos, hemos pasado de la antigua costumbre de fabricar para luego vender, a la de vender para luego fabricar, hemos pasado de una producción en línea a una manufactura flexible que se puede ajustar a los requerimientos del mercado.

La manufactura flexible ha sido la respuesta tecnológica y de pensamiento empresarial a las nuevas exigencias del mercado, con la manufactura flexible que involucra procesos gerenciales, operativos y de soporte flexibles, se busca disminuir los ciclos productivos, el número de inventarios y la reprogramación de las maquinas (Jackson, 1993).

Los procesos operativos flexibles, como los sistemas integrados de manufactura, involucran elementos como la robótica, sistemas automáticos de almacenamiento, bandas transportadoras, máquinas de control numérico computarizado y estaciones de inspección de procesos (Jackson, 1993).

A medida que se ha logrado dejar de producir lo que no se vende, se ha protegido el medio ambiente, a medida que se han desarrollado maquinas con menor número de piezas, más eficientes en el consumo energético como motores eléctricos de Eficiencia Premium se ha beneficiado el medio ambiente, a medida que se ha optado por consumir menos cantidad de papel, reutilizarlo y reciclarlo, así como la lectura cada vez más frecuente de la información en línea por intranet o internet, los bosques se han beneficiado (Jackson, 1993).

A lo largo de toda la cadena de servicio o del ciclo productivo de una organización se pueden incorporar tecnologías limpias que apoyen a cada una de las etapas y permitan minimizar el error de las tolerancias de especificación, disminuir los ciclos productivos,

el consumo de energía y la generación de desperdicio, algunas de las tecnologías originadas en la revolución informática pueden contribuir al desarrollo de una producción más limpia, el diseño asistido por computador (CAD) es la aplicación de computadores y software grafico para ayudar o mejorar el diseño de producto desde la conceptualización hasta la documentación.

El CAD puede ser utilizado para modelado geométrico, dibujo y documentación automatizada como insumo para el análisis de ingeniería y diseño, este sistema de diseño permite observar el objeto desde diferentes vistas, rotarlo, visualizarlo de cerca o de lejos, lo cual es de gran ayuda para el diseñador en su proceso de mejoramiento de diseño.

Dentro de los beneficios ambientales del CAD se incluyen la disminución del tiempo de la elaboración, lo cual implica menor consumo de energía y de esfuerzo por parte del diseñador y la eliminación del consumo de papel y del uso de tintas para impresoras, lo que constituyen beneficios ambientales adicionales.

Ingeniería asistida por computadora (CAE), es la ingeniería de diseño mediante el uso de técnicas basadas en computador para calcular los parámetros operacionales, funcionales y de manufactura del producto que son muy complejas para los métodos manuales clásicos. La CAE recupera la descripción y geometría probarlo y analizarlo sin tener que construir el prototipo físicamente.

La ingeniería asistida por computadora forma parte del proceso de diseño de un producto, por medio del análisis de elementos finitos, la ingeniería asistida por computador permite analizar los esfuerzos, cargas y temperaturas a los que es sometido un material. Al no requerir de fabricar el producto y someterle a situaciones a las cuales va estar expuesto, la ingeniería asistida por computador permite al fabricante prever si el diseño es el adecuado y hacer los cambios correspondientes de manufacturar el producto.

La prueba piloto en computadora reemplaza el uso de probetas y de instrumentos de medición así como la disposición de un espacio físico. El uso de CAE repercute en el ahorro de materiales y la disminución del consumo de energía por parte del fabricante y del consecuente agotamiento del planeta (Hale, 1995).

### **2.3.2. Tecnologías de producción más limpia en la industria minera Mexicana.**

Según Hilson & Murck (2000), para que una empresa minera contribuya al desarrollo sustentable, debe de considerar los siguientes aspectos; una mejor planeación, implementación de solidas herramientas de gestión ambiental y utilizar tecnologías más limpias, para esto se requiere la participación activa de todos las partes interesadas.

Ejemplos de empresas mineras que han implementado sistemas de producción más limpias lo son Carbones del Guasare tal como se presentó en el capítulo I en el apartado de antecedentes, así como Industrias Peñoles, esta última utiliza sistemas de producción más limpia en sus plantas, por ejemplo en las instalaciones de Química del Rey, se instaló una casa de bolsas para limpiar la combustión de los gases, para lograr esta tarea fue necesario reducir la temperatura de salida de los gases a 200 ° C con el uso de un intercambiador de calor precalentando el agua que se alimenta a las calderas, este proyecto logro ahorros de 1 m<sup>3</sup> de combustible por tonelada de vapor, además de lo anterior el grupo Peñoles también tiene en sus instalaciones sistemas de tratamiento de aguas así como colectores de polvos.

### **2.3.3. Modelo de excelencia de producción más limpia.**

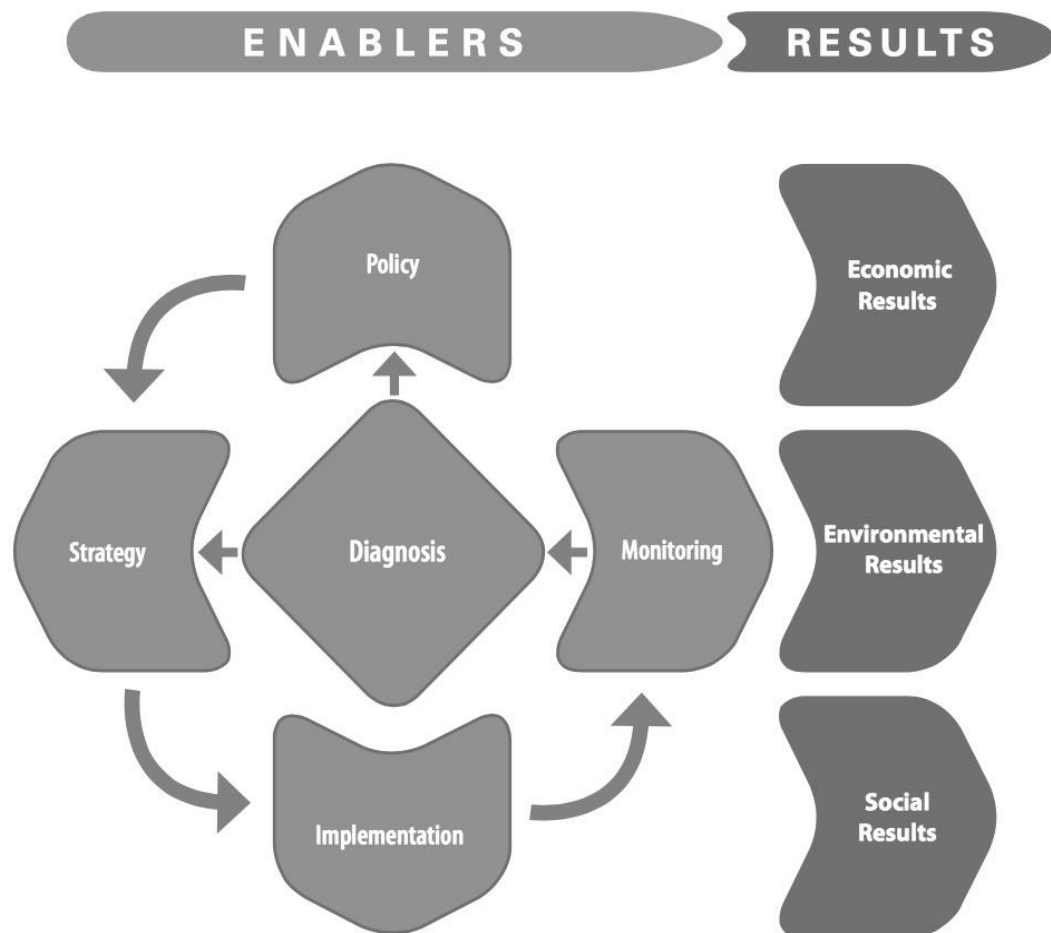
Con el propósito de tener una referencia o antecedente para diseñar un modelo sustentable de producción más limpia, se investigaron modelos ya diseñados, y se encontró el modelo de excelencia de producción más limpia.

El modelo de excelencia de producción más limpia fue diseñado por SBA (Sustainable Business Associates) en colaboración con FHNW (University of Applied Sciences North-Western Switzerland) y la RSS (Environmental Research Centre of the Jordanian Royal Scientific Society) (Espinoza, 2007).

El modelo consiste en un marco de trabajo basado en ocho criterios, de los cuales cinco son habilitadores y tres son los resultados, en la figura 14 se puede observar estos 8 criterios, el modelo se basa en la premisa de que a partir de un sistema de producción más

limpia se pueden obtener excelentes resultados en los siguientes aspectos; Ambientales, económicos y sociales.

**Figura 1 Modelo de excelencia de producción más limpia.**



**Fuente:** (Espinoza, 2007).

Según Espinoza (2007), este modelo se puede aplicar a todo tipo de industrias sin importar su tamaño, y al sector que corresponda, a continuación se describe de manera puntual cada uno de los ocho criterios que integran este modelo y los subcriterios en que están divididos.

#### **2.3.3.1. Diagnóstico.**

Para que el modelo de producción más limpia funcione adecuadamente, se requiere de un diagnóstico muy profundo de las actividades y de los aspectos de la empresa que influyen

tanto en el medio ambiente así como en cuestiones económicas y sociales. De hecho el diagnóstico es determinante para la implementación y mejora del sistema de producción más limpia, los subcriterios que se deben de considerar en el diagnostico son los siguientes.

- ¿Cómo se analizan los procesos?
- ¿Cómo son analizados los productos y materiales consumidos?
- ¿Cómo se analizan la emisiones?
- ¿Cómo la salud laboral y la seguridad industrial son analizadas?
- ¿Cómo el diagnóstico del sistema es sistemática y continuamente ejecutado?

#### **2.3.3.2. Política.**

La política del sistema de producción más limpia, además de revelar el compromiso de la administración de implementar el sistema, también debe de mostrar el compromiso de la administración por aplicar la filosofía del sistema, y cumplir con los requisitos legales, además de involucrar a todos los grupos de interés (empleados, proveedores, clientes, etc), los subcriterios que se relacionan con la política del sistema son los siguientes:

- ¿Cómo la política es desarrollada, establecida, revisada y actualizada?
- ¿Cómo nos aseguramos que la política del modelo es comprendida?
- ¿Cómo se debe de dar a conocer las políticas del modelo?

#### **2.3.3.3. Estrategia.**

Un modelo de producción más limpia, requiere el desarrollo y despliegue de una estrategia, que implique el establecimiento de objetivos y metas claras basadas en las

políticas del modelo, el diagnóstico, así como la revisión sistemática de los requerimientos legales, los subcriterios para el establecimiento de la estrategia son los siguientes:

- ¿Cómo se deben de revisar los requerimientos legales?
- ¿Cómo se deben de desarrollar, establecer y revisar los objetivos?
- ¿Cómo se deben de identificar y evaluar opciones?
- ¿Cómo se deben de implementar y planear las opciones?

#### **2.3.3.4. Implementación.**

La implementación es la materialización de la estrategia, y se refiere a todas las actividades que se relacionan con la aplicación del modelo de producción más limpia.

Para cumplir con los objetivos establecidos se deben de respetar las instrucciones incluidas en el reporte técnico, los subcriterios en la implementación son los siguientes.

- ¿Cómo el sistema puede ser ejecutado efectivamente?
- ¿Cómo comunicar la implementación?
- ¿Cómo en la implementación las responsabilidades son claramente definidas?

#### **2.3.3.5. Monitoreo.**

El monitoreo o control es parte esencial del sistema, ya que lo que no se puede monitorear o controlar no se puede administrar, la medición de los resultados permiten llevar un control en el cumplimiento de los objetivos y una implementación efectiva. Por otra parte el monitoreo permite la actualización del diagnóstico, políticas, estrategias y la implementación. Los subcriterios del monitoreo son los siguientes.

- ¿Cómo el monitoreo se puede aplicar adecuadamente?
- ¿Cómo los resultados del monitoreo son evaluados adecuadamente?
- ¿Cómo el reporte del monitoreo se debe de utilizar para implementar mejoras?

#### **2.3.3.6. Resultados económicos.**

La implementación de un modelo de producción más limpia implica beneficios económicos, ya que los procesos se optimizan y por lo tanto se incrementan la eficiencia y la productividad, además que se reduce o se evita la contaminación. Los resultados esperados deben ser definidos por la empresa y deben de estar acordes a las políticas y estrategias, el desempeño de los siguientes indicadores pueden ser utilizados para evaluar los resultados económicos vinculados a los criterios de los facilitadores del modelo.

- Indicadores del desempeño económico.
- Indicadores del desempeño de producción.

#### **2.3.3.7. Resultados ambientales.**

Las organizaciones excelentes logran resultados sobresalientes con respecto al medio ambiente, ya que minimizan su impacto ambiental. Lo anterior tiene como consecuencia una mejora en la competitividad, productividad, y la imagen de la empresa entre otras.

Los resultados ambientales se relacionan con el consumo de recursos y con las emisiones, de esta manera los indicadores en el consumo de recursos así como de las emisiones pueden utilizarse para expresar y evaluar los resultados ambientales vinculados a los criterios de los facilitadores, estos indicadores son los siguientes.

- Indicadores del consumo.
- Indicadores de las emisiones.

### **2.3.3.8. Resultados sociales.**

Las organizaciones excelentes también logran resultados sobresalientes con respecto a los empleados y la sociedad que la rodea, en aspectos tales como salud y calidad de vida. Los resultados sociales esperados deben ser definidos por la organización y acordados en sus políticas y estrategias de producción más limpia, para evaluar los resultados sociales vinculados a los criterios de los facilitadores se requieren los indicadores sociales.

### **2.4. Desarrollo sustentable.**

La sustentabilidad, entendida como viabilidad ecológica es un principio genérico que puede luego especificarse en diferentes modelos económicos y ordenes sociales, incluye la protección de los sistemas y procesos naturales de los que depende la vida misma, pero más allá de esto queda mucho por plasmar en modelos concretos y uno de estos modelos es el de desarrollo sustentable o sostenido.

El desarrollo sustentable fue definido durante el desarrollo de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo o Comisión Bruntland de la siguiente manera “*El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades*” (WCED, 1987).

Para que el desarrollo sustentable tenga lugar, se requiere de una serie de condiciones, una de estas, se refiere a que el inventario de capital natural no debe disminuir en el tiempo, este capital natural incluye todos los activos de recursos naturales y ambientales, desde el petróleo en el subsuelo, la calidad del suelo y agua subterránea, la pesca en los océanos hasta la capacidad del planeta para reciclar y absorber el carbono (Miller, 2009).

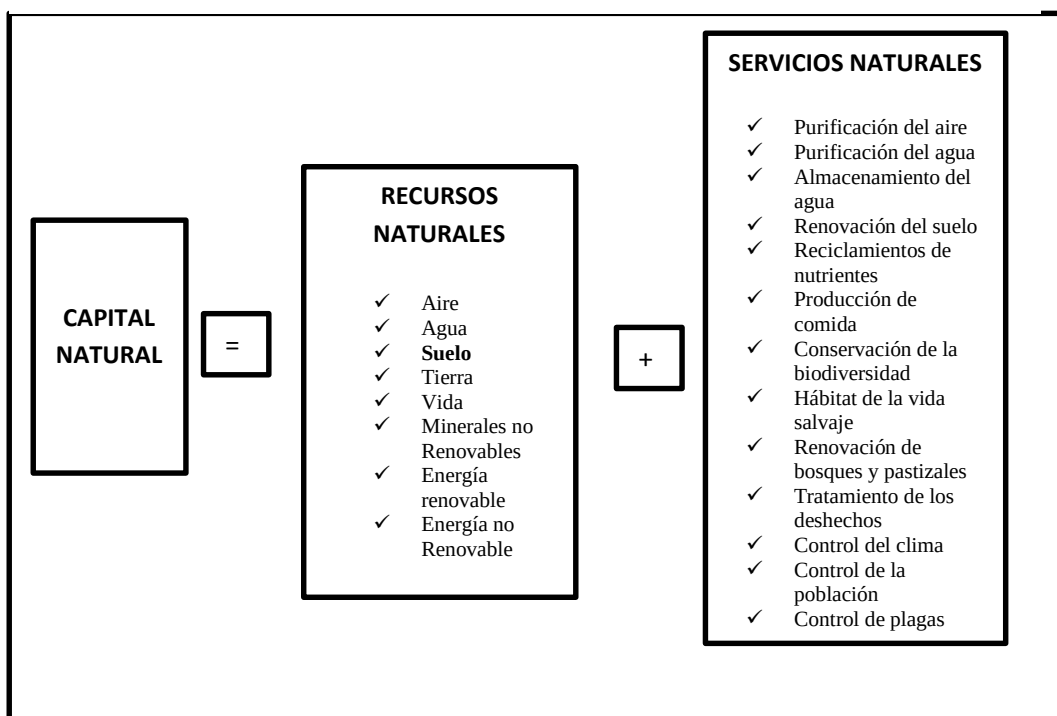
Tyler (2009) define la sustentabilidad como la habilidad de diversos sistemas de la tierra, incluyendo las economías y los sistemas culturales, de sobrevivir y adaptarse indefinidamente a las condiciones ambientales cambiantes. y sugiere los siguientes cinco pasos para lograr la sustentabilidad.

1. Entender los componentes y la importancia del capital natural el cual se define como; “los recursos y servicios naturales que nos mantienen vivos a nosotros y

otras especies y que sustentan nuestras economías”, en la figura 15 se presenta en qué consiste el capital natural.

2. Reconocer que muchas actividades humanas degradan el capital natural al utilizar los recursos normalmente renovables más rápido de lo que la naturaleza puede renovarlos. La variable clave en este punto es la tasa a la cual estamos transformando las partes de la tierra para satisfacer nuestras necesidades y exigencias.
3. Buscar soluciones para enfrentar los problemas ambientales.
4. Generalmente la búsqueda de soluciones genera conflictos por lo tanto el cuarto paso consiste en hacer compromisos o intercambios entre las partes involucradas.
5. Este paso se refiere a la importancia de los individuos en la búsqueda de soluciones ya sea trabajando individualmente o en equipos.

**Figura 15.- Capital natural.**



**Fuente:** (Miller, 2009).

Los cinco pasos antes expuestos deben apoyarse en ciencias sólidas que son los conceptos y las ideas que están ampliamente aceptados por los expertos de un campo en particular de las ciencias sociales o naturales. (Miller, 2009).

#### **2.4.1. Desarrollo sustentable en la industria minera.**

Industrias Peñoles es una empresa minera mexicana que ha demostrado interés por el medio ambiente, se fundó en 1887, para Industrias Peñoles el Desarrollo Sustentable significa "Un compromiso con el espacio, la cultura y las tradiciones de las comunidades vecinas, actuando en estricto cumplimiento con la ley, sin poner en peligro que las futuras generaciones tengan el acceso a la riqueza natural de la zona" (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004).

Minimizar el impacto ambiental es un objetivo de primer orden para todo tipo de industrias, para contribuir al desarrollo sustentable una empresa minera debe de minimizar el impacto ambiental en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto; desde la exploración, operación hasta la clausura de esta (Labonne, 1999).

- En la etapa de **exploración**, las empresas mineras deben poner mucho cuidado en el impacto ambiental adverso a la flora y fauna, así como la contaminación de arroyos y cañadas (Labonne, 1999).
- En la etapa de **operación**, de una instalación minera se debe de implementar sistemas de producción más limpios utilizando tecnologías limpias, con el objetivo de minimizar los desperdicios así como las emisiones (Labonne, 1999) .
- Por último al finalizar la vida útil del proyecto minero es decir al **cierre** de la mina la administración de esta, debe implementar medidas tecnológicas que garanticen la calidad del aire, que las fuentes de aguas superficiales y subterráneas estén protegidas y la producción ecológica tome un cauce normal tras el abandono del proyecto minero (Labonne, 1999).

Hilson y Murck (2000) consideran que para que una empresa minera contribuya al desarrollo sustentable, debe de considerar los siguientes aspectos; una mejor planeación,

implementación de sólidas herramientas de gestión ambiental y utilizar tecnologías más limpias.

Para Eggert (2000) una empresa minera puede contribuir al desarrollo sustentable manteniendo y mejorando las condiciones de vida de la comunidad, mediante la creación de empleos para sus residentes, proporcionando servicios a la comunidad y creando fundaciones con el fin de ejecutar proyectos de desarrollo regional.

Eggert (2000) propone las siguientes estrategias para minimizar los problemas que una empresa minera provoca en la comunidad.

- Implementar programas de reconversión profesional, con el fin de mejorar el nivel de alfabetización de los trabajadores de la mina, además los trabajadores están entrenados y capacitados para desempeñarse en distintas áreas de la industria, de esta manera una vez que la mina haya cerrado sus operaciones están preparados para tener éxito en el mercado laboral.
- Establecer pequeñas y medianas empresas.
- Desarrollar instalaciones educativas y de entrenamiento.

#### **2.4.2. Directrices del desarrollo sustentable en la Industria Minera**

Cooney (2000) propone las siguientes seis directrices para mejorar la sostenibilidad en las operaciones mineras.

La primer directriz consiste en **Mejorar la planeación.**- Las necesidades del medio ambiente, comunidad y los interesados deben de abordarse desde el principio del proyecto, contribuir al desarrollo sustentable implica establecer objetivos para el mejoramiento continuo, debe ser reescrito para identificar con precisión los objetivos ambientales y socioeconómicos a corto y largo plazo de las compañías mineras.

Una política minera sustentable, es el primer paso para reconciliar la actividad minera con el programa de desarrollo sustentable, ya que ayuda a alinear las operaciones con los objetivos gubernamentales, crea las bases para el dialogo y aclara los objetivos de sostenibilidad corporativa. (Cooney, 2000).

La planeación para el desarrollo sustentable debe abarcar un plazo mayor a la operación de la mina, debe incluir más allá del cierre de las operaciones, una mina debe de planear para asegurar que al concluir sus actividades de operación dejar las siguientes condiciones. (Cooney, 2000).

- Suministro adecuado de aguas, aire limpio y dejar un suelo productivo disponible para futuras operaciones.
- Un medio ambiente sano disponible para futuros mineros.
- Que existan oportunidades en el futuro para los propietarios de la tierra.
- Minimizar los riesgos una vez que se hayan abandonado las actividades.

La segunda directriz consiste en ***Mejorar la gestión ambiental***.- Una vez que los fundamentos importantes de la organización han sido establecidos, la administración de la mina puede entonces enfocarse en la implementación de herramientas y tecnologías que conduzcan a una mejora en la eficiencia de las operaciones, el primer paso consiste en mejorar las prácticas de gestión ambiental.

Garrod y Chadwick (1996) proponen las siguientes herramientas de gestión ambiental:

- Revisión general ambiental.
- Contabilidad ambiental.
- Elaborar informes ambientales.
- Auditorías ambientales.

- Políticas ambientales.
- Un sistema de administración ambiental (EMS).
- Evaluación del ciclo de vida.

Las herramientas anteriores son de aplicaciones industriales genéricas, pero cada una debe rediseñarse para enfocarse a resolver problemas de un sector en específico, en nuestro caso en proyectos mineros.

La tercera directriz propuesta consiste en ***Mejorar la administración de residuos y utilizar tecnologías más limpias***. Las compañías mineras deben de implementar planes de administración de residuos, definiendo como objetivo principal la producción más limpia, estos planes deben integrar el ciclo de vida de la mina, desde la exploración, operación hasta el cierre del proyecto, y se deben de considerar todos los impactos; sociales, técnicos económicos y ambientales. (McAllister, Scoble, & Veiga, 1999).

Una vez que ya se han tomado las decisiones más críticas y las estrategias necesarias se hayan desarrollado, entonces podemos integrar a las operaciones tecnologías más limpias, estas tecnologías incluyen todos los equipos que están diseñados para minimizar los residuos.

Debido a la gran cantidad de problemas ambientales que persisten en la industria minera, existe una necesidad de implementar tecnologías más limpias en una serie de frentes, y una mina puede seguir una de dos estrategias para lograr un desarrollo sustentable. (McAllister, Scoble, & Veiga, 1999).

1. Estrategia de sustitución, que simplemente implica la sustitución de configuraciones complejas.
2. Reemplazo de estrategia, que es simplemente mejorar los sistemas existentes utilizando métodos modernos más eficaces, por un conjunto de tecnologías con otro conjunto.

Un ejemplo, en el caso de desulfurización (lavado) en complejos de fundición, la mayoría de los sistemas deben de eliminar entre el 90 y 95% de dióxido de azufre, sin embargo, a través de la innovación, algunos sistemas de depuración han sido actualizados, ya que ahora se puede eliminar entre el 98 y el 99% de los dióxidos de azufre de gas antes de su liberación en el medio (McAllister, Scoble, & Veiga, 1999).

La cuarta directriz se refiere a ***Atender las necesidades de la comunidad y grupos de interés.***- Debido a que una comunidad y grupos de interés se ven afectados a lo largo de la vida de un proyecto minero, el aspecto socioeconómico en el desarrollo sustentable se está convirtiendo cada vez más importante para las empresas mineras, ya que estas tienen un compromiso con la comunidad, accionistas, y grupos externos y el mejorar la comunicación con estos grupos resulta de vital importancia para que la mina opere con menos problemas.

Podrían lograrse importantes avances en lo que se refiere a la responsabilidad social de las empresas mineras si se mejora la comunicación con la comunidad y las relaciones comunitarias (Labonne, 1999).

Una manera de lograr una mejor comunicación con las partes interesadas es celebrar reuniones para que los ciudadanos expresen sus inquietudes o aporten ideas para el mejor funcionamiento de la mina.

La responsabilidad social de las minas también implica motivar a sus trabajadores y administradores a involucrarse en proyectos de mejoras continuas. Además de proporcionarles un entrenamiento adecuado.

La quinta directriz consiste en la ***Formación de alianzas de sostenibilidad.***- Un punto clave para lograr el desarrollo sustentable lo representa establecer alianzas con grupos y organizaciones influyentes (por ejemplo con grupo de académicos, organizaciones no gubernamentales, organismos gubernamentales, instituciones de investigación, iglesias, etc.) a partir de tres estrategias para lograr estas alianzas (Labonne, 1999):

1. Que el gobierno de los países en desarrollo y ricos en recursos minerales apoye con asistencia técnica el sector minero.
2. Formar alianzas con los gobiernos y grupos de interés externos para implementar medidas que reduzcan la desigualdad social.
3. Creación de una cultura socialmente proactiva dentro de la industria a través del acercamiento a los interesados.

La sexta directriz hace ***Énfasis en el entrenamiento***.- Sin duda alguna el entrenamiento es una de las más importantes herramientas para el desarrollo del recurso humano, y facilita la transición hacia un mundo sustentable, para que una mina opere de manera sustentable se debe de tener conciencia que la educación es necesaria en todos los niveles de la empresa, los empleados de la mina deben de contar con información clave en lo que se refiere a temas ambientales y socioeconómicos, objetivos de la compañía, y el proceso de desarrollo de la mina, en conclusión las empresas mineras deben tomar la iniciativa de entrenar a sus empleados. (Hale, 1995)

Hay cuatro tipos de cursos que las minas pueden ofrecer a sus empleados (Van Berkel, 2000):

1. Cursos de orientación, para que los empleados se familiaricen con el desarrollo sustentable, los retos y oportunidades que tiene la empresa.
2. Integración del medio ambiente en los cursos disciplinarios, de esta manera los empleados obtienen las herramientas y habilidades para proyectos ambientales.
3. Cursos de especialización, que proporcionarían los empleados una sólida base en ciencias del medio ambiente, y los conocimientos de ingeniería necesarios para aplicarlos a los procesos de la mina.

4. Proyecto interdisciplinario de relevancia ambiental lo que sería basado en el grupo de trabajo sobre el medio ambiente y proyectos mineros relevantes.

La integración de estos cursos de capacitación en las empresas mineras seguramente traerá como resultado una mejora de las condiciones tanto ambientales como socioeconómicas.

#### **2.4.3. Dimensiones del desarrollo sustentable.**

La teoría de la sostenibilidad, hace referencia a la capacidad que deben tener las empresas para lograr la satisfacción de las necesidades actuales del mercado sin poner en peligro o afectar la capacidad de satisfacer las propias necesidades de las futuras generaciones, es por eso que para lograr un desarrollo sustentable, las empresas deben tomar medidas que sean económicamente viables, que respeten el medio ambiente, que sean socialmente equitativas, que motiven la participación de la población y que se utilicen tecnologías más limpias, es decir, integrar estas cinco dimensiones para lograr un efectivo desarrollo. (Robles I., Borbón S., Medellín P., & Calles M., 2011).

- **Dimensión económica.** La actividad económica bajo la perspectiva de la sustentabilidad no puede seguir funcionando bajo el lema de "pase lo que pase, el negocio continúa". Se debe avanzar para cambiar el paradigma de "el que contamina paga" al de "lo que paga es prevenir la contaminación". El mercado puede aprovechar a su favor y en favor del desarrollo sustentable las oportunidades que supone la aplicación de regulaciones ambientales nacionales e internacionales, la puesta en marcha de procesos de producción más limpia y eficiente y la agregación de valor a las materias primas. En un esquema de sustentabilidad lo que cuenta no es el crecimiento de la producción sino la calidad de los servicios que se prestan.
- **Dimensión social.** El desarrollo sustentable se orienta a una mejor calidad de vida (superar la pobreza, satisfacer las necesidades básicas humanas e igualar los ingresos), reasignando los recursos económicos para atender estas necesidades. La reducción de la pobreza necesitará un crecimiento económico considerable, a la vez que desarrollo, pero las limitaciones ecológicas son

reales y este mayor crecimiento de los pobres tiene que compensarse con una estabilización de la producción para los ricos. Asimismo es de máxima importancia lograr la estabilidad demográfica, detener el sobre consumo, y avanzar hacia la formación del capital humano y social.

- **Dimensión ambiental.** No es posible concebir el desarrollo ni la vida humana sin el sustento de la naturaleza, los modelos de desarrollo están inevitablemente vinculados a lo ecológico y ambiental. En un modelo sustentable la utilización de los recursos naturales y energéticos se limita a la capacidad de regeneración de éstos y la generación de los residuos a la capacidad de asimilación del ecosistema.
- **Dimensión institucional.** Un escaso nivel de representatividad de la población en las iniciativas y la acción del Estado así como un excesivo centralismo son claramente insustentables. La sustentabilidad implica realizar progresos significativos en la descentralización de la política administrativa para estimular nuevas formas de organización y participación ciudadana.
- **Dimensión tecnológica** Se requiere una aceleración de la innovación y el desarrollo tecnológicos para reducir el contenido en recursos naturales de determinadas actividades económicas, así como para mejorar la calidad de la producción. La dimensión tecnológica implica la búsqueda y cambio hacia tecnologías más eficientes.

## **2.5. Evaluación de Impacto Ambiental.**

Conesa Fernández (2010) define el impacto ambiental como “La modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza”, existen diversos tipos de impactos ambientales, pero fundamentalmente se pueden clasificar, de acuerdo a su origen, en los provocados por:

- El aprovechamiento de recursos naturales ya sean renovables, tales como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables, como la extracción del petróleo o minerales ya sean ferrosos o no ferrosos.

- La contaminación. Todos los proyectos que producen algún residuo (peligroso o no), emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente.
- Ocupación del territorio. Los proyectos que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones tales como desmonte, compactación del suelo y otras.

Sin importar el tamaño o la naturaleza de un proyecto productivo o de una planta ya puesta en marcha, todos tienen el común denominador de que van a ocasionar cambios en el medio ambiente cercano, así como en las condiciones de vida de una sociedad (Conesa Fernández, 2010), de ahí la importancia de la evaluación del impacto ambiental, previo a la ejecución del proyecto, o bien en plantas que ya están en operación, la diferencia entre estas dos situaciones es que en una podemos prevenir para minimizar el impacto ambiental mientras que en la otra situación estaríamos reaccionando para minimizar este impacto.

Según Conesa Fernández (2010) los objetivos de la evaluación del impacto ambiental son los siguientes:

- Detectar, identificar y evaluar los impactos en el ambiente de un proyecto.
- Proponer las medidas necesarias para remediar o mitigar los posibles efectos negativos.
- Recomendar la implementación de acciones que permitan optimizar los impactos positivos.

La evaluación del impacto ambiental es una actividad diseñada para identificar y predecir los efectos de una acción en el medio, la salud humana y el capital de los recursos naturales, permite la interpretación y valoración de los impactos detectados y facilita la comunicación en términos comprensibles hacia la población y los tomadores de decisiones.

Tomando como referencia lo anterior entonces, la evaluación del impacto ambiental es una herramienta útil para tomar decisiones adecuadas en la etapa de planeación, y no debe considerarse como un obstáculo para el desarrollo, ni como un tratado de ecología, sino como una ayuda a un cuerpo ejecutivo para seleccionar de entre las alternativas de un proyecto, la que se considere más viable, en términos ecológicamente sustentable (Cota, 2008).

Un estudio de impacto ambiental debe de comprender las siguientes etapas (Conesa Fernandez, 2010):

- Preparación y descripción del proyecto.
- Información institucional.
- Identificación de posibles impactos en las diversas etapas del proyecto (en un proyecto minero estas etapas son; Exploración, explotación y cierre de la mina).
- Descripción del ambiente que se afectará.
- Predicción de impactos.
- Interpretación y evaluación de los impactos.
- Proposición y diseño de medidas de mitigación.
- Selección de alternativas.
- Redacción del documento.
- Seguimiento de recomendaciones o condiciones.

Basándonos en las etapas del estudio del impacto ambiental, podemos detectar tres funciones analíticas y estas son: Identificación, predicción y evaluación.

### **2.5.1. Herramientas utilizadas en la evaluación del impacto ambiental.**

Existen diversos procedimientos que sirven como guía para la evaluación del impacto ambiental, dos de estos procedimientos son; listas de verificación, matrices y redes de causa –efecto, estos procedimientos metodológicos tienen el propósito de asegurar que todos los factores ambientales que se precisan sean incluidos en el análisis, dado que el ambiente es un sistema complejo de elementos bióticos, culturales y socioeconómicos (Conesa Fernandez, 2010), además nos permiten determinar las deficiencias de datos en términos de descripción de ambiente, factores asociados con las acciones propuestas y tecnologías disponibles para la predicción y valoración de impactos.

Según Conesa Fernández (2010) los factores ambientales que están susceptibles de sufrir impactos se clasifican de manera general en tres grandes áreas, estas son:

- Área Fisicoquímica. Compuesta por agua, agua superficial, ruido, tierra y atmósfera.
- Área Ecológica. Compuesta por especies , poblaciones y ecosistemas terrestres.
- Área social. Compuesta por demografía y calidad de vida.

Además estos procedimientos juegan un papel fundamental en cuatro aspectos básicos del análisis del impacto ambiental, estos son (Conesa Fernandez, 2010):

- Identificación de impactos.
- Medición de impactos.
- Interpretación de impactos.
- Comunicación de resultados.

Para decidir que procedimiento utilizar en la evaluación del impacto ambiental depende de los cuatro aspectos mencionados anteriormente (Conesa Fernandez, 2010), por ejemplo una lista de verificación está diseñada para ayudar en la identificación de impactos y además nos proporciona información sobre los resultados (ver anexos 8, 9 y 10), una matriz nos permite identificar impactos, comunicarlos, medirlos e interpretarlos.

Según Conesa (2007), las características deseables que debe de tener cualquier metodología utilizada en la evaluación del impacto ambiental son las siguientes:

- Capacidad para detectar impactos generados por el proyecto.
- Ser lo suficientemente independiente de los puntos de vistas personales del equipo evaluador para evitar sesgos.
- Ser económico en términos de costos y requerimientos de datos, tiempo de aplicación, cantidad y tiempo de personal, equipo e instalaciones.

#### **2.5.1.1. Listas de verificación.**

La principal función de esta lista, es la de identificar los impactos ambientales en las primeras etapas de la evaluación del impacto ambiental, la fase de identificación es vital, porque una vez conocidos los efectos se pueden valorar las consecuencias con cierta precisión, para no omitir ningún aspecto importante se hace útil elaborar una lista de control lo más amplia posible, tanto de factores ambientales como de las actividades del proyecto (Cota, 2008)., hay dos tipos de componentes que debemos conocer:

- ***Componentes ambientales*** en los que se incluyen elementos de la naturaleza física, biológica y humana.
- ***Componentes del proyecto*** en el que se incluyen las actividades realizadas del proyecto en las etapas de exploración, operación y clausura de este.

Las listas de verificación varían desde listados de factores ambientales hasta aproximaciones altamente estructuradas que involucran pesos de importancia para factores y la aplicación de técnicas de escalas para los impactos de cada alternativa sobre cada factor.

Una lista de verificación simple representa solo una lista de factores, pero no proporciona información sobre necesidades específicas de datos, métodos de medición o evaluación y predicciones de impactos, en los anexos 8, 9 y 10 se presentan listas de verificación de aire, suelo e impacto ambiental que utiliza la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) en una auditoría ambiental, estas listas de verificación son de uso general, es decir no son de aplicación para un solo tipo de industria.

La desventaja de la lista de verificación está en que no proporciona un vínculo causa-efecto en las distintas actividades del proyecto, y generalmente no incluye una interpretación global del impacto.

#### **2.5.1.2. Matriz de Leopold.**

Fue diseñada inicialmente para evaluar los impactos ambientales que se relacionaban con proyectos mineros (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971), esta matriz involucra 100 acciones específicas y 88 factores ambientales, estas acciones y factores son susceptibles de verse modificados dependiendo de la naturaleza del proyecto, es decir se pueden adaptar a las condiciones y características del proyecto objeto de estudio.

La matriz de Leopold es de utilidad para identificar los diferentes impactos ambientales de un proyecto. En la estructura de la matriz, en las filas se presentan los *factores* ambientales que pueden ser afectados y en las columnas las *acciones* que se realizarán y que pueden causar impacto en los factores.

La elaboración de esta matriz consta de dos etapas:

- La primera consiste en la matriz de identificación, una vez que esta haya sido depurada se procede a la siguiente etapa.

- La segunda etapa se refiere a la matriz de importancia, cada cuadro se divide mediante una diagonal en la parte superior se coloca la magnitud (M extensión del impacto), precedida del signo “+” o “-“, la escala empleada incluye valores del 1 al 10, 1 representa el impacto mínimo y 10 el máximo, en el triángulo inferior se coloca la importancia (I intensidad), también en escala del 1 al 10.

La ponderación es subjetiva pero debe de participar todo el equipo de especialistas para lograr la mayor objetividad posible.

La suma de las filas indica las incidencias del conjunto de acciones sobre cada factor, y por lo tanto su grado de fragilidad.

La suma de las columnas provee la valoración relativa del efecto que cada acción producirá, es decir, su agresividad.

Como se mencionó anteriormente en esta metodología se utilizan dos tipos de matrices en etapas sucesivas de análisis:

- Primeramente la ***matriz de identificación***.
- Posteriormente la ***matriz de importancia***.

La manifestación del efecto de las actividades humanas sobre el ambiente debe ser caracterizada a través de la importancia del impacto. (Conesa Fernandez, 2010), la importancia del impacto se mide “en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo tales como; carácter del impacto, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad y certidumbre.

- **Carácter del impacto o Naturaleza.** Los impactos pueden ser beneficiosos o perjudiciales. Los primeros son caracterizados por el signo positivo, los segundos se los expresan como negativos.

- **Intensidad (In).** Representa la incidencia de la acción causal sobre el factor impactado en el área en la que se produce el efecto, para ponderar la intensidad, se considera:
  - Afección mínima =1
  - Situaciones intermedias= de 2 a 11
  - Destrucción total =12
- **Extensión (Ex).** Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área, respecto del entorno en que se manifiesta el efecto), la extensión se valora de la siguiente manera:
  - Impacto Puntual = 1
  - Impacto parcial = 2
  - Impacto extenso = 4
  - Impacto total = 8
- **Momento (Mo).** Se refiere al tiempo transcurrido entre la acción y la aparición del impacto, el momento se valora de la siguiente manera:
  - Inmediato = 4
  - Corto plazo (menos de un año) = 3
  - Mediano plazo (1 a 5 años) = 2
  - Largo plazo (más de 5 años) = 1

- **Persistencia (Pe).** Se refiere al tiempo que el efecto se manifiesta hasta que se retorne a la situación inicial en forma natural o a través de medidas correctoras, los impactos se valoran de la siguiente manera:
  - Fugaz = 1
  - Temporal (entre 1 y 10 años) = 2
  - Permanente (duración mayor a 10 años = 4
- **Recuperabilidad (Rv).** Mide la posibilidad de recuperar (total o parcialmente) las condiciones de calidad ambiental iniciales como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras. La Recuperabilidad se valora de la siguiente manera:
  - Si la recuperación puede ser total e inmediata = 1
  - Si la recuperación puede ser total a mediano plazo = 2
  - Si la recuperación puede ser parcial (mitigación) = 4
  - Si es irrecuperable = 8
- **Certidumbre (Ce).** Es el grado de seguridad con el que se espera que se produzca el efecto y se valora de la siguiente manera:
  - Improbable = 1
  - Probable = 2
  - Cierto = 3

La importancia del impacto ambiental, se calcula utilizando la siguiente fórmula (Conesa Fernandez, 2010)-

$$I = \pm (In + Ex + Mo + Pe + Rv + Ce)$$

Según el valor obtenido en esta fórmula se pueden presentar las siguientes situaciones en el impacto:

- **Irrelevantes (o compatibles)** cuando presentan valores menores a 25.
- **Moderados** cuando presentan valores entre 25 y 50.
- **Severos** cuando presentan valores entre 50 y 75.
- **Críticos** cuando su valor es mayor de 75.

Una vez calculadas todas las intersecciones correspondientes a cada matriz, puede obtenerse la importancia total de cada efecto, así como la importancia del grado de afectación de cada factor analizado. Si bien esta valoración es numérica, se parte de la asignación cualitativa de un valor en el cálculo.

Como ya se había mencionado anteriormente, las filas representan el factor ambiental (F), que es el elemento del ambiente susceptible de ser afectado por el proyecto, y las columnas representan la acción del proyecto (A), es decir, las actividades correspondientes al proyecto para su puesta en marcha, la interacción entre factores (F) y acciones (A), es lo que conforma el impacto.

En la figura 16 se presenta un ejemplo de una matriz de identificación, y en la figura 17 se presenta una matriz de importancia.

**La matriz de identificación**, presenta los impactos ambientales a partir de la relación entre las acciones del proyecto y los factores a ser evaluados. Estos factores se pueden identificar a partir de la lista de verificación, y pueden realizarse algunos ajustes dependiendo de la naturaleza del proyecto sin importar si este es un proyecto minero o no.

**Figura 2.- Matriz de identificación.**

|               |          |        |                         | ETAPA PRELIMINAR                   |    |    | ETAPA DE EJECUCION        |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|---------------|----------|--------|-------------------------|------------------------------------|----|----|---------------------------|----|----|----------------------------|----|-----|----------------------|-----|-----|----------------------------------|-----|-----|-----------------------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------|-----|---|-------------------------------|--|--|---------------------------------|--|--|----------------------|--|--|----------------------------|--|--|-----------------------|--|--|----------------------------------------------------|--|--|--------------------------------------|--|--|---------------------------|--|--|-----------------------------|--|--|-------------------------------------|--|--|----------------------------|--|--|-------------|--|--|---------------------------------------|--|--|
|               |          |        |                         | Tramites, gestiones e inspecciones |    |    | Disponibilidad de terreno |    |    | Reconocimiento del terreno |    |     | Limpieza del terreno |     |     | Transporte de residuos generados |     |     | Construcción y mantenimiento de desvios temporarios |     |     | Construcción y mantenimiento de obra |     |   | Generador de residuos solidos |  |  | Movimiento de maquinaria pesada |  |  | Movimiento de suelos |  |  | Creacion de escurrimientos |  |  | derrames accidentales |  |  | Instalaciones hidraulicas, eléctricas y sanitarias |  |  | Ejecucion de cunetas y alcantarillas |  |  | Construccion de pavimento |  |  | Instalacion de señalizacion |  |  | Ejecucion de demarcacion horizontal |  |  | Instalacion de iluminación |  |  | Forestacion |  |  | Desmantelamiento de obrador y desvios |  |  |
|               |          |        |                         | A1                                 | A2 | A3 | A4                        | A6 | A7 | A8                         | A9 | A10 | A11                  | A12 | A13 | A14                              | A15 | A16 | A17                                                 | A18 | A19 | A20                                  | A21 |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
| MEDIO NATURAL | ABIOTICO | Clima  | Temperatura             | F01                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Velocidad de viento     | F02                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Direccion de vientos    | F03                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Precipitaciones         | F04                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Humedad                 | F05                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          | Aire   | Particulas              | F06                                |    |    |                           | 1  | 1  | 1                          | 1  | 1   | 1                    | 1   | 1   | 1                                | 1   | 1   | 1                                                   |     |     |                                      |     |   | 1                             |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Gases                   | F07                                |    |    |                           |    | 1  |                            | 1  |     | 1                    |     | 1   |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Nivel Sonoro            | F08                                |    |    |                           |    | 1  |                            | 1  |     | 1                    |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   | 1                             |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Olores                  | F09                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  | 1   |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Radiación               | F10                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          | Tierra | Perfiles                | F11                                |    |    |                           |    |    | 1                          |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Pendiente               | F12                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Erosión                 | F13                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Estab. De taludes       | F14                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Estab. De cauces        | F15                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Mecaniva de suelos      | F16                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Calidad de suelos       | F17                                |    |    |                           |    |    |                            | 1  |     | 1                    |     | 1   |                                  | 1   |     |                                                     | 1   |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Permeabilidad           | F20                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     | 1   |                                  |     |     |                                                     | 1   |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Superf. Calidad         | F21                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Cantidad                | F22                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          | Agua   | Escorrentia superficial | F23                                |    |    |                           |    |    |                            | 1  | 1   |                      | 1   |     |                                  |     | 1   | 1                                                   | 1   |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Aluvionalidad           | F24                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     | 1   | 1                                                   |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Red de drenaje          | F25                                |    |    |                           |    |    |                            | 1  | 1   |                      |     |     | 1                                |     |     | 1                                                   | 1   |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Red de riego            | F26                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Subterr. Calidad        | F27                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  | 1   |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Cantidad                | F28                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Nivel freatico          | F29                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     |   |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               | BIOTICO  | Flora  | Cobertura vegetal       | F30                                |    |    |                           | 1  |    | 1                          | 1  |     |                      | 1   | 1   | 1                                | 1   | 1   |                                                     |     |     |                                      | 1   | 1 |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Formaciones vegetales   | F31                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     | 1 |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Especies incorporadas   | F33                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     | 1 |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |
|               |          |        | Arbolado público        | F36                                |    |    |                           |    |    |                            |    |     |                      |     |     |                                  |     |     |                                                     |     |     |                                      |     | 1 |                               |  |  |                                 |  |  |                      |  |  |                            |  |  |                       |  |  |                                                    |  |  |                                      |  |  |                           |  |  |                             |  |  |                                     |  |  |                            |  |  |             |  |  |                                       |  |  |

**Fuente:** (Cota, 2008).

**La Matriz de importancia**, se presenta como la primera valoración cualitativa de los impactos ambientales identificados sobre diversos factores ambientales, esta matriz permite valorar tanto la agresividad de las acciones a realizarse así como los factores ambientales que sufrirán en mayor o menor grado las consecuencias de las actividades que se requieren realizar en el desarrollo del proyecto.

**Figura 3. Matriz de importancia.**

|           |        |                |     | ETAPA PRELIMINAR |    |    |     | ETAPA DE EJECUCION                 |                           |                            |                     |                            |                                  |                                                     |                                      |                               |                                 |                      |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
|-----------|--------|----------------|-----|------------------|----|----|-----|------------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------|--------------------------------------------------|
|           |        |                |     |                  |    |    |     | Tramites, gestiones e inspecciones | Disponibilidad de terreno | Reconocimiento del terreno | Limpeza del terreno | Erradicacion de forestales | Transporte de residuos generados | Construcción y mantenimiento de desvíos temporarios | Construccion y mantenimiento de obra | Generador de residuos solidos | Movimiento de maquinaria pesada | Movimiento de suelos | Creacion de escurrimientos temporales | derrames accidentales | Instalaciones hidraulicas, eléctricas y sanitarias | Ejecucion de cunetas y alcantarillas | Construccion de pavimento | Instalacion de señalizacion vertical | Ejecucion de demarcacion horizontal | Instalacion de iluminación | Forestacion | Desmantelamiento de obrador y desvíos temporales |
|           |        |                |     | A1               | A2 | A3 | A4  | A5                                 | A6                        | A7                         | A8                  | A9                         | A10                              | A11                                                 | A12                                  | A13                           | A14                             | A15                  | A16                                   | A17                   | A18                                                | A19                                  | A20                       | A21                                  |                                     |                            |             |                                                  |
| ABIOTICOS | Aire   | Particulas     | F06 |                  |    |    | -12 |                                    | -12                       | -16                        | -16                 |                            | -12                              | -29                                                 | -10                                  | -9                            | -10                             | -10                  |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             | -1                                               |
|           |        | Gases          | F07 |                  |    |    |     |                                    | -11                       |                            | -10                 |                            | -11                              |                                                     |                                      |                               |                                 |                      |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
|           |        | Nivel Sonoro   | F08 |                  |    |    |     |                                    | -11                       |                            | -10                 |                            | -11                              |                                                     |                                      |                               |                                 |                      |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             | -1                                               |
|           |        | Olores         | F09 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            |                     |                            |                                  |                                                     |                                      |                               | -9                              |                      |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
|           | Tierra | esta. De talud | F14 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            | -9                  |                            |                                  |                                                     |                                      |                               |                                 |                      |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
|           |        | Calidad de su  | F17 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            | -14                 |                            | -9                               |                                                     | -29                                  |                               | -9                              |                      |                                       |                       | -29                                                |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
|           |        | Permeabilidad  | F20 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            |                     |                            |                                  |                                                     | -21                                  |                               |                                 |                      |                                       |                       | -29                                                |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
|           | Agua   | Escorrentia su | F23 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            | -13                 | -9                         |                                  | -9                                                  |                                      |                               |                                 | -9                   | -9                                    | -20                   |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
|           |        | Red de drenaj  | F25 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            | -9                  | -9                         |                                  |                                                     |                                      |                               | 10                              |                      |                                       | 10                    | -9                                                 |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
|           |        | Subterr. Calid | F27 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            |                     |                            |                                  |                                                     |                                      |                               |                                 | -16                  |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            |             |                                                  |
| BIOTICO   | Flora  | Cobertura vege | F30 |                  |    |    | -29 |                                    |                           | -15                        | -16                 |                            |                                  | -29                                                 | -16                                  | -14                           | -9                              | -14                  |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            | 21          | 2                                                |
|           |        | Formaciones v  | F31 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            |                     |                            |                                  |                                                     |                                      |                               |                                 |                      |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            | 21          |                                                  |
|           |        | Especies incor | F33 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            |                     |                            |                                  |                                                     |                                      |                               |                                 |                      |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            | 21          |                                                  |
|           |        | Arbolado públ  | F36 |                  |    |    |     |                                    |                           |                            |                     |                            |                                  |                                                     |                                      |                               |                                 |                      |                                       |                       |                                                    |                                      |                           |                                      |                                     |                            | 21          |                                                  |

Fuente: (Cota, 2008).

La ventaja principal al utilizar la matriz de Leopold consiste en que considera los posibles impactos, su importancia y magnitud respecto a los distintos factores ambientales, además, permite el desarrollo de una matriz para cada subconjunto en el que pueda dividirse el proyecto.

La desventaja es que el carácter subjetivo de la valoración hace que sea de muy difícil reproducibilidad por parte de distintos equipos de profesionales, y que no tiene en cuenta los efectos sinérgicos entre factores ni la temporalidad de los efectos.

## 2.6. Legislación y marco administrativo.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos constituye el primer nivel jerárquico del marco legislativo ambiental Mexicano y algunos de sus artículos tienen relación con el cuidado del medio ambiente por ejemplo:

- El artículo 4º constitucional establece las bases para proteger el ambiente de tal forma que se garantice con ellos el derecho a la salud.
- El artículo 25 consigna que el desarrollo económico e industrial del país debe observar los cuidados ambientales sin menoscabo de los elementos del ambiente y sus recursos.
- El artículo 27 establece que en el aprovechamiento de los recursos naturales que son patrimonio de la nación debe preservarse el equilibrio ecológico.
- El artículo 73 sienta las bases para que se legisle sobre la materia ecológica y se establezca la concurrencia entre los diferentes niveles de gobierno.
- El artículo 115 consigna la responsabilidad de los municipios en la administración del uso del suelo, las licencias de construcción y zonas de reservas ecológicas.

En México existen diversas leyes que regulan la actividad minera entre estas se encuentran las siguientes.

- Ley minera mexicana publicada en el diario oficial de la federación el 26 de junio de 1992, esta ley es reglamentaria del artículo 27 constitucional.
- Reglamento de la ley minera 15 febrero 1999.
- Ley de inversión extranjera 27 diciembre 1993.
- Ley agraria 26 febrero 1992.
- Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente (LGEEPA) 28 enero 1988.

#### **2.6.1. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).**

Considerando que la protección del ambiente es responsabilidad del sector público, en México entro en vigor la Ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente (LGEEPA) en 1988, con el fin de mantener en cierto nivel la base de los recursos naturales, prevenir la contaminación, el impacto ambiental y el ordenamiento territorial. En su artículo 1º, la LGEEPA contempla lo siguiente.

La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

- **I.-** Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar.
- **II.-** Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación.
- **III.-** La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente.
- **IV.-** La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas.
- **V.-** El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas.
- **VI.-** La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.

- **VII.-** Garantizar la participación corresponsable de las personas, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.
- **VIII.-** El ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponde a la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX - G de la Constitución.
- **IX.-** El establecimiento de los mecanismos de coordinación, inducción y concertación entre autoridades, entre éstas y los sectores social y privado, así como con personas y grupos sociales, en materia ambiental.
- **X.-** El establecimiento de medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones administrativas y penales que correspondan.

En todo lo no previsto en la presente Ley, se aplicarán las disposiciones contenidas en otras leyes relacionadas con las materias que regula este ordenamiento. La última reforma que se le hizo a la LGEEPA sucedió el 30 de agosto del 2011.

#### **2.6.2. Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR).**

Esta ley se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre del 2003 y su última reforma se publicó el 22 de mayo del 2015 (Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2015).

Objetivo y ámbito de aplicación de la Ley.

**Artículo 1.-** La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el

derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para:

I. Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos;

II. Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana;

III. Establecer los mecanismos de coordinación que, en materia de prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de residuos, corresponden a la Federación, las entidades federativas y los municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX-G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;

IV. Formular una clasificación básica y general de los residuos que permita uniformar sus inventarios, así como orientar y fomentar la prevención de su generación, la valorización y el desarrollo de sistemas de gestión integral de los mismos;

V. Regular la generación y manejo integral de residuos peligrosos, así como establecer las disposiciones que serán consideradas por los gobiernos locales en la regulación de los residuos que conforme a esta Ley sean de su competencia;

VI. Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de servicios en el manejo integral de los residuos;

VII. Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, y esquemas de financiamiento adecuados.

VIII. Promover la participación corresponsable de todos los sectores sociales, en las acciones tendientes a prevenir la generación, valorización y lograr una gestión integral de los residuos ambientalmente adecuada, así como tecnológica, económica y socialmente viable, de conformidad con las disposiciones de esta Ley;

IX. Crear un sistema de información relativa a la generación y gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial, así como de sitios contaminados y remediados;

X. Prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los criterios a los que se sujetará su remediación;

XI. Regular la importación y exportación de residuos;

XII. Fortalecer la investigación y desarrollo científico, así como la innovación tecnológica, para reducir la generación de residuos y diseñar alternativas para su tratamiento, orientadas a procesos productivos más limpios y;

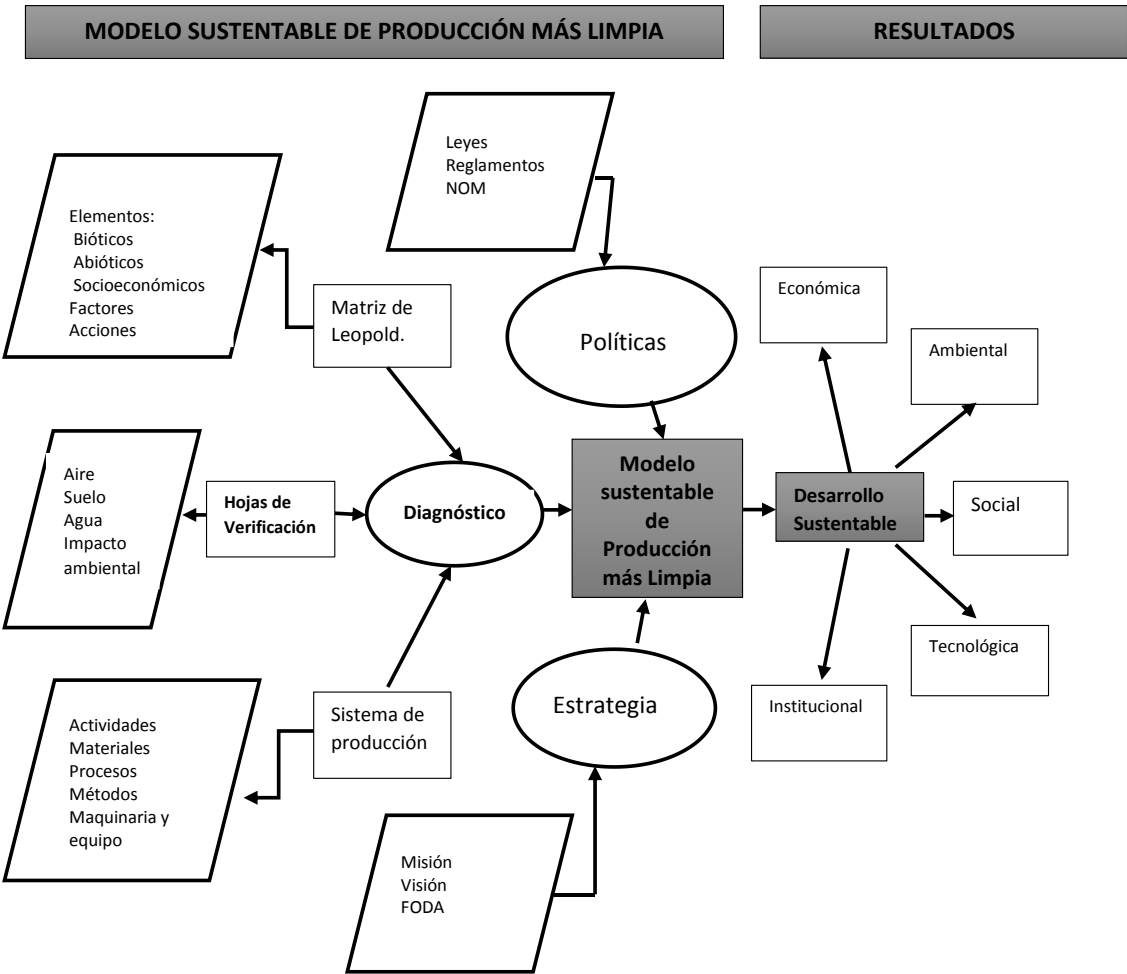
XIII. Establecer medidas de control, medidas correctivas y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones que corresponda.

## **2.7. Modelo sustentable de producción más limpia propuesto.**

La contribución de esta tesis consiste en diseñar un modelo sustentable de producción más limpia, que pueda considerarse como una alternativa de solución a los problemas planteados, así como dar respuestas a las preguntas que dieron origen a la investigación.

Para el diseño del modelo propuesto se incluyeron todos los aspectos tratados en los capítulos I y II , y esta validado mediante dos instrumentos que se aplicaron en las cinco plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora, estos instrumentos son; Encuesta y Matriz de Leopold., en la figura 18 se puede observar este modelo.

**Figura 4 Modelo sustentable de producción más limpia propuesto.**



**Fuente:** Elaboración del autor.

En la integración de la investigación tanto documental como de campo, surgieron tres elementos indispensables para desarrollar el modelo sustentable de producción más limpia, estos son; diagnóstico, políticas y estrategia.

Los tres elementos antes mencionados se describen a continuación.

### 2.7.1. Diagnóstico.

Braidot (2003) considera que el diagnóstico es un medio de análisis que permite el cambio de una empresa de la incertidumbre al conocimiento, y que este se puede realizar en tres niveles:

- El **primer nivel** se refiere a la detección del problema.
- El **segundo nivel** hace énfasis en la solución del problema.
- El **tercer nivel** es el diagnóstico estratégico el cual enfatiza el proceso de mejora alrededor de los problemas estratégicos o claves de la organización.

Para Moyasevich (2007) el diagnóstico visualiza los síntomas de la empresa; sus problemas con causas, consecuencias y efectos, además determina las fortalezas y debilidades en las distintas áreas de la empresa y con base en sus resultados plantea conclusiones y recomendaciones para proyectar la empresa a un estado ideal.

Debido a que las plantas objeto de estudio ya se encuentran en la fase de operación y no en la fase de proyectos, en esta investigación se utilizaron las siguientes herramientas para el diagnóstico:

- **Hojas de verificación**, esta herramienta es de mucha utilidad para hacer un diagnóstico de los siguientes factores; aire, suelo, agua e impacto ambiental. Las hojas de verificación utilizadas en esta investigación, son las que aplica la PROFEPA en sus auditorías ambientales (ver anexos 10, 11 y 12).
- **Matriz de Leopold**, esta matriz se adaptó a la investigación para obtener información sobre si afectan y que tanto, las acciones que se realizan en las operaciones de las plantas de beneficio de carbón mineral a los factores; bióticos, abióticos, y socioeconómicos (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971).
- **Análisis de los elementos que integran el proceso de producción**, Jackson (1993) destaca que la producción más limpia implica una reconversión tecnológica que

debe incluir; procesos, métodos, materiales así como la tecnología utilizada en los sistemas de producción. En el modelo que se propone en esta investigación, en los **procesos** tiene como objetivo eliminar o reducir las emisiones, en los **métodos** que estos sean más eficientes y productivos, en lo que se refiere a los **materiales** se pretende reducir el consumo y utilizar materiales menos tóxicos, y con respecto a la **tecnología**, se propone utilizar tecnologías más limpias.

### 2.7.2. Políticas.

Según Miller (2009), una política está formada por leyes, reglas y regulaciones relacionadas con un problema ambiental, las cuales son desarrolladas, implementadas e impuestas por una o más agencias gubernamentales.

En México la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), así como la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) definen los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación.

Vidal y Franco (2009), sugieren que las industrias deben de cumplir con las regulaciones actuales y anticiparse a regulaciones más estrictas para el cuidado del medio ambiente, además mencionan que en México la política ambiental está sustentada en los siguientes seis pilares:

- **Integralidad:** Manejo conjunto y coordinado de los recursos naturales.
- **Compromiso con los sectores:** Tarea compartida por varias dependencias del gobierno federal.
- **La nueva gestión ambiental:** Detener, revertir, restaurar y abarcar las dimensiones del desarrollo sustentable.
- **Valoración social y económica de recursos naturales:** Reconocer su verdadero valor para que sean utilizados de manera racional.
- **Combate a la impunidad ambiental:** Sin excepciones.

- **Participación social y rendición de cuentas:** Acceso de la sociedad.

Tomando como referencia las contribuciones de; Miller (2009), Vidal y Franco (2009), además de la información proporcionada por la PROFEPA delegación Sonora sobre las políticas ambientales, se consideraron para el diseño de la encuesta que es uno de los instrumentos utilizados en esta investigación las siguientes leyes y reglamentos .

- **LGEEPA.-** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- **RLGEEPAATM.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
- **RLGEEPAAA.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Auditoría Ambiental.
- **LGPGIR.-** Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
- **RLGEEPAEIA.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación de Impacto Ambiental

Además de las contribuciones de Miller (2009), Vidal y Franco (2009), la definición de producción más limpia del Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente, en donde considera parte importante reducir los riesgos relevantes de los seres humanos (Espinoza, 2007), se incluyó en las políticas ambientales de esta investigación las siguientes Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

Las normas tienen como objetivo proporcionar condiciones seguras de trabajo al recurso humano que labora en las plantas de beneficio de carbón mineral objeto de estudio.

- **NOM-001-STPS-2008** (Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-condiciones de seguridad)

- **NOM-004-STPS-1999** (Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo)
- **NOM-017-STPS-2008** (Equipo de protección personal selección, uso y manejo en los centros de trabajo)

### **2.7.3. Estrategia.**

Para Porter (2004) la estrategia es la búsqueda de una posición favorable dentro de una industria, escenario fundamental donde se lleva a cabo la competencia, y su finalidad es establecer una posición rentable y sustentable frente a las fuerzas que rigen la competencia en la industria.

Sin duda el diagnóstico y las políticas ambientales son elementos determinantes para la búsqueda de esa posición que menciona Porter.

La información que se obtiene del diagnóstico y de las políticas ambientales, se deben de utilizar como referencia para el diseño de la estrategia, ya que esta nos va a permitir identificar de manera sistemática las oportunidades y amenazas así como fortalezas y debilidades y por lo tanto tomar las mejores decisiones.

### **2.7.4. Modelo sustentable de producción más limpia.**

Según el Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente, la producción más limpia es “la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, a los productos y a los servicios, para incrementar la eficiencia y reducir los riesgos relevantes de los seres humanos y el medio ambiente” (Espinoza, 2007)

Para Jackson (1993) la producción más limpia es “Un enfoque operativo para el desarrollo de los sistemas de producción y de consumo que incorpora la prevención en la protección del medio ambiente”.

Vidal y Franco (2009) establecen que para el cuidado del medio ambiente las industrias deben de:

- Cumplir con las regulaciones actuales.
- Anticiparse a las regulaciones cada vez más estrictas.

Los tres autores citados en este apartado coinciden en que para desarrollar un modelo sustentable de producción más limpia se requiere de los siguientes elementos:

- Un diagnóstico.
- Políticas ambientales.
- Estrategias.

Estos tres elementos se pueden observar en la figura 16, en donde se presenta el modelo sustentable de producción más limpia propuesto en esta investigación.

#### **2.7.5. Desarrollo sustentable.**

Labonne (1999) considera que para que una empresa minera contribuya al desarrollo sustentable, debe de implementar sistemas de producción más limpia utilizando tecnologías limpias para minimizar desperdicios y emisiones.

Hilson y Murck (2000) sugieren los siguientes aspectos para contribuir al desarrollo sustentable; una mejor planeación, implementación de sólidas herramientas de gestión ambiental y utilizar tecnologías más limpias.

Vidal y Franco (2009), proponen que las industrias deben de cumplir con las regulaciones actuales y anticiparse a regulaciones más estrictas para el cuidado del medio ambiente,

Tomando como referencia las tres contribuciones anteriores, se puede establecer una estrecha relación entre un sistema de producción más limpia y el desarrollo sustentable para obtener resultados en las cinco dimensiones de este último.

Borbón, Calles, Medellín y Robles (2011), consideran que para lograr un desarrollo sustentable, las empresas deben tomar medidas en sus cinco dimensiones:

- En la **dimensión económica**, estas medidas tienen que ser económicamente viables.
- En su **dimensión social**, el desarrollo sustentable se orienta a una mejor calidad, deben ser socialmente equitativas y motivar la participación de la población.
- La **dimensión ambiental** se refiere al cuidado del medio ambiente y combatir la impunidad ambiental sin excepciones.
- En la **dimensión tecnológica**, se sugiere utilizar tecnologías limpias y más eficientes para prevenir o restaurar daños ocasionados al medio ambiente.
- La sustentabilidad en la **dimensión institucional** implica realizar progresos significativos en la descentralización de la política administrativa, para estimular nuevas formas de organización y participación ciudadana.

## 2.8. Marco teórico referencial.

En este apartado se presentan las contribuciones de algunos de los autores citados, las cuales se utilizaron como referencia para el diseño del modelo sustentable de producción más limpia propuesto.

En la tabla 2, se presenta el marco de referencia del modelo sustentable de producción más limpia propuesto en esta investigación.

**Tabla 2. Autores y su contribución.**

| AUTOR | CONTRIBUCIÓN |
|-------|--------------|
|-------|--------------|

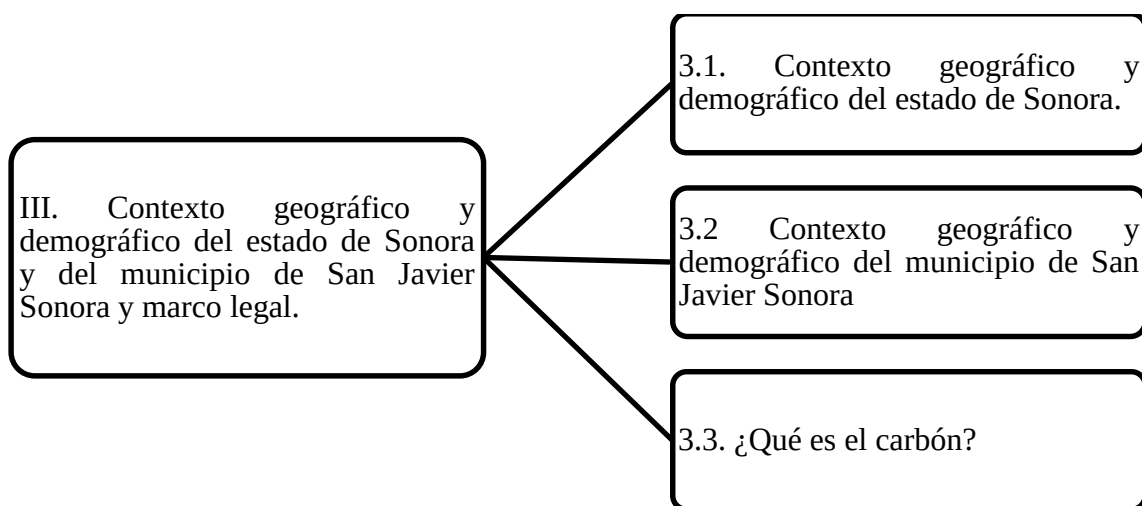
|                                                                        |                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Gutierrez, 2011)                                                      | Gestión de seguridad, higiene y ambiente en Carbones del Guasare                                                                |
| (Porter, 2004)                                                         | Planeación estratégica                                                                                                          |
| (Kotler & Armstrong, 2007)                                             | Planeación estratégica                                                                                                          |
| (Hill & Jones, 2011)                                                   | Análisis FODA                                                                                                                   |
| (Hopeman, 2002)                                                        | Sistemas de producción                                                                                                          |
| (Espinoza, 2007)                                                       | Producción más limpia<br>Modelo de excelencia de producción más limpia                                                          |
| (Jackson, 1993)                                                        | Producción más limpia<br>Jerarquía de la prevención                                                                             |
| (Vidal & Franco, 2009)                                                 | Cuidado del medio ambiente                                                                                                      |
| (Hilson & Murck, 2000)                                                 | Producción más limpia en la industria minera mexicana.<br>Desarrollo sustentable en la industria minera                         |
| (WCED, 1987)                                                           | Desarrollo sustentable                                                                                                          |
| (Miller, 2009)                                                         | Sustentabilidad                                                                                                                 |
| (Carranza, Hernandez, Huerta, & Suppen, 2004)                          | Desarrollo sustentable en la industria minera                                                                                   |
| (Eggert, 2000)                                                         | Estrategias para minimizar el impacto                                                                                           |
| (Cooney, 2000)                                                         | Directrices para mejorar la sostenibilidad en la industria minera                                                               |
| (Garrod & Chadwick, 1996)                                              | Herramientas de gestión ambiental                                                                                               |
| (McAllister, Scoble, & Veiga, 1999)                                    | Utilización de tecnologías limpias en la industria minera.<br>Estrategias para el desarrollo sustentable en la industria minera |
| (Robles I., Borbón S., Medellín P., & Calles M., 2011)                 | Dimensiones del desarrollo sustentable                                                                                          |
| (Conesa Fernandez, 2010)                                               | Evaluación de impacto ambiental                                                                                                 |
| (Cota, 2008) y PROFEPA                                                 | Listas de verificación                                                                                                          |
| (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971)                            | Matriz de Leopold                                                                                                               |
| Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)  | Políticas ambientales                                                                                                           |
| Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) | Políticas ambientales                                                                                                           |

**Fuente:** Elaboración del autor.

### **CAPÍTULO III. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y DEMOGRÁFICO DEL ESTADO DE SONORA Y DEL MUNICIPIO DE SAN JAVIER SONORA.**

Este capítulo está estructurado como se observa en la figura 19.

**Figura 5 Capítulo III.**



**Fuente:** Elaboración del autor.

#### **3.1. Contexto geográfico y demográfico del estado de Sonora.**

El Estado de Sonora cuenta con una superficie territorial de 184.934 km<sup>2</sup>, forma parte de los Estados Unidos Mexicanos, se encuentra ubicado en el noroeste y ocupa el segundo lugar en extensión de entre todas las entidades federativas de la República, con una porción de 9,2% del total de la superficie, el estado de Sonora está dividido en 72 municipios.

Su situación geográfica, se sitúa entre los 32°29' y los 26°14' de latitud Norte y entre los 108°26' y los 105°02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, limita al norte con los Estados Unidos de América, al sur con el Estado de Sinaloa, al este con Chihuahua y al oeste con el Golfo de California y Baja California, en la figura 20, se puede observar la ubicación del Estado de Sonora y las entidades colindantes.

El escudo del estado de Sonora se pueden observar las actividades económicas principales, como son: Ganadería, minería, pesca y agricultura además de su cultura representada por la danza del venado

**Figura 20.- 6 Ubicación del Estado de Sonora**



**Fuente:** <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/son/default.aspx?tema=me&e=26>.

Según los datos que arrojó el *II Censo de Población y Vivienda* realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con fecha censal del 12 de junio de 2010, el estado de Sonora contaba hasta ese año con un total de 2 662 480 habitantes, de dicha cantidad, 1 339 612 eran hombres y 1 322 868 eran mujeres. La tasa de crecimiento anual para la entidad durante el período 2005-2010 fue del 2.1%.

El crecimiento de la población ha observado una dinámica constante que se traduce en un incremento en los últimos 50 años. La densidad de población en Sonora es de 14.7 hab/km<sup>2</sup>, lo que sitúa al estado en el lugar 29.

Las principales actividades económicas en Sonora son la ganadería, minería, pesca y agricultura. Y recientemente la industria maquiladora y de producción de alimentos han tenido auge en el estado.

Las ciudades más importantes en el sector económico son: Hermosillo, Ciudad Obregón, Nogales, Guaymas, Navojoa, San Luis Río Colorado, Agua Prieta, Caborca, y Puerto Peñasco, entre las ciudades culturales más importantes destacan: Álamos, Arizpe, Ures, Magdalena de Kino, el Centro Histórico de Hermosillo y los pueblos aledaños al Río Sonora, entre otras.

### **3.2. Contexto geográfico y demográfico del municipio de San Javier Sonora.**

El municipio está ubicado en el centro del Estado de Sonora, a 147 km de Hermosillo, la capital de Sonora. Su cabecera es la población de San Javier y se localiza en el paralelo 28° 36' de latitud norte y a los 109° 44' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 650 metros sobre el nivel del mar Colinda con los siguientes municipios: al norte con Soyopa, al este con Onavas, al sur con Suaqui Grande y al oeste con la Colorada, en la figura 21, se puede observar la ubicación del municipio de San Javier en el estado de Sonora.

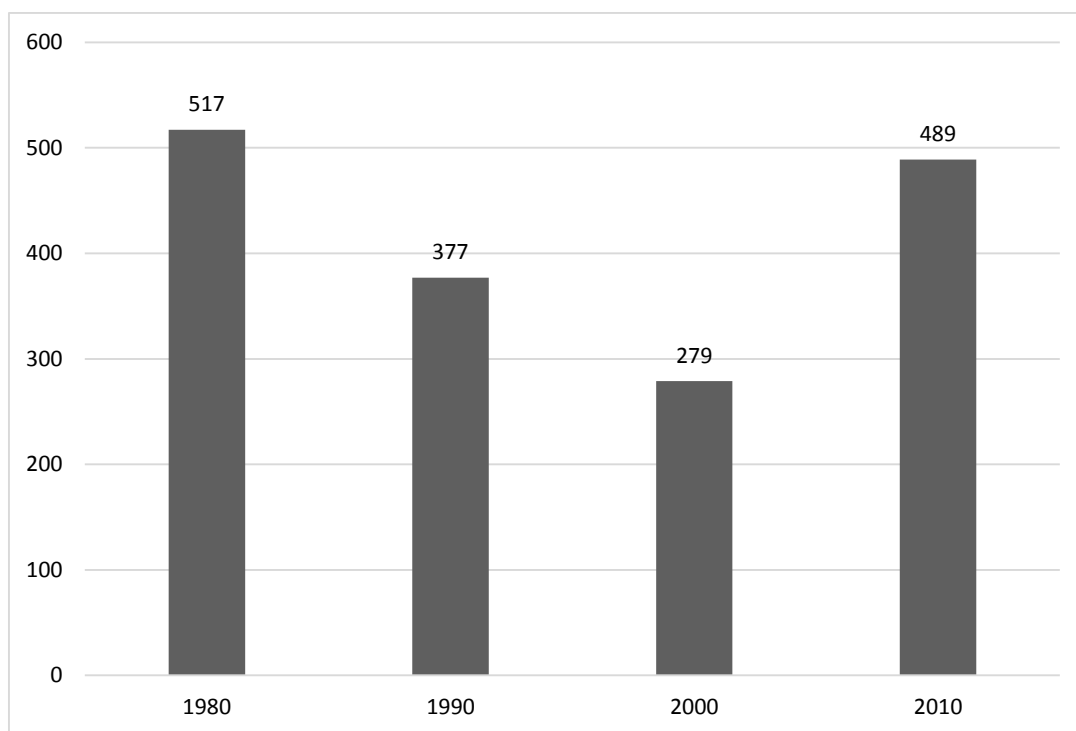
**Figura 7 Ubicación del municipio de San Javier Sonora.**



**Fuente:** <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM26sonora/municipios/26054a.html>.

La población en este municipio se presenta en la gráfica 2, esta información es de los últimos 4 censos del INEGI.

**Gráfica 2. Población en San Javier Sonora periodo 1980-2010.**



**Fuente:** INEGI.

En la gráfica anterior se observa que la población en este municipio disminuyó en la década de los 90's y del 2000, pero en el último censo presenta de nuevo un incremento, este incremento coincide con el incremento en la explotación del carbón mineral en esta zona en los últimos años.

Las principales actividades económicas en este municipio son; la ganadería y la minería, y el comercio en pequeña escala.

La ganadería es principalmente de ganado bovino y es lo que mantiene económicamente activo al municipio. También se extraen minerales como oro, plata, cobre, plomo y actualmente carbón mineral (Secretaría de Economía del Estado de Sonora, 2014).

### 3.3. ¿Qué es el carbón?

Debido a que esta investigación se relaciona directamente con la explotación del carbón mineral, se considera importante presentar una descripción sobre este mineral, específicamente; ¿Qué es? ¿Cómo se clasifica? y ¿Cuáles son sus usos?

El carbón son los restos alterados de la vegetación prehistórica que se acumularon originalmente en pantanos y ciénagas (World Coal Institute, 2005), los depósitos de lodos y otros sedimentos, junto con los movimientos en la corteza terrestre (conocidos como movimientos tectónicos) enterraron estos pantanos y ciénagas, a menudo a grandes profundidades.

Al quedar enterrado, el material vegetal fue sometido a altas temperaturas y presiones. Esto provocó cambios físicos y químicos en la vegetación, transformándola primeramente en turba y después en carbón.

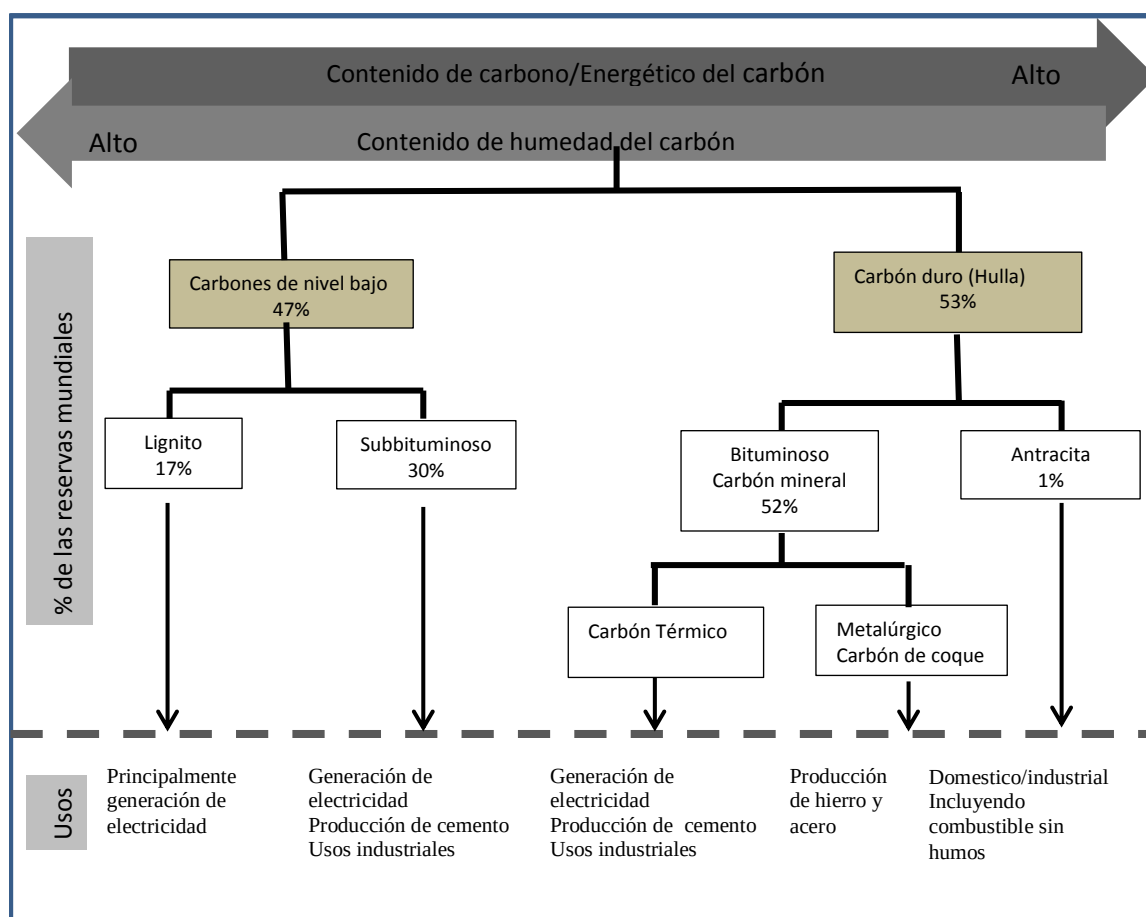
La formación de carbón se inició durante el periodo carbonífero, conocido como la primera era del carbón, que comprende desde hace 360 millones de años a hace 290 millones de años (World Coal Institute, 2005), el índice de cambio sufrido por un carbón al madurar desde la turba hasta la antracita, conocido como carbonificación, tiene una gran importancia en las propiedades físicas y químicas, y se denomina “nivel” del carbón.

Los carbones de rango bajo, como el lignito y los carbones subbituminosos son normalmente más blandos y desmenuzables, con una aspecto más mate y terroso, se caracterizan por niveles de humedad altos y bajo contenido en carbono, por lo que su contenido energético también es bajo.

Los carbones de nivel alto suelen ser más duros y resistentes, y a menudo tienen un color más negro y vítreo, estos carbones contienen más carbono, menos humedad y producen más energía.

La antracita se encuentra en el rango superior de la escala de categorías y tiene un contenido superior de carbono y energía, y un nivel inferior de humedad. En la figura 22 se presenta una clasificación del carbón, así como los usos de este.

**Figura 22.- Tipos y usos del carbón.**



**Fuente:** (World Coal Institute, 2005).

La calidad de cada depósito de carbón se determina por la temperatura y presión, así como por el tiempo de formación, a lo que nos referimos como “madurez orgánica”. Inicialmente, la turba se convierte en lignito o “carbón marrón”, que son tipos de carbón con una madurez orgánica baja, en comparación con otros carbones, el lignito es bastante blando y su color puede variar de negro oscuro a diferentes tonalidades de marrón.

Durante muchos millones de años, los efectos continuos de la temperatura y la presión han producido cambios en el lignito, aumentando progresivamente su madurez orgánica

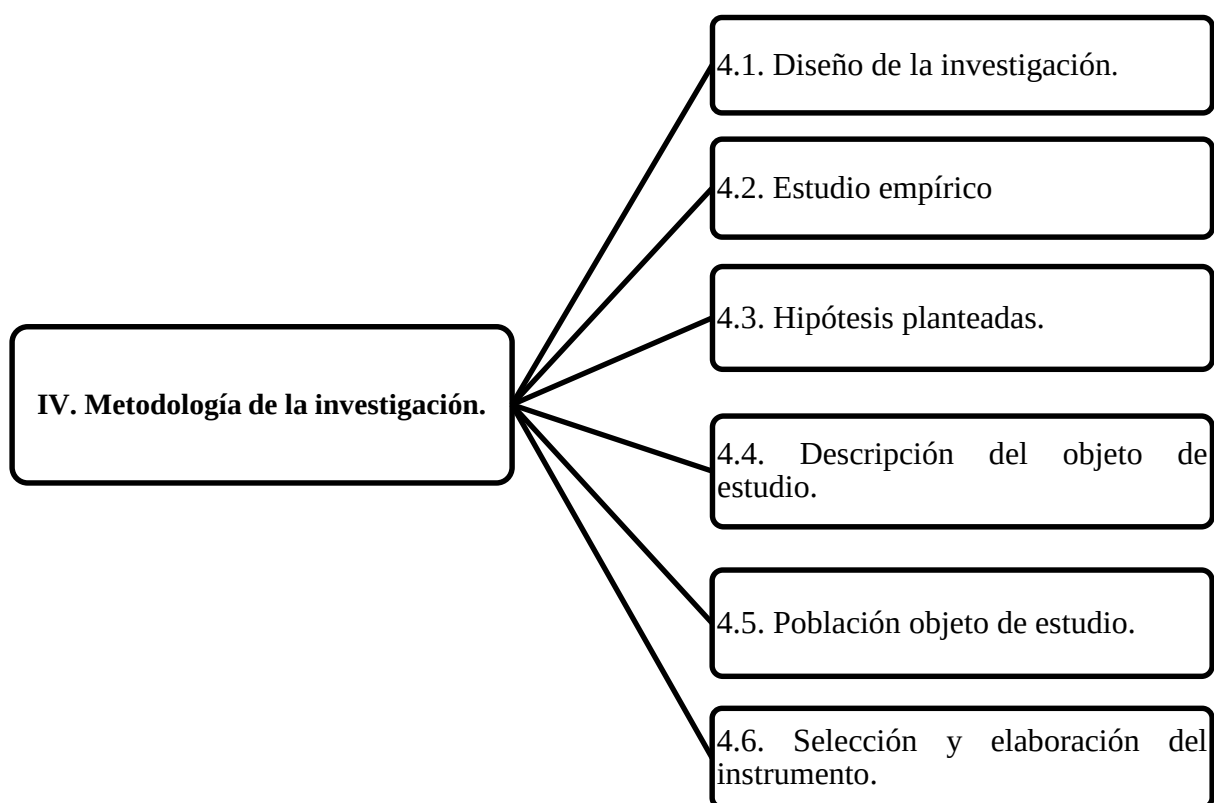
y transformándolo en la gama de carbones denominados “subituminosos”, se produjeron más cambios químicos y físicos hasta que estos carbones se hicieron más duros y negros, formando los carbones “bituminosos” o carbones minerales.

En las condiciones adecuadas, el aumento progresivo de la madurez orgánica pudo continuar, formando finalmente la antracita, este último tipo de carbón (antracita) es el que se explota en la zona central de estado de Sonora.

## CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

El objetivo de este capítulo consiste en describir la metodología utilizada en esta investigación, la cual permitirá dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas en el capítulo I, así como el logro de los objetivos, en la figura 23, se observan los temas tratados en este capítulo.

**Figura 23. Metodología de la investigación.**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.1. Diseño de la investigación.

El enfoque de esta investigación es mixto, es decir cuantitativo y cualitativo; Cuantitativo porque se recolectaron datos para probar hipótesis, y cualitativo debido a que se utilizó la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado,

& Baptista Lucio, 2010), así mismo el alcance de la investigación es exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo.

**Exploratorio**, si bien ya hay antecedentes de investigaciones sobre sistemas de producción más limpia en plantas de beneficio de carbón mineral en otras partes del mundo, en la parte central del estado de Sonora no se tienen propuestas de sistemas sustentables de producción más limpia.

**Descriptivo**, porque se especifican las características y propiedades del sistema sustentable de producción más limpia propuesto en esta investigación.

**Correlacional**, porque se analiza el grado de relación que existe entre dos o más variables o conceptos, por ejemplo en la matriz de Leopold se analizan las relaciones entre factores y acciones.

**Explicativo**, porque se enfoca en explicar por qué se relacionan dos o más variables (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010).

#### **4.2. Estudio Empírico.**

El empirismo surge en el siglo XVII , y se considera a John Locke como el padre de este pensamiento (Hall & Woolhouse, 1983), según Locke nada podía ser entendido si en ello no mediaba la experiencia, para él la conciencia del ser humano está vacía hasta que nace y se va llenando de conocimientos producto de la experiencia que se va reuniendo.

Según Mayntz, Holm & Hubner (1988), un estudio empírico se puede definir como la investigación basada en la observación para descubrir algo desconocido o probar hipótesis.

Tomando como referencia la definición anterior se establece que en esta investigación se realizó un estudio empírico, debido que se observó durante un largo periodo de tiempo las condiciones de operación de las 5 plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en

el municipio de San Javier Sonora, estas observaciones dieron origen a una serie de hipótesis las cuales se presentan en el apartado 4.2 de este capítulo.

Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio (2010), establecen que en la investigación hay dos enfoques; cualitativo y cuantitativo, estos dos enfoques para Grinnell (1977) emplean procesos metódicos y empíricos en sus esfuerzos para generar conocimiento, y utilizan las siguientes cinco fases similares y relacionadas entre sí.

- Llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos.
- Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.
- Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
- Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o análisis.
- Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas; o incluso para generar otras.

Como se mencionó anteriormente, el enfoque de esta investigación es mixto, es decir cuantitativo y cualitativo, por lo tanto las cinco fases que establece Grinnell (1977) fueron utilizadas en las diferentes etapas de esta investigación.

#### **4.3. Hipótesis planteadas.**

Debido a que las hipótesis son las guías de una investigación con enfoque cuantitativo (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010), y considerando que estas son proposiciones acerca de la relación entre variables, en esta investigación se plantearon cuatro hipótesis; una general y tres específicas.

Las hipótesis aquí planteadas están sustentadas en el planteamiento del problema así como en las preguntas de investigación que se presentaron en el capítulo I.

#### **4.3.1. Hipótesis general.**

Un modelo de producción más limpia contribuye al desarrollo sustentable.

#### **4.3.2. Hipótesis específicas.**

Las hipótesis específicas planteadas son tres:

- Las políticas para diseñar un modelo sustentable de producción más limpia están en función de leyes, normas y reglamentos.
- El diagnóstico para diseñar un modelo sustentable de producción más limpia se realiza utilizando las hojas de verificación, la matriz de Leopold y el análisis del proceso de producción.
- Las estrategias para diseñar un modelo sustentable de producción más limpia están en función de la visión, misión y análisis FODA.

#### **4.4. Descripción del objeto de estudio.**

Tomando como referencia el concepto de población la cual define Selltiz (1980) como el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. El objeto de estudio en esta investigación lo representan las plantas de beneficio de carbón mineral que se ubican en el municipio de San Javier en el Estado de Sonora, y que están en operación actualmente.

#### **4.5. Población objeto de estudio.**

Como la población objeto de estudio en esta investigación es muy pequeña, es conveniente que el estudio se realice en el total de la población la cual está representada por las 5 plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora.

#### **4.6. Selección y elaboración del instrumento.**

Para la selección y elaboración de los instrumentos, se consideró que un instrumento de medición adecuado según Grinnell, Unrau y Williams (2009) es aquel que registra datos observables que representen verdaderamente los conceptos o las variables que el investigador tiene en mente.

En la etapa inicial de esta investigación, se tenía contemplado utilizar la información sobre auditorías ambientales realizadas a las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en la zona centro del estado de Sonora por parte de PROFEPA delegación Sonora, sin embargo debido a que no se cuenta con información sobre auditorías ambientales que se hayan realizado a estas plantas de beneficio de carbón mineral (ver anexo 7), se decidió utilizar dos instrumentos de medición los cuales reúnen los tres requisitos esenciales que son; confiabilidad, validez y objetividad (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2010), estos instrumentos de medición son los siguientes: Encuesta estructurada, dirigida a los administradores de las plantas (Ver anexo 11) y la matriz de Leopold.

##### **4.6.1. Encuesta**

Para la selección de los reactivos que se aplicaron en la encuesta, se tomó como referencia las hojas de verificación del aire, suelo e impacto ambiental que proporciono la PROFEPA delegación Sonora (ver anexos 7, 8 y 9).

Debido a que no se puede entender un sistema de producción más limpia sin la seguridad e higiene de los trabajadores que laboran en estas planta se incluyeron en la encuesta algunas preguntas sobre Normas Oficiales Mexicanas que se deben cumplir para garantizar la seguridad de los trabajadores en los centros de trabajo.

La encuesta consistió en 22 preguntas (ver anexo 10), en la tabla 3 se puede observar cómo están distribuidas estas, la encuesta solo se aplicó al personal administrativo de las cinco plantas existentes y visitadas.

**Tabla 3. Distribución de preguntas.**

| DESCRIPCIÓN                    | PREGUNTAS |
|--------------------------------|-----------|
| Información de la empresa      | 3         |
| Verificación de documentos     | 3         |
| Guía de verificación del aire  | 7         |
| Guía de verificación del suelo | 5         |
| Guía de impacto ambiental      | 1         |
| Seguridad Industrial           | 3         |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>22</b> |

**Fuente:** PROFEPA y Secretaria del Trabajo y Previsión Social

El criterio utilizado para seleccionar las preguntas tanto de las guías de verificación del aire y suelo, así como verificación de impacto ambiental y Normas oficiales Mexicanas, estuvo basado en que estas preguntas son las que se relacionan más para este tipo de plantas.

#### **4.6.2. Matriz de Leopold.**

Como se describió en el marco teórico, esta matriz fue diseñada inicialmente para evaluar los impactos ambientales que se relacionaban con proyectos mineros (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971),

La elaboración de esta matriz consta de dos etapas, la primera consiste en la matriz de identificación, y la segunda se refiere a la matriz de importancia.

En la figura 24, se presenta la matriz de importancia adaptada para esta investigación, las filas representan el factor ambiental (F), que es el elemento del ambiente susceptible de verse afectado por el proyecto, y las columnas representan la acción del proyecto (A), es decir, las actividades correspondientes al proyecto para su puesta en marcha. La interacción entre factores (F) y acciones (A), es lo que conforma el impacto.

**Figura 24.- Matriz de Leopold (de importancia).**

| <div> <div>ACCIONES</div> <div>FACTORES</div> </div> |        |                                     |     | ETAPA DE OPERACIÓN                    |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|-----|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|
|                                                      |        |                                     |     | Transporte de carbón de mina a planta | Descarga de mineral en planta | Transportar mineral a quebradora | Alimentar mineral a quebradora | Transportar mineral de quebradora a criba | Cribar mineral | Transportar mineral de cribado a ensacado | Ensayado de mineral | Almacenar mineral | Cargar producto terminado | Mantenimiento de planta |
|                                                      |        |                                     |     | A1                                    | A2                            | A3                               | A4                             | A5                                        | A6             | A7                                        | A8                  | A9                | A10                       | A11                     |
| FACTORES ABIÓTICOS                                   | Aire   | Partículas                          | F1  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Gases                               | F2  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Ruido                               | F3  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Olores                              | F4  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      | Tierra | Calidad del suelo                   | F5  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Erosión                             | F6  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Permeabilidad                       | F7  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      | Agua   | Esorrentia superficial              | F8  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Aluvionalidad                       | F9  |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Subterránea calidad                 | F10 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
| FACTORES BIÓTICOS                                    | Flora  | Cobertura vegetal                   | F11 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Arboles                             | F12 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Arbustos                            | F13 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      | Fauna  | Aves                                | F14 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Especies terrestres                 | F15 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Especies acuáticas                  | F16 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
| FACTORES SOCIECONÓMICOS                              |        | Generación de empleos               | F17 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Cambio en el valor de la tierra     | F18 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Condiciones de trabajo              | F19 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Incremento en el índice demográfico | F20 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |
|                                                      |        | Nivel educativo                     | F21 |                                       |                               |                                  |                                |                                           |                |                                           |                     |                   |                           |                         |

**Fuente:** Elaboración del autor.

Para obtener información que nos permitiera estructurar la matriz de Leopold, se analizaron varias opciones, pero por las características y ventajas que proporciona el método Delphi se decidió utilizarlo para la elaboración y validación de la matriz de

Leopold, en el siguiente apartado se describe en que consiste el método Delphi, y posteriormente se presenta la metodología utilizada para aplicarlo a esta investigación.

#### **4.6.2.1. Método Delphi.**

El método Delphi, cuyo nombre se inspira en el antiguo oráculo de Delphos, fue ideado originalmente a comienzos de los años 50 en el Centro de Investigación estadounidense RAND Corporation por Olaf Helmer y Theodore J Gordon (Chia, 2007).

Turoff (1996), define la técnica Delphi como un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo.

Para Landeta (1999), la capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos.

Kasuo y Securato (1997), señalan que el Método Delphi puede tener innumerables variaciones, pero de modo general existen dos tipos de métodos, estos son:

- El primero es el método convencional, que se caracteriza por ser un cuestionario enviado a los especialistas en espera de su retorno; en este caso, el principal inconveniente es la demora de las respuestas.
- El segundo tipo es el llamado Delphi en tiempo real, el cual consiste en el uso de computadoras interconectadas en red de modo que los especialistas, de forma anónima, respondan al mismo tiempo el cuestionario para que el procesamiento de la información sea casi instantáneo. La desventaja de esta variación es la difícil tarea de reunir a los panelistas de forma síncrona.

Según Martínez (2005) para el desarrollo del método Delphi se deben de considerar las siguientes cuatro fases:

- **Fase 1. *Formulación del problema*:** Consiste en definir con precisión el campo de investigación para asegurar que los expertos consultados tengan el conocimiento de este campo. Por otra parte, la elaboración del cuestionario debe seguir algunas recomendaciones: las preguntas deben ser precisas, cuantificables e independientes.
- **Fase 2. *Elección de expertos*:** El experto será elegido por los conocimientos que tenga sobre el tema consultado. Para eliminar el efecto de los líderes, la identidad de los panelistas es anónima y sus opiniones son recogidas por vía postal o electrónica. Con esto se pretende obtener una opinión más confiable de cada experto sin que haya influencia por el proceso del grupo.
- **Fase 3. *Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios*:** Los cuestionarios se elaborarán de manera que faciliten la respuesta por parte de los consultados y las cuales puedan ser cuantificadas y ponderadas. “En ocasiones, se recurre a respuestas categorizadas (Si/No; Mucho/Medio/Poco; Muy de acuerdo/ De acuerdo/ Indiferente/ En desacuerdo/Muy en desacuerdo), y después se tratan las respuestas en términos porcentuales tratando de ubicar a la mayoría de los consultados en una categoría”.
- **Fase 4. *Desarrollo práctico y explotación de resultados*:** El cuestionario es enviado a cierto número de expertos, acompañado por una carta de presentación que indica: el objetivo de la investigación, explica la metodología del Delphi, el plazo de las respuestas y la garantía del anonimato. Durante la segunda circulación, los expertos son informados de los resultados de la primera consulta, deben dar nuevas respuestas y, si hay diferencias con respecto a la opinión de otro panelista, deben justificar sus planteamientos.

Debido a que la calidad de los resultados depende de las características de los expertos, es muy importante verificar que los expertos invitados tengan antecedentes y experiencias que se relacionan con la investigación (Jacobs, 1996), con respecto al número de expertos involucrados en el método Delphi no existe un consenso en la literatura, por ejemplo: Ludwig (1994), señala que el número de expertos que se utilizaran en el método Delphi

se determina generalmente por el número requerido para constituir una agrupación representativa de juicios y la capacidad de procesamiento de la información del equipo de investigadores.

Según Douglas (1983), otras de las características importantes del método Delphi son las siguientes:

- Proporciona anonimato a los expertos encuestados.
- Se pueden utilizar una gran variedad de técnicas de análisis estadístico para la interpretación de los datos.

El método Delphi se ha aplicado en diferentes campos tales como: Planeación de programas, evaluación de necesidades, determinación de políticas y utilización de recursos , Según Delbecq, Van de Ven, & Gustafson (1975), la técnica Delphi puede ser utilizada para lograr los siguientes objetivos:

- Para determinar o desarrollar un programa con una amplia gama de alternativas.
- Para buscar información que pueda generar un consenso en un grupo determinado.
- Para correlacionar juicios informados sobre un tema que abarca una amplia gama de disciplinas.
- Educar al grupo encuestado en los diversos aspectos del tópico que están interrelacionados.

#### **4.6.2.1.1. Desarrollo del Método Delphi.**

Para esta investigación, se consideró que de los dos métodos que proponen Kasuo & Securato (1997), por sus características el más adecuado es el método convencional que se caracteriza por un cuestionario que se envía a los expertos invitados, en esta investigación no se diseñó un cuestionario, se les solicito a los expertos que en base a sus

experiencias elaboraran la matriz de Leopold de importancia la cual se presenta en la tabla 5, tomando como referencia la información presentada en la tabla 4.

Para la aplicación del método Delphi en la elaboración de la matriz de Leopold, por medio de una carta formal la cual se envió vía correo electrónico (ver anexo 11), se solicitó a un grupo de cuatro expertos con más de 30 años de experiencia en actividades mineras su participación y colaboración en esta investigación, se les explico claramente en que consiste y los objetivos que se pretenden con esta investigación.

En la tabla 4 se presentan los atributos que deben ser evaluados por los expertos seleccionados, tanto los atributos como los valores y las observaciones que se presentan en la tabla 4 fueron propuestos por Conesa (2010).

**Tabla 4. Valores de atributos.**

| ATRIBUTO                                                                                                                                                                                     | VALOR         | OBSERVACIONES                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|
| <b>Carácter</b>                                                                                                                                                                              | Positivo      |                                 |
|                                                                                                                                                                                              | Negativo      |                                 |
| <b>Intensidad (In)</b> Representa la incidencia de la acción causal sobre el factor impactado en el área en la que se produce el efecto                                                      | 1             | Afección mínima                 |
|                                                                                                                                                                                              | 2 a 11        | Intermedia                      |
|                                                                                                                                                                                              | 12            | Destrucción total               |
| <b>Extensión (Ex)</b> Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto                                                                                         | 1             | Impacto puntual                 |
|                                                                                                                                                                                              | 2             | Impacto parcial                 |
|                                                                                                                                                                                              | 4             | Impacto extenso                 |
|                                                                                                                                                                                              | 8             | Impacto total                   |
| <b>Momento (Mo)</b> Se refiere al tiempo transcurrido entre la acción y la aparición del impacto                                                                                             | 4             | Inmediato                       |
|                                                                                                                                                                                              | 3             | Corto plazo (menos de un año)   |
|                                                                                                                                                                                              | 2             | Mediano plazo (de 1 a 5 años)   |
|                                                                                                                                                                                              | 1             | Largo plazo (mas de 5 años)     |
| <b>Persistencia (Pe)</b> Se refiere al tiempo que el efecto se manifiesta hasta que se retorne a la situación inicial en forma natural o a través de medidas correctoras                     | 1             | Fugaz                           |
|                                                                                                                                                                                              | 2             | Temporal ( de 1 a 10 años)      |
|                                                                                                                                                                                              | 4             | Permanente (mas de 10 años)     |
| <b>Recuperabilidad (Rv)</b> Mide la posibilidad de recuperar (total o parcialmente) las condiciones de calidad ambiental iniciales como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras | 1             | Puede ser total e inmediata     |
|                                                                                                                                                                                              | 2             | Puede ser total a mediano plazo |
|                                                                                                                                                                                              | 4             | Parcial                         |
| <b>Certidumbre (Ce)</b> Es el grado de seguridad con el que se espera que se produzca el efecto                                                                                              | 1             | improbable                      |
|                                                                                                                                                                                              | 2             | Probable                        |
|                                                                                                                                                                                              | 3             | Cierto                          |
| <b>Importancia (I).</b> - Con la siguiente formula se mide la importancia del impacto ambiental<br>$I = \frac{In + Ex + Mo + Pe + Rv + Ce}{6}$                                               | $I < 25$      | Irrelevante                     |
|                                                                                                                                                                                              | $25 < I < 50$ | Moderado                        |
|                                                                                                                                                                                              | $50 < I < 75$ | Severo                          |
|                                                                                                                                                                                              | $I > 75$      | Crítico                         |

**Fuente:** Elaboración del autor, citando a (Conesa Fernandez, 2010)

**Tabla 5. Matriz de Leopold de importancia.**

| FACTORES \ ATRIBUTOS     |                                     | INTENSIDAD | EXTENSION | MOMENTO | PERSISTENCIA | RECUPERABILIDAD | CERTIDUMBRE |
|--------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|---------|--------------|-----------------|-------------|
| FACTORES ABIÓTICOS       | Aire                                |            |           |         |              |                 |             |
|                          | Tierra                              |            |           |         |              |                 |             |
|                          | Agua                                |            |           |         |              |                 |             |
| FACTORES BIÓTICOS        | Flora                               |            |           |         |              |                 |             |
|                          | Fauna                               |            |           |         |              |                 |             |
| FACTORES SOCIOECONÓMICOS | Generación de empleos               |            |           |         |              |                 |             |
|                          | Condiciones de trabajo              |            |           |         |              |                 |             |
|                          | Incremento en el índice demográfico |            |           |         |              |                 |             |

**Fuente:** Elaboración del autor, citando a (Cota, 2008).

En la implementación del método Delphi , se consideraron como referencia las cuatro fases que sugiere Martínez (2005), las cuales se presentan en la tabla 6.

**Tabla 6. Fases para la implementar el Método Delphi.**

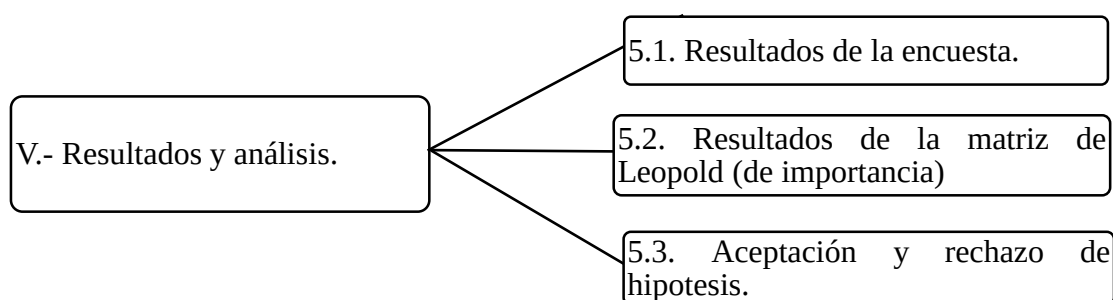
| FASE                                                 | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.- Formulación del problema.                        | Conocer el impacto ambiental que generan las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en la zona centro del estado de Sonora.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2.- Elección de expertos                             | Considerando lo establecido por (Ludwig, 1994) se determinó trabajar con 4 expertos en el tema del impacto ambiental que causan las plantas de beneficio de carbón mineral cuando estas están en operación, distribuidos de la siguiente manera:<br>1.- Funcionario de fomento minero del Gobierno del estado de Sonora.<br>2.- Investigadores de la Universidad de Sonora<br>1.- Empresario minero. |
| 3.- Elaboración y lanzamiento del cuestionario.      | Se le envió a los expertos una carta en donde se explica en que consiste el proyecto y la manera en que deben elaborar la matriz de Leopold basándose en la información proporcionada de los atributos a evaluar.                                                                                                                                                                                    |
| 4.- Desarrollo práctico y explotación de resultados. | En el capítulo 5 de resultados y análisis se presentan los resultados obtenidos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Fuente:** Elaboración del autor, citando a (Martinez, 2005).

## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

En este capítulo primeramente se presentan los resultados que arrojaron las encuestas aplicadas, así mismo se hace una explicación sobre estos resultados. Una vez que se hayan presentado los resultados de las encuestas se presentan los resultados obtenidos de los atributos analizados en la matriz de importancia de Leopold, en la figura 25 se presenta la estructura de este capítulo.

**Figura 25. Resultados y análisis.**



**Fuente:** Elaboración del autor.

### 5.1. Resultados de la encuesta.

En este apartado se pueden observar los resultados obtenidos en la aplicación de la encuesta, así como una breve explicación de estos, como se mencionó anteriormente, las preguntas aplicadas están basadas en las listas de verificación del aire, suelo e impacto ambiental que utiliza la PROFEPA en sus auditorías ambientales, además se incluyeron preguntas sobre Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que se deben de cumplir para garantizar condiciones seguras de trabajo.

#### 5.1.1. Capacidad de producción de las plantas de beneficio de carbón mineral.

La pregunta 2 de la encuesta aplicada se refiere a la capacidad de producción de cada una de las cinco plantas, en la tabla 7 se muestra la distribución de las respuestas.

**Tabla 7. Capacidad de producción mensual por planta.**

| PLANTA       | CAPACIDAD (TON/MES) | PORCENTAJE |
|--------------|---------------------|------------|
| 1            | 4000                | 20         |
| 2            | 5000                | 25         |
| 3            | 4000                | 20         |
| 4            | 3000                | 15         |
| 5            | 4000                | 20         |
| <b>TOTAL</b> | <b>20000</b>        | <b>100</b> |

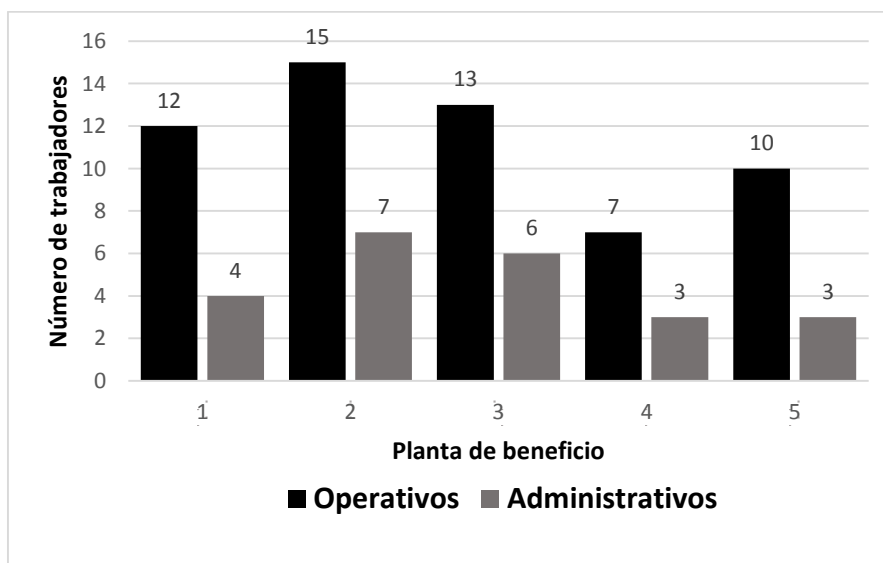
**Fuente:** Investigación de campo del autor.

En la tabla 7 se observa que las capacidades de producción en las plantas de beneficio son muy similares, de hecho en las visitas a estas plantas se observó que tienen los mismos equipos instalados tales como; quebradoras, trascabos y cribas con capacidades y tamaños semejantes, incluso terrenos con dimensiones similares.

#### 5.1.2. Número de empleados por planta.

La pregunta 3 de la encuesta se relaciona con el recurso humano que labora en cada una de las cinco planta encuestadas, hay dos categorías de personal, administrativo y operativo, en la gráfica número 3 se presenta el número de empleados en cada una de las 5 plantas, representando tanto las categorías administrativos como operativos.

**Gráfica 3.- Número de empleados por planta de beneficio.**



**Fuente:** Investigación de campo.

La gráfica número 3, nos muestra que el número de empleados que generan las 5 plantas de beneficio encuestadas, en total trabajan 80, de estos 80 empleos 57 son operativos y 23 administrativos.

### 5.1.3. Verificación de documentos.

En la tabla 8, se presentan los resultados obtenidos de las preguntas 4, 5 y 6, estas preguntas se relacionan con los documentos que deben de tener estas plantas para que con los requisitos de operación, estas preguntas vienen incluidas en las hojas de verificación que nos proporcionó la PROFEPA.

**Tabla 8. Verificación de documentos.**

| PREGUNTA DE LA ENCUESTA | DESCRIPCIÓN                                                                               | Si | No |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| 4                       | ¿Cuenta la empresa con Licencia Ambiental Única? (Art. 18 RLGEPAATM)                      | 5  | 0  |
| 5                       | ¿Cuenta la empresa con Licencia de uso del suelo? (Art. 23 LGEEPA)                        | 5  | 0  |
| 6                       | ¿La instalación cuenta con autorización en materia de impacto ambiental? (Art. 28 LGEEPA) | 5  | 0  |

**Fuente:** Investigación de campo.

La tabla 8, proporciona información que en el total de las plantas encuestadas, cuentan con la documentación requerida para poder estar en condiciones de operación y así evitar problemas de multas o clausuras de las plantas por falta de estos documentos.

### 5.1.4. Guía de verificación del aire.

En la tala 9, se presentan los resultados obtenidos de las preguntas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, estas preguntas vienen incluidas en la Guía de Verificación del Aire proporcionada por la PROFEPA de legación Sonora .

**Tabla 9. Guía de verificación del aire.**

| PREGUNTAS DE ENCUESTA | DESCRIPCIÓN                                                                           | SI | NO |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| 7                     | ¿En las instalaciones se generan emisiones a la atmosfera? (Art. 10 RLGE EPAATM)      | 5  | 0  |
| 8                     | ¿Las emisiones están conducidas? (Art. 23 RLGE EPAATM)                                | 0  | 5  |
| 9                     | ¿Se cuenta con equipos colectores de polvos? (Art. 17 RLGE EPAATM)                    | 0  | 5  |
| 10                    | ¿Se detecta contaminación de la atmosfera en áreas vecinas? (Art.110 LGE EPA)         | 5  | 0  |
| 11                    | ¿Hay en las instalaciones aspersores para aplicación de agua? (Art. 17 RLGE EPAATM)   | 0  | 5  |
| 12                    | ¿Se tienen en las instalaciones cortinas rompe vientos? (Art. 17 RLGE EPAATM)         | 0  | 5  |
| 13                    | Se cuenta con un programa de mantenimiento de los equipos? (BOPI ART. 4 RLGE EPA AAA) | 5  | 0  |

**Fuente:** Investigación de campo.

En la tabla número 9, los resultados son muy contundentes, el total de las empresas encuestadas impactan negativamente en el aire, las respuestas de las preguntas 7, 10, así lo demuestran, y sin embargo ninguna planta cuenta con tecnologías que pudieran mitigar este impacto, los resultados obtenidos en las preguntas 8, 9, 11, 12 y 13 son las evidencias de que estas plantas operan sin tecnologías limpias.

#### 5.1.5. Guía de verificación del suelo.

En la tabla 10, se presentan los resultados obtenidos de las preguntas 14. 15, 16, 17, y 18, estas preguntas vienen incluidas en la Guía de Verificación del suelo.,

**Tabla 10. Guía de verificación del suelo.**

| PREGUNTAS DE ENCUESTA | DESCRIPCIÓN                                                                                                        | SI | NO |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| 14                    | ¿Existen derrames de materiales o residuos peligroso en suelo? (Art. 70 LGPGIR)                                    | 0  | 5  |
| 15                    | ¿En las vecindades hay existencias de suelos contaminados? (Art. 70 LGPGIR)                                        | 4  | 1  |
| 16                    | Si la respuesta anterior fue si, ¿se han hecho estudios de evaluación y acciones de restauración? (Art. 69 LGPGIR) | 0  | 5  |
| 17                    | ¿Se tienen en operación tanques o diques de almacenamiento?                                                        | 0  | 5  |
| 18                    | Si la respuesta anterior fue si, ¿se cuenta con estructuras de control de derrames? (BOPI, Art. 4RLGE EPA AAA)     | 0  | 0  |

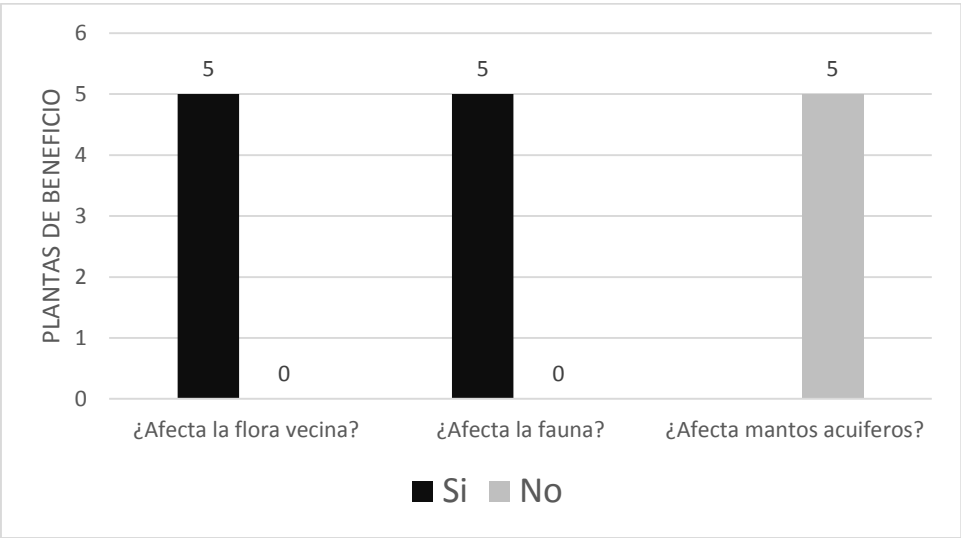
**Fuente:** Investigación de campo.

Debido a la naturaleza del proceso de producción, el cual consiste solo en cambio físico del mineral de carbón, no se utilizan productos químicos por lo tanto la respuesta a la pregunta 14 es que no existen derrames de materiales o residuos peligrosos, sin embargo si hay contaminación de suelos vecinos, pero esta contaminación es por la emisión de finos que de alguna manera se depositan en los suelos vecinos, en este punto la respuesta es que no se han hecho estudios de evaluación ni se han realizado acciones de restauración, así mismo en ninguna de las 5 plantas se tienen en operación tanques de almacenamiento.

**5.1.6. Guía de verificación de impacto ambiental.**

En la gráfica 4 se muestran los resultados de la pregunta 19 de la encuesta la cual está incluida en la guía de verificación de impacto ambiental, esta pregunta está estructurada en tres apartados, flora, fauna y agua.

**Gráfica 4.- Impacto ambiental.**



**Fuente:** Investigación de campo

En la gráfica 4, se puede observar que el total de las plantas encuestadas impactan en la flora y fauna vecina a las plantas de beneficio de carbón mineral, sin embargo el impacto ambiental no tiene problemas en los mantos acuíferos, ya que de las 5 plantas ninguna afecta a los mantos acuíferos.

### 5.1.7. Seguridad Industrial.

En la tabla 11, se presenta los resultados obtenidos en las preguntas 20, 21 y 22, estas preguntas se relacionan con Normas oficiales que deben de cumplirse en todo tipo de instalaciones para garantizar condiciones seguras de trabajo al recurso humano de la empresa, estas preguntas se relacionan con las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-STPS-2008, NOM-004-STPS-1999 y NOM-017-STPS-2008.

**Tabla 11. Condiciones de trabajo.**

| PREGUNTA DE LA ENCUESTA | DESCRIPCION                                                                      | Si | No |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| 20                      | ¿Existen condiciones seguras en el centro de trabajo? NOM-001-STPS-2008          | 0  | 5  |
| 21                      | ¿Se cuentan con sistemas de protección en maquinaria y equipo? NOM-004-STPS-1999 | 5  | 0  |
| 22                      | ¿Se le proporciona al personal equipo de seguridad? NOM-017-STPS-2008?           | 5  | 0  |

**Fuente:** Investigación de campo.

Independientemente que al personal se le proporcione equipo de seguridad en las 5 plantas encuestadas, y haya sistemas de protección en maquinaria y equipo en las mismas 5 plantas, se puede observar en la tabla 12, que no existen condiciones seguras de trabajo en ninguna de las 5 plantas de beneficio, esto se debe a la gran cantidad de finos que se generan en la descarga traslado y trituración del mineral de carbón dentro de las instalaciones, las figuras 4, 5, 6 , 7 y 8 del capítulo 1 representan una evidencia.

### 5.2. Resultados de la matriz de Leopold.

Como se presentó en el marco teórico capítulo II, en el apartado de evaluación de impacto ambiental en el que se hizo referencia a la matriz de Leopold, según (Conesa Fernandez, 2010) la manifestación del efecto de las actividades humanas sobre el ambiente debe ser caracterizada a través de la importancia del impacto, este se mide “en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo tales como; carácter del impacto, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad y certidumbre.

En el apartado de la metodología de la investigación se hizo mención que para estructurar la matriz de Leopold se utilizaría la técnica Delphi, en la tabla 12 se presenta la matriz de Leopold que se obtuvo mediante la utilización el método Delphi.

**Tabla 12. Matriz de Leopold (Valores obtenidos utilizando el Método Delphi)**

| <div>ATRIBUTOS</div> <div>FACTORES</div> |                               | INTENSIDAD |    |    |    | EXTENSION |    |    |    | MOMENTO  |    |    |    | PERSISTENCIA |    |    |   | RECUPERABILIDAD |   |   |    | CERTIDUMBRE |   |   |    |    |    |   |
|------------------------------------------|-------------------------------|------------|----|----|----|-----------|----|----|----|----------|----|----|----|--------------|----|----|---|-----------------|---|---|----|-------------|---|---|----|----|----|---|
|                                          |                               | Expertos   |    |    |    | Expertos  |    |    |    | Expertos |    |    |    | Expertos     |    |    |   | Expertos        |   |   |    | Expertos    |   |   |    |    |    |   |
|                                          |                               | 1          | 2  | 3  | 4  | P*        | 1  | 2  | 3  | 4        | P* | 1  | 2  | 3            | 4  | P* | 1 | 2               | 3 | 4 | P* | 1           | 2 | 3 | 4  | P* |    |   |
| FACTORES ABIÓTICOS                       | Aire                          | -2         | -4 | -3 | -3 | -1        | -1 | -1 | -1 | -1       | -4 | -4 | -4 | -4           | 1  | 1  | 1 | 1               | 1 | 1 | 1  | 1           | 3 | 3 | 3  | 3  |    |   |
|                                          | Tierra                        | 1          | -2 | 0  | -1 | -1        | -1 | -1 | -1 | -1       | -3 | -4 | -2 | -3           | -3 | 4  | 1 | 1               | 2 | 2 | 2  | 1           | 4 | 2 | 3  | 3  | 3  |   |
|                                          | Agua                          | 0          | 0  | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0        | 0  | 0  | 0  | 0            | 0  | 0  | 0 | 0               | 0 | 0 | 0  | 0           | 0 | 0 | 0  | 0  |    |   |
| FACTORES BIÓTICOS                        | Flora                         | -1         | -1 | -1 | -1 | -1        | -1 | -1 | -1 | -1       | -4 | -3 | -2 | -3           | -3 | 2  | 2 | 2               | 2 | 2 | 4  | 1           | 1 | 2 | 2  | 3  | 3  | 3 |
|                                          | Fauna                         | -1         | -1 | -1 | -1 | -1        | -1 | -1 | -1 | -1       | -4 | -2 | -4 | -2           | -3 | 2  | 2 | 2               | 2 | 2 | 2  | 2           | 2 | 2 | 3  | 3  | 3  |   |
| FACTORES SOCIOECONÓMICOS                 | Generación de empleos         | 0          | 0  | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0        | 4  | 4  | 4  | 4            | 4  | 0  | 0 | 0               | 0 | 0 | 0  | 0           | 0 | 0 | 3  | 3  | 3  |   |
|                                          | Condiciones de trabajo        | -3         | -3 | -2 | -4 | -3        | -2 | -4 | -1 | -1       | -2 | -4 | -4 | -4           | -4 | 0  | 0 | 0               | 0 | 0 | 0  | 0           | 0 | 0 | -3 | -3 | -3 |   |
|                                          | Incremento índice demográfico | 0          | 0  | 0  | 0  | 0         | 0  | 0  | 0  | 0        | 0  | 4  | 4  | 4            | 4  | 4  | 0 | 0               | 0 | 0 | 0  | 0           | 0 | 0 | 3  | 3  | 3  |   |
| TOTALES                                  |                               |            |    |    |    | -9        |    |    |    |          | -6 |    |    |              | -9 |    |   |                 |   |   | 7  |             |   |   | 7  |    | 15 |   |
| P* Promedios                             |                               |            |    |    |    |           |    |    |    |          |    |    |    |              |    |    |   |                 |   |   |    |             |   |   |    |    |    |   |

**Fuente:** Elaboración del autor.

Como se mencionó anteriormente, se seleccionaron cuatro expertos para que en base a sus experiencia proporcionaron un valor para cada atributo en los tres factores que son; Bióticos, abióticos y socioeconómicos, se sumaron los cuatro valores proporcionados por los expertos y se obtuvo un promedio de cada atributo en los tres factores.

La importancia del impacto surge de la siguiente fórmula (Conesa Fernandez, 2010)-

$$I = \pm (In + Ex + Mo + Pe + Rv + Ce)$$

Sustituyendo los valores que se obtuvieron en la matriz de Leopold el resultado obtenido es el siguiente:

$$I = 5$$

Como el resultado es menor a 25, la importancia del impacto es irrelevante, sin embargo uno de los expertos hizo mención que si existe un impacto visual.

### 5.3. Aceptación o rechazo de hipótesis.

La aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas en el capítulo de la metodología de la investigación tanto de la general como las específicas, se sustentan en el marco teórico referencial, así como los resultados que arrojaron los dos instrumentos utilizados en esta investigación los cuales son; Encuesta y Matriz de Leopold.

#### 5.3.1. Aceptación o rechazo de la hipótesis general.

La hipótesis general, la cual plantea que un ***modelo de producción más limpia contribuye al desarrollo sustentable***, se acepta por las siguientes razones.

- ***Las políticas*** están formadas por leyes, reglas, normas y regulaciones, estas son, uno de los elementos que integran el diseño del modelo sustentable de producción más limpia que se propone en esta investigación. Y considerando que el desarrollo sustentable independientemente de que incluya componentes científicos-técnicos, también es de carácter normativo en donde están implícitas las políticas, entonces un modelo de producción más limpia contribuye al desarrollo sustentable si incluye en sus elementos las políticas.
- Otro de los elementos que integran el modelo propuesto es el ***diagnóstico***, por medio de este se identificaron un conjunto de problemas en las operaciones de las plantas de beneficio, los cuales se solucionan mediante un sistema sustentable de producción más limpia.
- La ***estrategia*** es un elemento que forma parte del modelo sustentable de producción más limpia propuesto, este consiste en la búsqueda de una posición favorable dentro de una industria, y su finalidad es establecer una posición rentable y sustentable frente a las fuerzas que rigen la competencia en la industria.

- Los tres elementos antes mencionados se tienen que integrar, ya que el **diagnóstico** identifica aquellas **políticas** que no se respetan en las operaciones de las plantas de beneficio de carbón mineral, además identifica las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, información indispensable para desarrollar **estrategias** que consisten en; utilizar tecnologías limpias, minimizar el impacto ambiental, ofrecer condiciones seguras de trabajo al personal que labora en las plantas de beneficio de carbón mineral, etc. De esta manera se tienen las condiciones para el diseño del sistema de producción más limpia que contribuya al desarrollo sustentable.

### 5.3.2. Aceptación o rechazo de hipótesis específicas.

En esta investigación se plantearon tres hipótesis específicas, la primera de ellas es la siguiente.

***Las políticas para desarrollar un modelo sustentable de producción más limpia están en función de leyes, normas y reglamentos.*** Esta hipótesis es aceptada por las siguientes razones:

- Una política está formada por leyes, reglas y regulaciones relacionadas con un problema ambiental, las cuales son desarrolladas, implementadas e impuestas por una o más agencias gubernamentales, y para que las industrias incluyendo las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora, no tengan problemas en sus operaciones deben de cumplir con las regulaciones actuales y anticiparse a regulaciones más estrictas para el cuidado del medio ambiente.
- La encuesta aplicada que es uno de los dos instrumentos utilizados en esta investigación, la cual se basó en las hojas de verificación de impacto del aire, suelo así como ambiental que utiliza la PROFEPA en sus auditorías ambientales además de algunas Normas Oficiales Mexicanas que se deben de respetar para proporcionar condiciones seguras de trabajo, proporciona bastante información sobre leyes, reglamentos y normas que se deben respetar para poder desarrollar un modelo sustentable de producción más limpia.

La segunda hipótesis específica plantea lo siguiente.

***El diagnóstico para desarrollar un modelo sustentable de producción más limpia se realiza utilizando las hojas de verificación, la matriz de Leopold y el análisis del proceso de producción.***

Esta hipótesis es aceptada por las siguientes razones:

- El ***diagnóstico***, visualiza los síntomas de la empresa; sus problemas con causas, consecuencias y efectos, además determina las fortalezas y debilidades en las distintas áreas de la empresa y con base en sus resultados plantea conclusiones y recomendaciones para proyectar la empresa a un estado ideal. En esta investigación se utilizaron las siguientes herramientas para conocer la situación de la empresa; Hojas de verificación, matriz de Leopold y un análisis de los elementos que integran el proceso de producción.
- Los resultados que arrojaron las herramientas utilizadas en el diagnóstico de las cinco plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora, nos permiten conocer la situación en las que estas operan y por lo tanto proponer un modelo sustentable de producción más limpia que contribuya al desarrollo sustentable.

La tercera hipótesis específica fue planteada de la siguiente manera.

***Las estrategias para desarrollar un modelo sustentable de producción más limpia, están en función de la visión, misión y análisis FODA.***

Esta hipótesis específica fue la tercera planteada y se acepta por las siguientes razones.

- Para el diseño de un modelo sustentable de producción más limpia se requiere de una estrategia, de hecho el concepto de producción más limpia establece que es la aplicación continua de una estrategia ambiental, así mismo para el diseño de la

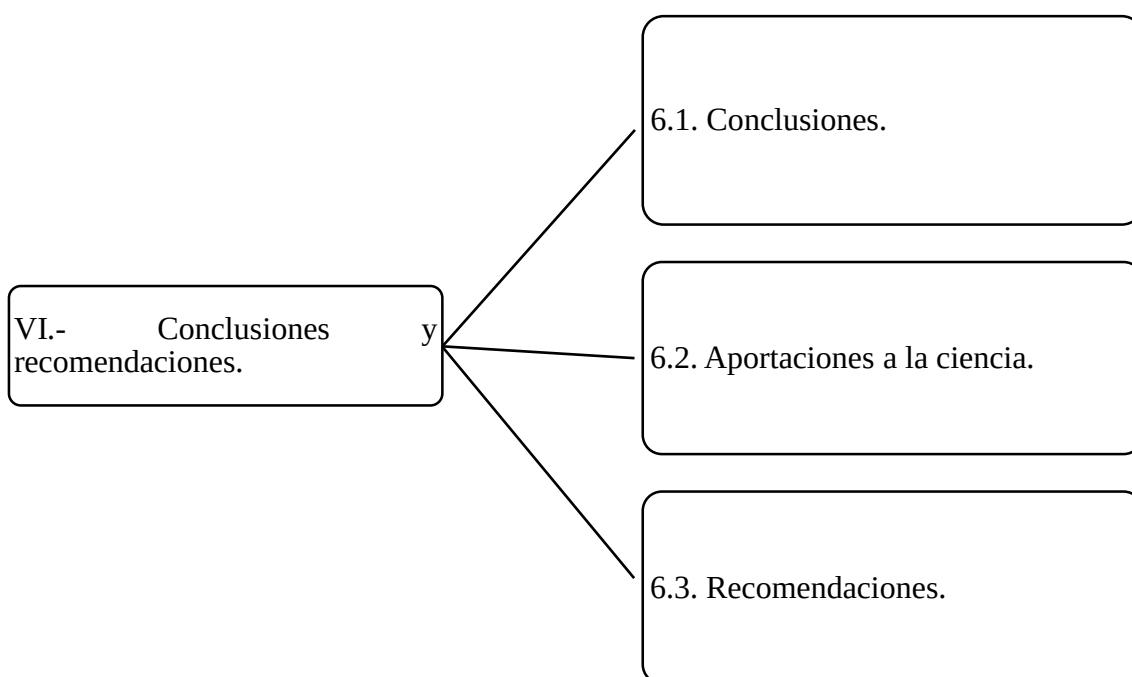
estrategia se requiere de un diagnóstico que permita conocer y determinar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas.

- En el diseño de la estrategia es de suma importancia buscar un equilibrio entre las opuestas necesidades de los grupos que se ven afectados por las operaciones de las plantas de beneficio de carbón mineral, estos grupos son; comunidad, empleados, empresarios, proveedores y clientes. La aplicación de leyes, normas y reglamentos son indispensables para lograr este equilibrio el cual se debe de establecer en la redacción de la misión de la empresa, y en esa redacción se debe de considerar la visión, que es el estado futuro deseado.
- En base a lo anterior se concluye que la misión, visión y el análisis FODA integran la estrategia que permitirá diseñar un modelo sustentable de producción más limpia.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El presente capítulo consiste en un conjunto de conclusiones y recomendaciones, que se fundamentan desde el planteamiento del problema hasta la obtención de los resultados obtenidos en los instrumentos utilizados en esta investigación los cuales son; encuesta aplicada basada en las hojas de verificación que utiliza la PROFEPA en sus auditorías ambientales , así como la matriz de Leopold, primeramente se van a presentar las conclusiones y posteriormente las recomendaciones. En la figura 26 se presenta como está estructurado este capítulo.

**Figura 26.- Conclusiones y recomendaciones.**



**Fuente:** Elaboración del autor.

### 6.1. Conclusiones.

En lo que se refiere al desarrollo sustentable, cuidado del medio ambiente y sistema de producción más limpia, temas tratados ampliamente en el marco teórico de esta investigación las conclusiones son las siguientes:.

- Para que una empresa minera contribuya al desarrollo sustentable debe de considerar una mejor planeación estratégica y de utilizar tecnologías más limpias, y según los resultados obtenidos en las encuestas ninguna de las 5 plantas encuestadas tienen en sus instalaciones tecnologías limpias, por lo tanto las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en la zona centro del estado de Sonora no contribuyen al desarrollo sustentable.
- Para que una industria contribuya al cuidado del medio ambiente debe de cumplir con las regulaciones actuales, y en el caso de las plantas encuestadas estas no cumplen con algunos artículos de la Ley general de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), así como con la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), además de que tampoco cumplen con Normas Oficiales Mexicanas. En la tabla 13, se presentan los artículos con los cuales no se cumplen. Por lo antes expuesto se puede concluir que el cuidado del medio ambiente no es prioritario para los propietarios de las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora.
- En el tema de sistemas de producción más limpia, los resultados que se obtuvieron en los instrumentos aplicados, se puede concluir que ninguna empresa encuestada tiene en sus procesos sistemas de producción más limpia, ya que en todas se generan grandes cantidades de emisiones.
- Debido a que en la operación de las plantas de beneficio de carbón mineral ubicadas en San Javier Sonora, no se tienen en sus instalaciones tecnologías limpias y no se respetan algunas Leyes y Normas Oficiales Mexicanas, entonces estas no contribuyen al desarrollo sustentable.

Como conclusión general, esta investigación nos proporciona información suficiente para garantizar que a las preguntas de investigación planteada en el capítulo 1 se le ha dado una respuesta puntual, además los objetivos planteados se han logrado y el problema planteado, se puede solucionar mediante el **“Diseño de un modelo de producción más limpia, para lograr el desarrollo sustentable”**, en las operaciones de las plantas de beneficio de carbón mineral en el municipio de San Javier Sonora.

**Tabla 13.- Artículos que no se cumplen en la operación de las plantas de beneficio de carbón mineral, ubicadas en San Javier Sonora.**

| LEY                                                                        | ARTÍCULO     | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)      | 10           | Serán responsables del cumplimiento de las disposiciones del Reglamento y de las normas técnicas ecológicas que de él se deriven, las personas físicas o morales, públicas o privadas, que pretendan realizar o que realicen obras o actividades por las que se emitan a la atmósfera olores, gases o partículas sólidas o líquidas.                                                               |
|                                                                            | 17           | Los responsables de las fuentes fijas de jurisdicción federal, por las que se emitan olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera estarán obligados a: I.- Emplear equipos y sistemas que controlen las emisiones a la atmósfera, para que éstas no rebasen los niveles máximos permisibles establecidos en las normas técnicas ecológicas correspondientes                        |
|                                                                            | 23           | Las emisiones de contaminantes atmosféricos que se generen por las fuentes fijas de jurisdicción federal, deberán canalizarse a través de ductos o chimeneas de descarga. Cuando por razones de índole técnica no pueda cumplirse con lo dispuesto por este artículo, el responsable de la fuente deberá presentar a la Secretaría un estudio justificativo para que ésta determine lo conducente. |
|                                                                            | 110          | Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios: I. La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; y II. Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser                                                                                   |
| Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) | 69           | Los responsables de la operación de una instalación de disposición final de residuos peligrosos darán aviso a la Secretaría dentro del año anterior del cierre de operaciones, en escrito que contenga el nombre, denominación o razón social; número de registro o autorización según sea el caso.                                                                                                |
|                                                                            | 70           | La información a que se refieren los dos artículos anteriores será revisada por la Secretaría, la cual podrá ordenar, en un plazo no mayor a un año, la inspección física de las instalaciones y del sitio en donde éstas se ubican con el fin de inspeccionar que se hayan observado las disposiciones aplicables.                                                                                |
| Norma Oficial Mexicana (NOM)                                               | 001-STPS-200 | Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo Condiciones de seguridad. Su objetivo Establecer las condiciones de seguridad de los edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo para su adecuado funcionamiento y conservación, con la finalidad de prevenir riesgos a los trabajadores.                                                              |

**Fuente:** Autor citando (LGEEPA, LGPGIR, NOM)

## 6.2. Implicaciones para la ciencia.

Para la ciencia esta investigación contribuye teórica, metodológicamente y con los resultados obtenidos en los dos instrumentos de medición, para que los propietarios de las plantas de beneficio de carbón mineral desarrollen e implementen estrategias que les permitan trabajar en armonía con el medio ambiente y se logre un desarrollo sustentable por medio de un sistema de producción más limpia.

Se considera importante destacar que el modelo obtenido se puede aplicar a otros procesos de producción, adaptándolo de acuerdo a sus características.

Uno de los hallazgos más importantes en esta investigación, consistió en descubrir que a partir de que se ha incrementado la explotación del carbón mineral en esta zona de Sonora la población en el municipio de San Javier se ha incrementado. En la tabla 14 se muestra como ha crecido la población entre los censos del 2000 y del 2010, y como se ha incrementado la producción de carbón en el periodo del 2006-2010.

**Tabla 14. Producción de carbón (2006-2010) Población en San Javier Sonora (2000-2010).**

| <b>AÑO</b> | <b>PRODUCCION DE CARBON<br/>(Miles de toneladas)</b> | <b>POBLACION EN SAN<br/>JAVIER SONORA</b> |
|------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 2000       | No disponible                                        | 279                                       |
| 2001       | No disponible                                        |                                           |
| 2002       | No disponible                                        |                                           |
| 2003       | No disponible                                        |                                           |
| 2004       | No disponible                                        |                                           |
| 2005       | No disponible                                        |                                           |
| 2006       | 56000                                                |                                           |
| 2007       | 130000                                               |                                           |
| 2008       | 153750                                               |                                           |
| 2009       | 211300                                               |                                           |
| 2010       | 228300                                               | 489                                       |

**Fuente:** INEGI y Secretaría de Economía del Estado de Sonora

### **6.3. Recomendaciones.**

Con base a los resultados del estudio, se considera pertinente realizar las siguientes recomendaciones:

- Que se realicen auditorías ambientales a las plantas objetos de estudio para garantizar que cumplan con leyes y reglamentos que regulen su funcionamiento de estas, estas auditorías pueden contribuir para que en las plantas de beneficio de carbón mineral se utilicen tecnologías limpias y contribuyan al desarrollo

sustentable, no hay que perder de vista que el desarrollo sustentable independientemente de que incluya componentes científicos – técnicos, no es un principio de carácter científico-técnico , más bien es de carácter meramente normativo.

- Si bien es cierto la matriz de Leopold nos arrojó un resultado que nos indica que la importancia del impacto ambiental es irrelevante ya que es menor a 25, se recomienda que en las plantas de beneficio de carbón mineral se instalen tecnologías limpias, de esta manera se cumpliría con el nuevo paradigma de la gestión ambiental el cual se enfoca en la prevención de la contaminación mediante la utilización de tecnologías más limpias.
- Proporcionar cursos de capacitación sobre los temas aquí presentados, a directivos y personal que trabaja en las plantas de beneficio de carbón mineral, para mejorar la sostenibilidad en las operaciones mineras.

Además de las recomendaciones anteriores en la tabla 15, se presentan una serie de recomendaciones las cuales tienen sustentos en los resultados obtenidos de las encuestas y la matriz de Leopold.

**Tabla 15. Recomendaciones para lograr el desarrollo sustentable mediante un modelo de producción más limpia.**

| ELEMENTOS                                   | DIMENSIONES     | RESULTADOS                                                                                                                       | RECOMENDACIÓN                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sistema de producción                       | Procesos        | Generan emisiones, y no se hace un uso eficiente de recursos                                                                     | Instalar tecnologías limpias                                                                                                                               |
|                                             | Actividades     | Muy elementales                                                                                                                  | Mejorar métodos de trabajo                                                                                                                                 |
|                                             | Materiales      | No se utilizan materiales tóxicos                                                                                                | Eliminar desperdicios                                                                                                                                      |
| Listas de verificación                      | Aire            | Contaminado por emisiones                                                                                                        | Instalacion de tecnologías limpias y cumplir con leyes y reglamentos                                                                                       |
|                                             | Tierra          | Suelos contaminados                                                                                                              |                                                                                                                                                            |
|                                             | Ambiente        | Afectación de flora y fauna                                                                                                      |                                                                                                                                                            |
| FODA                                        | Fortalezas      | Impacto ambiental irrelevante, recurso humano capaz, unica zona en México donde hay antracita que es un carbón de mejor calidad. | Generar un programa de Planeación Estratégica                                                                                                              |
|                                             | Oportunidades   | Existen disponibles tecnologias limpias, el mineral que se explota tiene bastantes usos y se formo un cluster minero en Sonora   |                                                                                                                                                            |
|                                             | Debilidades     | Tecnología muy básica y obsoleta, no se tienen instalados equipos que minimicen el impacto ambiental.                            |                                                                                                                                                            |
|                                             | Amenazas        | Condiciones inseguras de trabajo, auditoras ambientales, malestar en la poblacion vecina por emisiones que se generan            |                                                                                                                                                            |
|                                             |                 |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |
| Matriz de Leopold                           | Intensidad      | Intermedia                                                                                                                       | Independientemente de que la Matriz de Leopold nos generó un resultado con un impacto ambiental mínimo, se debe de considerar que existe un impacto visual |
|                                             | Extensión       | impacto puntual                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |
|                                             | Momento         | Inmediato                                                                                                                        |                                                                                                                                                            |
|                                             | Persistencia    | Temporal                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |
|                                             | Recuperabilidad | Mediano plazo                                                                                                                    |                                                                                                                                                            |
|                                             | Certidumbre     | Cierto                                                                                                                           |                                                                                                                                                            |
| Modelo sustentable de producción más limpia |                 |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |
| RESULTADOS                                  |                 |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                            |
| Desarrollo sustentable                      | Social          | Combate a la pobreza ya que se generan empleos.                                                                                  | Generar empleos bien remunerados y con prestaciones, asi como condiciones seguras de trabajo                                                               |
|                                             | Economica       | Se generan empleos                                                                                                               |                                                                                                                                                            |
|                                             | Tecnologica     | No se utilizan tecnologias limpias                                                                                               | Instalar tecnologías limpias                                                                                                                               |
|                                             | Ambiental       | Según el resultado de la matriz de Leopold es irrelevante                                                                        | Mejorar el indicador que se obtuvo en la Matriz de Leopold                                                                                                 |
|                                             | Institucional   | No se respetan leyes ambientales, asi como tampoco Normas Oficiales mexicanas (NOM)                                              | Cumplir con leyes, reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas                                                                                                |

**Fuente:** Elaboración del autor.

Si los responsables de tomar decisiones en la operación de una planta de beneficio de carbón mineral, atienden todas las recomendaciones mencionadas en la tabla anterior, se puede implementar un modelo de producción más limpia, para lograr el desarrollo sustentable, en las operaciones de las plantas de beneficio de carbón mineral en el municipio de San Javier Sonora.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (22 de Mayo de 2015). Obtenido de [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_220515.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf)
- BP. (2014). *BP Statistical Review of World Energy*. London: British Petroleum.
- Braidot, N. (2003). *Desarrollo de una metodología de diagnóstico para empresas PYMES, industriales y de servicios*. Buenos Aires: Universidad de General Sarmiento.
- Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (22 de Mayo de 2015). Obtenido de [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_220515.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf)
- Carbones del Guasare. (2006). Obtenido de [www.guasare.com](http://www.guasare.com)
- Carbones del Guasare S. A. (2006). Recuperado el mayo de 2014, de [www.guasare.com](http://www.guasare.com)
- Carranza, M., Hernandez, M., Huerta, M., & Suppen, N. (2004). *Envoronmental Management and Life Cycle Approaches in the Mexican Mining Industry*.
- Carrion Maroto, J. (2007). *Estrategia de la Vision a la Acción*. Madrid: ESIC.
- Catelin, M. (2010). 2010 Survey of Energy Resources. *World Energy Council*, 10.
- Chia, C. H. (2007). The delphi Technique: Making Sense of Consensus. *Practical <assessment, Research & Evaluation*, 2-8.
- Conesa Fernandez, V. (2010). *Guía Metodologica Para La Evaluacion Del Impacto Ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Cooney, J. P. (2000). People, participation and partnership. *CIM Bulletin*, 46-48.
- Corona, R., Benavides, M. E., Tritlla, J., & Piedad, N. F. (2006). Geología, estructura y composición de los principales yacimientos de carbón mineral en México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 141-160.
- Cota, I. D. (2008). El Estudio de Impacto Ambiental: Características y Metodologías. *Redalyc*, 125-135.
- Delbecq, A., Van de Ven, A., & Gustafson, D. (1975). *Group techniques for program planning*. Foresman.
- Douglas, D. (1983). *A comparative study of the effectiveness of decision making processes which utilize the Delphi and leaderless group methodologies*. Columbus: The Ohio State University.
- Dumble, E. T. (1899). Notes on the Geology of Sonora. *Institute Mining Engineers*, Vol XXIX.
- Eggert, R. (2000). *Sustainable Development and the Mineral Industry*. France: UNEP.
- Epps, J. M. (1997). The social agenda in mine development. *Industry and Environment*, 32-35.

- Espinoza, C. (2007). Cleaner Production Excellence Model. *Sustainable Business Associates (SBA)*, 1-22.
- Feltham, C. (2004). *Electricity generation : New Zealand and selected OECD countries*. Wellington, New Zealand: Parliamentary Library.
- Fernández, E., Avelia, L., & Fernández, M. (2003). *Estrategia de Producción*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Fleitman, J. (2000). *Negocios exitosos: Cómo empezar, administrar y operar eficientemente un negocio*. México: McGraw-Hill.
- Flores, & Galicia, E. (1988). Geología y Reservas de los Yacimientos de Carbón en la Republica Mexicana. *Geología de México*.
- Flores, T. (1930). Reconocimientos Geologicos en la Región Central del Estado de Sonora. *Boletin del Instituto de Geologia de la UNAM*.
- Garrod, B., & Chadwick, P. (1996). Environmental management and business strategy. *Futures*, 37-50.
- Grinnell, R. (1977). *Social Work Research & Evaluation: Quantitative and Qualitative Approaches*. Ithaca: E.E Peacock Publishers.
- Grinnell, R., Unrau, Y., & Williams, M. (2009). *Research Methods for BSW Students*. Kalamazoo, MI: Pair Bond Publications.
- Guiltiman, J., & Gordon, P. (2005). *Gerencia de marketing, estrategias y programas*. Bogotá: Mc Graw Hill.
- Gutierrez Tamayo, A., & Sanchez Mazo, L. (2008). *Sentidos Contemporáneos de la Planeación y el Desarrollo. Planeación Para el Desarrollo Integral del Territorio*. Bitacora 13.
- Gutierrez, J. (1 de Diciembre de 2011). Evaluacion de la incidencia de la explotación carbonifera de Guasare en la contaminacion del aire del Estado de Zulia, Venezuela. *Formando Investigadores*, 36-40.
- Hale, M. (1995). Training for environmental technologies and environmental management. *Journal of Cleaner Production*, 19-23.
- Hall, R., & Woolhouse, R. (1983). *80 years of Locke Scholarship, A Bibliographical Guide*. Edimburgo.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodologia de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Hess, A. (2007). *Sensibilidad Urbana Ambiental, contaminación sonora y visual*. Resistencia: Universidad Nacional del Nordeste.

- Hill, C., & Jones, G. (2011). *Administración Estratégica. Un enfoque Integral*. Mexico: Cengage Learning.
- Hilson, G., & Murck, B. (2000). Sustainable development in the mining industry: Clarifying the corporate perspective. *Reosurces Policy*, 26-38.
- Hopeman, R. (2002). *Administracion de Producción y Operaciones*. México: Compañía Editorial Continental.
- <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm>. (s.f.).
- Isunza, A. (1987). *Mineria en Fresnillo*. Zacatecas, México: Mignon Offset.
- Jackson, T. (1993). *Clean Production Strategies*. Florida: Lewis.
- Jackson, T. (1993). *Clean Production Strategies*. United State: Lewis.
- Jacobs, J. (1996). Essential assessment criteria for physical education teacher educations programs. Morgantown, Virginia, USA.
- Kasuo, E., & Securato, J. (1997). *Método Delphi: Fundamentos, cr'íticas e vieses*. Sao Paulo: Cadernos de Pesquisa en Administración.
- Kennedy, J. F. (23 de Febrero de 1961). *The American Presidency Project*. Obtenido de <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=8466>.
- Kenneth, A. (1980). *The Concept of Corporate Strategy*. New York: Richard Irwin, Inc.
- Koontz, H., & Weihrich, H. (2001). *Administración una perspectiva global*. México: Mc Graw Hill.
- Kotler, P. (2006). *Direccion de mercadotecnia*. Mexico: Prentice Hall.
- Kotler, P., & Armstrong, G. (2007). *Marketing. Versión Latinoamerica*. Mexico: Pearson.
- Kotler, P., & Armstrong, G. (2008). *Fundamentos de Marketing*. México: Pearson Educación.
- Labonne, B. (1999). The mining industry and the community; joining forces for sustainable social development. *Natural Resources Forum*, 315-322.
- Landeta, J. (1999). *El método Delphi*. Barcelona: Ariel.
- León, O., & Montero, I. (2003). *Métodos de investigación en Psixología y Educación*. Madrid: Mc Graww-Hill.
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. B. (1971). A Procedure for Evaluating Environmental Impact. *Geological Survey*.
- Ludwig, B. (1994). *Internationalizing Extension: An exploration of the characteristics evident in a state university*. Columbus: The Ohio State University.

- Martinez, M. (Mayo de 2005). *Gestiopolis.com*. Obtenido de [http://www.inteligenciacolectiva.org/principal\\_proyectos\\_metodologia\\_delphi](http://www.inteligenciacolectiva.org/principal_proyectos_metodologia_delphi)
- Masters, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental*. Madrid España: Pearson Prentice Hill.
- Mayntz, R., Holm, k., & Hubner, P. (1988). *Introducción a los Métodos de la Sociología Empírica*. Madrid: Alianza Universidad.
- McAllister, M., Scoble, M., & Veiga, M. (1999). Sustainability and the Canadian mining industry at home and abroad. *CIM Bulletin*, 85-92.
- Miller, G. T. (2009). *Ciencia Ambiental Desarrollo Sostenible Un Enfoque Integral*. Mexico: Cengage Learning.
- Moyasevich, I. (2007). Obtenido de [http://perso.wanadoo.es/idmb/index\\_cipod.html](http://perso.wanadoo.es/idmb/index_cipod.html)
- Muñiz Gonzales, R. (2010). *Marketing en el siglo XXI*. Madrid: Centro de estudios financieros.
- ONU. (2010). *Resolución Aprobada Por a Asamblea General el 21 de Diciembre del 2009*. New York: Asamblea General.
- Porter, M. (2004). *Ventaja Competitiva*. Mexico: CECSA.
- Radrigan, M. (2005). *Metodología de la Investigación*. México: Nueva Lente.
- Robles I., J. C., Borbón S., R. R., Medellín P., A., & Calles M., F. (2011). *Desarrollo, innovación, organización y gestión socioeconómica del noroeste de México*. Hermosillo, Sonora, México: Pearson.
- Salinas, D., & Muñoz, C. (2014). La industria del carbón y su competitividad con el GNL. *BdE*, 1-14.
- Schermerson, J. (2006). *Administración*. México: LIMUSA.
- Secretaria de Economía del Estado de Sonora. (2014). *La Minería en Sonora 2006-2014*. Hermosillo, Sonora: Secretaria de Economía.
- Selltiz, C., & Wrightsman, L. (1980). *Métodos de la investigación en las relaciones sociales*. Madrid: Rialp.
- Steiner, G. A. (1995). *Planeación Estratégica*. Mexico: CECSA.
- The University Of Queensland. (11 de April de 2010). *Koala Aventure*. Recuperado el 2 de abril de 2013, de <http://www.koalaventure.com/?page=248>
- Turoff, M. (1996). *Computer Based Delphi process*. London: E. Ziglio.
- Van Berkel, R. (2000). Integrating the environmental and sustainable development agendas into minerals education. *Journal of Cleaner Production*, 413-423.

- Vidal, E., & Franco, J. (2009). *Impacto Ambiental. Una Herramienta Para el desarrollo Sustentable*. México: AGT Editor, S. A.
- WCED. (1987). *Our Common Future. World Commission on Environment and Development*. Oxford, UK: Oxford University press.
- Wheelen, T., & Hunger, D. (2013). *Administración Estratégica y Política de Negocios*. Bogota: Pearson.
- Wilson, I. F. (1946). *Los Yacimientos de Carbón en la Región de Santa Clara, Municipio de San Javier, Estado de Sonora*. Comité Directivo Para la Investigación de los Recursos Minerales en México, Boletín Número 9.
- Wilson, I. T., & Rocha, V. S. (1946). Los Yacimientos de Carbón de la Región de Santa Clara, Municipio de San Javier, Estado de Sonora. *Comité Directivo Para la Investigación de los Recursos Minerales en México*.
- World Coal Institute. (2005). *El carbón como recurso, una visión general del carbón*. Instituto mundial del carbón. Londres: WCI.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Yacimientos de Carbón mineral en el mundo



## Anexo 2 Reservas de Carbon a finales del 2013

| PAIS                                  | BITUMINOSOS<br>Y ANTRACITA | SUBITUMINOSOS<br>Y LIGNITO | TOTAL         | PORCENTAJE   |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|--------------|
| US                                    | 108501                     | 128794                     | 237295        | 26.6%        |
| Canada                                | 3474                       | 3108                       | 6582          | 0.7%         |
| Mexico                                | 860                        | 351                        | 1211          | 0.1%         |
| <b>Total North America</b>            | <b>112835</b>              | <b>132253</b>              | <b>245088</b> | <b>27.5%</b> |
| Brazil                                | -                          | 6630                       | 6630          | 0.7%         |
| Colombia                              | 6746                       | -                          | 6746          | 0.8%         |
| Venezuela                             | 479                        | -                          | 479           | 0.1%         |
| Other S. & Cent. America              | 57                         | 729                        | 786           | 0.1%         |
| <b>Total S. &amp; Cent. America</b>   | <b>7282</b>                | <b>7359</b>                | <b>14641</b>  | <b>1.6%</b>  |
| Bulgaria                              | 2                          | 2364                       | 2366          | 0.3%         |
| Czech Republic                        | 181                        | 871                        | 1052          | 0.1%         |
| Germany                               | 48                         | 40500                      | 40548         | 4.5%         |
| Greece                                | -                          | 3020                       | 3020          | 0.3%         |
| Hungary                               | 13                         | 1647                       | 1660          | 0.2%         |
| Kazakhstan                            | 21500                      | 12100                      | 33600         | 3.8%         |
| Poland                                | 4178                       | 1287                       | 5465          | 0.6%         |
| Romania                               | 10                         | 281                        | 291           | w            |
| Russian Federation                    | 49088                      | 107922                     | 157010        | 17.6%        |
| Spain                                 | 200                        | 330                        | 530           | 0.1%         |
| Turkey                                | 322                        | 8380                       | 8702          | 1.0%         |
| Ukraine                               | 15351                      | 18522                      | 33873         | 3.8%         |
| United Kingdom                        | 228                        | -                          | 228           | w            |
| Other Europe & Eurasia                | 1436                       | 20757                      | 22193         | 2.5%         |
| <b>Total Europe &amp; Eurasia</b>     | <b>92557</b>               | <b>217981</b>              | <b>310538</b> | <b>34.8%</b> |
| South Africa                          | 30156                      | -                          | 30156         | 3.4%         |
| Zimbabwe                              | 502                        | -                          | 502           | 0.1%         |
| Other Africa                          | 942                        | 214                        | 1156          | 0.1%         |
| Middle East                           | 1122                       | -                          | 1122          | 0.1%         |
| <b>Total Middle East &amp; Africa</b> | <b>32722</b>               | <b>214</b>                 | <b>32936</b>  | <b>3.7%</b>  |
| Australia                             | 37100                      | 39300                      | 76400         | 8.6%         |
| China                                 | 62200                      | 52300                      | 114500        | 12.8%        |
| India                                 | 56100                      | 4500                       | 60600         | 6.8%         |
| Indonesia                             | -                          | 28017                      | 28017         | 3.1%         |
| Japan                                 | 337                        | 10                         | 347           | w            |
| New Zealand                           | 33                         | 538                        | 571           | 0.1%         |
| North Korea                           | 300                        | 300                        | 600           | 0.1%         |
| Pakistan                              | -                          | 2070                       | 2070          | 0.2%         |
| South Korea                           | -                          | 126                        | 126           | w            |
| Thailand                              | -                          | 1239                       | 1239          | 0.1%         |
| Vietnam                               | 150                        | -                          | 150           | w            |

|                           |               |               |               |               |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Other Asia Pacific        | 1583          | 2125          | <b>3708</b>   | 0.4%          |
| <b>Total Asia Pacific</b> | <b>157803</b> | <b>130525</b> | <b>288328</b> | <b>32.3%</b>  |
| <b>Total World</b>        | <b>403199</b> | <b>488332</b> | <b>891531</b> | <b>100.0%</b> |

**Fuente:** (BP, 2014)

### Anexo 3. Yacimientos de carbón mineral en México



#### Anexo 4. Yacimientos de carbón mineral en el Estado de Sonora



## Anexo 5.- Solicitud de información a PROFEPA



Hermosillo Sonora 25 agosto 2014

Lic. Jorge Carlos Flores Mengo  
Delegado de PROFEPA  
Lic. Raúl Salido Campoy  
Subdelegado de Auditoría Ambiental  
P R E S E N T E.-

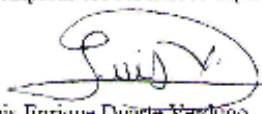
Estimado Lic. Salido Campoy, es un gusto saludarlo y aprovecho este medio para solicitarle de la manera mas atenta su apoyo para obtener información sobre auditorías ambientales que se han realizado en plantas de beneficio de carbón mineral en el Estado de Sonora, desde 2010 a la fecha, la información que requerimos se encuentra en las siguientes guías utilizadas en su dependencia:

- Guía de verificación del aire.
- Guía de Verificación del cumplimiento en materia suelo.
- Guía de verificación de impacto ambiental.
- Guía de verificación del agua.

Esta información servirá como base estadística de la tesis de doctorado titulada "Diseño de un sistema de producción mas limpia en plantas de beneficio de carbón mineral en la Zona Centro del Estado de Sonora" en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP) suscrita por un servidor M.A. Luis Enrique Duarte, siendo el Director de la Tesis el Dr. Juan Carlos Robles Ibarra (Cédula 722572) profesor de la Universidad de Sonora.

El producto terminado de esta investigación consiste en una propuesta de implementar sistemas de producción más limpia en las operaciones de estas plantas, así mismo el uso que se hará de la información solicitada es 100% académica.

Sin más por el momento y agradeciendo las atenciones a esta solicitud me despido quedando a sus órdenes, y haciendo el compromiso de compartir los resultados esperados en esta investigación con la Institución que ustedes representan.

  
C. Dr. Luis Enrique Duarte Verdugo  
Expediente UPAEP 40600107  
Profesor de la Universidad de Sonora  
Cédula Prof. 6394779  
Email: [leduarte@prodjay.net.mx](mailto:leduarte@prodjay.net.mx)  
Celular: 6621400258

## Anexo 6.- Respuesta de PROFEPA a solicitud de información



DELEGACIÓN EN EL ESTADO DE SONORA  
SUBDELEGACIÓN DE AUDITORÍA AMBIENTAL

Fecha de Clasificación 15/09/14  
Unidad Administrativa Deleg. Son.  
Reservada 1 a la 1  
Periodo de Reserva 4 años  
Fundamento Legal LPI Arts. 82, 84 y  
85; LFTAIPG Art 14 Fracc. I y II  
LGEPA  
Ampliación del periodo de reserva  
NO APLICA  
Confidencial: X  
Fundamento Legal: 18 Fracc. IV II  
LFTAIPG  
Rúbrica del Titular de la Unidad:  
LAE, Raúl Salido Campoy  
Subdelegado de Auditoría Amb.  
Fecha de desclasificación:  
Rúbrica y cargo del Servidor público

OFICIO N° PFPA/32.4/15.3/0057-14

Hermosillo, Sonora, a 15 de Septiembre de 2014

**Dr. LUIS ENRIQUE DUARTE VERDUGO**  
**PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**Presente.**

Me es grato saludarle y comentarle que con respecto a su solicitud mediante documento de fecha 25 de Agosto de 2014 bajo Expediente UPAEP 40600117, en el cual manifiesta su interés por obtener información relacionada con auditorías ambientales en los rubros de aire, suelo y subsuelo, impacto ambiental y agua, que se han realizado en plantas de beneficio de carbón mineral en el Estado de Sonora, desde el 2010 a la fecha le informe lo siguiente:

En revisión exhaustiva en expedientes que obran en la Subdelegación de Auditoría Ambiental de esta Delegación en Estado de Sonora **no se encontró evidencia alguna de que se haya efectuado auditoría ambiental alguna en plantas de beneficio de carbón mineral**, además de que en caso de que así fuera, la **LEY DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL**, nos lo impediría.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**EL DELEGADO FEDERAL EN EL ESTADO DE SONORA.**

  
**LIC. JORGE CARLOS FLORES MONGE**

C.c.p. MINUTARIO Y ARCHIVO.  
JCFM/RSC/erl

Luis Donaldo Colosio esquina Circuito Interior Poniente Negoplaza Edificio B, Segundo Piso Colonia Villa Satélite, C.P. 83200, Hermosillo, Sonora Tels. 01 (622) 217 5454, 53 y 59 o lada sin costo 01 800 215 0431 [www.profeпа.gob.mx](http://www.profeпа.gob.mx)

## Anexo 7. Guía de verificación del aire

| No | Descripción de la Obligación | SI | NO | Criterio de NO Cumplimiento | Observaciones |
|----|------------------------------|----|----|-----------------------------|---------------|
|----|------------------------------|----|----|-----------------------------|---------------|

### RECORRIDO POR LAS INSTALACIONES

|                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |  |  |  |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| RA1                                | ¿En la instalación se generan olores, polvos, neblinas, gases, vapores, humos u otras emisiones a la atmósfera?<br>Art. 10 RLGEPAATM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |
| RA2                                | ¿La instalación cuenta con equipos de calentamiento que utilizan combustibles (calentadores, calderas, boilers, generadores de vapor, etc.), cuya suma de capacidad calorífica es mayor a 10 Caballos Caldera (C.C.)?.<br>Numeral 2 de la NOM-085-SEMARNAT-1994                                                                                                                                                                                                                 |  |  |  |  |
| RA3                                | ¿La instalación cuenta con equipos diferentes a calentamiento que generen partículas a la atmósfera?<br>Numeral 2 de la NOM-043-SEMARNAT-1993                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |
| RA4                                | ¿La instalación cuenta con equipos que generen compuestos orgánicos volátiles, humos de soldadura, olores o gases distintos al de combustión?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |
| RA5                                | ¿Las emisiones están conducidas?.<br>Art. 23 RLGEPAATM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |  |  |
| RA6                                | ¿Existe algún tipo de impregnación en los ductos de descarga?<br>BOPI, Art. 4 RLGEPAATM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |
| RA7                                | ¿Existen emisiones fugitivas?, describa sus características.<br>Art. 23 RLGEPAATM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |
| RA8                                | En las emisiones conducidas, ¿se cuenta con Puertos y Plataformas de Muestreo?.<br>Art. 17FIII RLGEPAATM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |
| RA9                                | ¿Se cuenta con equipos de control de emisiones?.<br>rt. 17FI RLGEPAATM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |  |  |
| RA10                               | ¿Se detecta presencia de contaminantes a la atmósfera en las áreas vecinas?<br>Art. 110 LGEPA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |  |
| RA11                               | ¿Los puertos de muestreo cumplen con la norma mexicana NMX-AA-009-SCFI-1993 en cuanto a que deben colocarse a una altura tal que conserve la relación de 8 diámetros corriente arriba de la última perturbación del flujo, y dos diámetros de salida o bien, que el ducto tenga al menos dos diámetros corriente abajo del puerto de muestreo (desde la última perturbación o cambio de dirección del flujo), y al menos un diámetro corriente arriba?.<br>NMX-AA-009-SCFI-1993 |  |  |  |  |
| CHIMENEAS CON DIAMETRO >= A 30 CMS |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |  |  |  |
| RA12                               | ¿Las plataformas de las chimeneas (diámetro ≥ 30 cm.) cuentan con escalerilla de ascenso capaz de soportar 400 Kg?<br>Punto 1.1 CCAT-FF-001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |  |  |  |
| RA13                               | ¿Las plataformas cuentan con las dimensiones y espacios adecuados para maniobrar el equipo semiautomático de muestreo?<br>Punto 1.2 CCAT-FF-001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |  |  |  |
| RA14                               | ¿Cuentan con plataforma y número de puertos adecuados a las características de la chimenea?<br>Punto 1.3 CCAT-FF-001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |  |  |
| RA15                               | ¿En la chimenea se cuenta con contacto monofásico para suministro de corriente eléctrica?<br>Punto 1.4 CCAT-FF-001                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  |  |

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| RA16                              | ¿Se cuenta con suficiente iluminación y protección necesaria para evitar cortos circuitos?<br>Punto 1.5 CCAT-FF-001                                                                                                                     |  |  |  |  |
| RA17                              | ¿Se cuentan con argolla colocada a 2 m. del punto de muestreo y en línea vertical?<br>Punto 1.6 CCAT-FF-001                                                                                                                             |  |  |  |  |
| RA18                              | ¿Se cuenta con los puertos necesarios de acuerdo a los ductos o chimeneas circulares?<br>Punto 2.1 CCAT-FF-001                                                                                                                          |  |  |  |  |
| RA19                              | ¿Se cuenta con los puertos necesarios de acuerdo a los ductos o chimeneas que no sean circulares?<br>Punto 2.2 CCAT-FF-001<br>Punto A-2.2 CCAT-FF-001                                                                                   |  |  |  |  |
| RA20                              | ¿El diámetro de los puertos es el adecuado de acuerdo a las características de la sección transversal de la chimenea (secciones cuadradas o rectangulares)?<br>Punto 2.3 CCAT-FF-001<br>Punto A-2.3 CCAT-FF-001                         |  |  |  |  |
| RA21                              | ¿El diámetro de los puertos es el adecuado de acuerdo a las características de la sección transversal de la chimenea (secciones que no sean circulares, cuadradas o rectangulares)?<br>Punto 2.4 CCAT-FF-001<br>Punto A-2.4 CCAT-FF-001 |  |  |  |  |
| RA22                              | ¿Cuentan con mecanismos para normalizar el flujo en caso de no existir flujo vertical a la altura de los puertos?<br>Punto 2.7 CCAT-FF-001                                                                                              |  |  |  |  |
| CHIMENEAS CON DIAMETRO < A 30 CMS |                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |  |
| RA23                              | ¿Las plataformas de las chimeneas (diámetro $\leq$ 30 cm.) cuentan con escalerilla de ascenso capaz de soportar 150 Kg?<br>Punto A-1.1 CCAT-FF-001                                                                                      |  |  |  |  |
| RA24                              | ¿En la chimenea se cuenta con contacto monofásico para suministro de corriente eléctrica?<br>Punto A-1.4 CCAT-FF-001                                                                                                                    |  |  |  |  |
| RA25                              | ¿Se cuenta con suficiente iluminación y protección necesaria para evitar cortos circuitos?<br>Punto A-1.5 CCAT-FF-001                                                                                                                   |  |  |  |  |
| RA26                              | ¿Las perforaciones para muestrear son de 4 cm?<br>Punto A-2.6 CCAT-FF-001                                                                                                                                                               |  |  |  |  |

Fuente: PROFEPA

**NOMENCLATURA:**

**RLGEPAATM.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

**RLGEPA AAA.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Auditoría Ambiental.

**LGEEPA.-** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

**LF.-** Licencia de funcionamiento.

**LAU.-** Licencia Ambiental Única

**DOPI.-** Buenas prácticas de operación e ingeniería

## Anexo 8. Guía de Verificación del cumplimiento en materia suelo

| No | Descripción de la Obligación | SI | NO | Criterio de NO Cumplimiento | Observaciones |
|----|------------------------------|----|----|-----------------------------|---------------|
|----|------------------------------|----|----|-----------------------------|---------------|

### RECORRIDO POR LAS INSTALACIONES

|      |                                                                                                                                                                                                |  |  |  |  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| RC1  | ¿Existen derrames de materiales o residuos peligrosos en suelo natural, pisos de concreto o de cualquier otro tipo?<br>Art. 70 LGPGIR                                                          |  |  |  |  |
| RC2  | ¿Existen áreas sin recubrimiento en las instalaciones de la empresa donde se manejen o almacenen sustancias peligrosas o con potencial de contaminación en el suelo?<br>BOPI, Art. 4 RLGEPPAAA |  |  |  |  |
| RC3  | ¿En las vecindades hay existencia de suelos contaminados?<br>Art. 70 LGPGIR                                                                                                                    |  |  |  |  |
| RC4  | ¿Hay residuos depositados en suelo natural?<br>Art. 136FI LGEEPA                                                                                                                               |  |  |  |  |
| RC5  | ¿Se tienen tanques de almacenamiento subterráneo?                                                                                                                                              |  |  |  |  |
| RC6  | ¿Se encuentran en operación actualmente tanques o diques de almacenamiento?                                                                                                                    |  |  |  |  |
| RC7  | ¿Los tanques de almacenamiento cuentan con estructuras de control de derrames?<br>BOPI, Art. 4 RLGEPPAAA                                                                                       |  |  |  |  |
| RC8  | ¿Existen evidencias de grietas, fracturas o discontinuidades en las estructuras de control de derrames de los tanques de almacenamiento?<br>BOPI, Art. 4 RLGEPPAAA                             |  |  |  |  |
| RC9  | ¿Existen evidencias de derrames en las instalaciones de control de derrames?<br>BOPI, Art. 4 RLGEPPAAA                                                                                         |  |  |  |  |
| RC10 | ¿Se transportan sustancias peligrosas por ductos?                                                                                                                                              |  |  |  |  |
| RC11 | ¿Han ocurrido derrames de sustancias peligrosas por ruptura de ductos?                                                                                                                         |  |  |  |  |

### VERIFICACION DOCUMENTAL

|     |                                                                                                                                                                                                           |  |  |  |  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| DC1 | ¿Se cuenta con la licencia de uso del suelo y en ella está contemplada el área total de la instalación?<br>Art. 23 LGEEPA                                                                                 |  |  |  |  |
| DC2 | ¿Se cuenta con el permiso municipal para la disposición de residuos sólidos?<br>Art. 99 LGPGIR                                                                                                            |  |  |  |  |
| DC3 | Si se ha producido contaminación de suelos por materiales o residuos peligrosos, ¿se han efectuado estudios de evaluación y/o acciones de restauración?<br>Art. 69 LGPGIR                                 |  |  |  |  |
| DC4 | ¿Existen procedimientos administrativos de la autoridad competente en materia de Suelo y Subsuelo en las que se hayan detectado irregularidades y si éstas han sido corregidas?<br>BOPI, Art. 4 RLGEPPAAA |  |  |  |  |

Fuente: PROFEPA

### NOMENCLATURA:

**LGEEPA.**- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

**LGPGIR.**- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

**RLGEPPAAA.**- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Auditoría Ambiental.

**BOPI.-** Buenas prácticas de operación e ingeniería

(Utilice hojas adicionales en caso de ser necesario)

## Anexo 9. Guía de verificación de impacto ambiental

| No | Descripción de la Obligación | SI | NO | Criterio de NO Cumplimiento | Observaciones |
|----|------------------------------|----|----|-----------------------------|---------------|
|----|------------------------------|----|----|-----------------------------|---------------|

### RECORRIDO POR LAS INSTALACIONES

|     |                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| RG1 | ¿Cuál es la zona de influencia de las actividades que se realizan?                                                                                                                                     |  |  |  |  |
| RG2 | Además de las emisiones y posible contaminación ¿De que manera modifica el medio ambiente la actividad y presencia de la instalación? (utilice hojas adicionales para Observaciones)<br>Art. 30 LGEEPA |  |  |  |  |
| RG3 | Excluyendo la fuente de contaminación ¿de que manera podría la instalación mejorar las condiciones ambientales que le rodean?                                                                          |  |  |  |  |
| RG4 | Indicar la competencia en impacto ambiental de acuerdo a las características de la organización<br>Arts. 5FX, 28 y 7FXVI LGEEPA                                                                        |  |  |  |  |

### VERIFICACION DOCUMENTAL

|     |                                                                                                                                                                                                                 |  |  |  |  |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| DG1 | En su caso ¿La instalación cuenta con autorización en materia de Impacto Ambiental?<br>Art. 28 LGEEPA                                                                                                           |  |  |  |  |
| DG2 | Indicar el tipo de MIA elaborada y dictaminada                                                                                                                                                                  |  |  |  |  |
| DG3 | Conforme a la MIA elaborada, indicar el aspecto ambiental y social de mayor vulnerabilidad de la zona de ubicación de la instalación auditada                                                                   |  |  |  |  |
| DG4 | Indicar los impactos mayores que se pueden ocasionar al ambiente por la instalación auditada y si éstos fueron contemplados en la MIA elaborada                                                                 |  |  |  |  |
| DG5 | ¿En el dictamen de la MIA por parte de las autoridades se establecieron condicionantes para la realización de la obra o actividad autorizada; y en su caso, se cumplen éstas cabalmente?<br>Art. 47 RLGEPAEIA   |  |  |  |  |
| DG6 | Con base en la MIA dictaminada por las autoridades competentes, ¿se detectan modificaciones al proyecto original, obras o actividades nuevas y fueron éstas notificadas a las mismas?<br>BOPI, Art. 4 RLGEPAEIA |  |  |  |  |
| DG7 | De acuerdo con lo anterior, después de notificar a las autoridades correspondientes, ¿se cumplió con lo requerido por dichas autoridades?<br>BOPI, Art. 4 RLGEPAEIA                                             |  |  |  |  |
| DG8 | En caso de haber requerido evaluación de MIA y no haberla tramitado, ¿se han llevado a cabo actividades de mitigación o compensación de impactos ambientales?<br>Art. 57 RLGEPAEIA                              |  |  |  |  |

Fuente: PROFEPA

### NOMENCLATURA:

**LGEEPA.-** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

**RLGEPAEIA.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Auditoría Ambiental.

**RLGEPAEIA.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación de Impacto Ambiental

**BOPI.-** Buenas prácticas de operación e ingeniería

## ANEXO 10.- Encuesta aplicada.



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

La presente encuesta forma parte de un trabajo de investigación para obtener el grado de Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología que se está realizando en la Universidad Popular Autónoma del estado de Puebla.

La información proporcionada se tratara confidencialmente al 100%, el único interés que se pretende con esta encuesta es meramente académico.

El objetivo que se pretende es el de elaborar un diagnóstico sobre las condiciones actuales de operación de las plantas de beneficio de carbón mineral en la zona centro del estado de Sonora

### 1. Datos generales

Nombre de la empresa \_\_\_\_\_

Dirección \_\_\_\_\_

Teléfono \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

2.- Capacidad de producción de la planta (toneladas por mes) \_\_\_\_\_

3.- Número de trabajadores con los que cuenta la planta \_\_\_\_\_

Administrativos \_\_\_\_\_ Operativos \_\_\_\_\_

4 ¿Cuenta la empresa con Licencia Ambiental Única (LAU)? (Art. 18 RLGEPAATM)

a) Si ☐ b) No ☐

5.- ¿Se cuenta con licencia de uso del suelo? (Art. 23 LGEEPA)

a) Si ☐ b) No ☐

6 En su caso ¿La instalación cuenta con autorización en materia de impacto ambiental?  
(Art. 28 LGEEPA)

a) Si ☐ b) No ☐

**7 ¿En las instalaciones se generan olores, polvos, neblinas, gases, vapores, humos u otras emisiones a la atmosfera? (Art. 10 RLGE EPAATM)**

a) Si ☐ b) No ☐

**8 Si la respuesta anterior fue si, ¿las emisiones están conducidas? (Art. 23 RLGE EPAATM)**

a) Si ☐ b) No ☐

**9 ¿Se cuenta con equipos colectores de polvo? (Art. 17 RLGE EPAATM)**

a) Si ☐ b) No ☐

**10 ¿Se detecta presencia de contaminantes a la atmosfera en las áreas vecinas? (Art.110 LGEEPA)**

a) Si ☐ b) No ☐

**11 ¿Se tiene en las instalaciones aspersores para aplicación de agua? (Art. 17 RLGE EPAATM)**

a) Si ☐ b) No ☐

**12 ¿Se tiene en las instalaciones cortinas rompe vientos? (Art. 17 RLGE EPAATM)**

a) Si ☐ b) No ☐

**13 ¿Se tiene un programa de mantenimiento de los equipos instalados en la planta? (BOPI ART. 4 RLGE PAAA)**

A) Si ☐ b) No ☐

**14 ¿Existen derrames de materiales o residuos peligrosos en suelo natural, pisos de concreto o de cualquier otro tipo? (Art. 70 LGPGIR)**

a) Si ☐ b) No ☐

**15 ¿En las vecindades hay existencia de suelos contaminados? (Art. 70 LGPGIR)**

a) Si ☐ b) No ☐

**16 Si se ha producido contaminación de suelos por materiales o residuos peligrosos, ¿Se han efectuado estudios de evaluación y/o acciones de restauración? (Art. 69 LGPGIR)**

a) Si ☐ b) No ☐

**17 ¿Se encuentran en operación actualmente tanques o diques de almacenamiento?**

a) Si ☐ b) No ☐

**18 Si la respuesta anterior fue si, ¿Los tanques de almacenamiento cuentan con estructura de control de derrames? (BOPI, Art. 4RLGEEPAAA)**

a) Si ☐ b) No ☐

**19 Además de emisiones y posibles contaminantes ¿De qué manera modifica el medio ambiente la actividad y presencia de la instalación?**

¿Afecta la flora vecina? Si ☐ No ☐

¿Afecta La fauna? Si ☐ No ☐

¿Afecta mantos acuíferos Si ☐ No ☐

**20 ¿Existen condiciones seguras en el centro de trabajo tal como lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-001-STPS-2008?**

a) Si ☐ b) No ☐

**21 ¿Se cuentan con sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utiliza en las instalaciones tal como lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999?**

a) Si ☐ b) No ☐

**22 ¿Se les proporciona a los trabajadores equipo de protección personal para uso y manejo en los centros de trabajo tal como lo establece la Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008?**

a) Si ☐ b) No ☐

**NOMENCLATURA:**

**RLGEEPAATM.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

**RLGEEPAAA.-** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Auditoría Ambiental.

**LGEEPA.-** Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

**LF.-** Licencia de funcionamiento.

**LAU.-** Licencia Ambiental Única

**DOPI.-** Buenas prácticas de operación e ingeniería

## **Anexo 11. Solicitud de participación de expertos.**



Hermosillo, Sonora 5 de marzo del 2015

A quien corresponda:

P R E S E N T E:

Por medio del presente, les hago de su conocimiento que su servidor está realizando una investigación para obtener el grado de Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnologías por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, apoyado económicamente por la Universidad de Sonora.

La investigación consiste en desarrollar un modelo de producción más limpia en una planta de beneficio de carbón mineral ubicadas en la zona centro del estado de Sonora, específicamente en San Javier.

Para lograr los objetivos de esta investigación se requiere la participación de personas con amplios conocimientos en el sector minero y es por ello que se les solicita su apoyo el cual consiste en lo siguiente.

Conocer el impacto ambiental que ocasionan las plantas de beneficio de carbón mineral, para determinar el impacto ambiental que ocasionan las plantas de beneficio de carbón mineral se va a utilizar la matriz de Leopold, se requiere conocer que tanto impactan en los factores bióticos, abióticos y socioeconómicos los siguientes atributos: intensidad, extensión, momento, persistencia, recuperabilidad y certidumbre.

Para obtener el valor de los atributos se deben de basar en la tabla que se les está anexando, en la cual se indican los criterios para obtener los valores de los atributos.

Se les garantiza que la información que ustedes nos proporcionen será tratada con la seriedad que una tesis doctoral exige, además tengan la certeza que será tratada con toda confidencialidad.

Me despido quedando a sus órdenes para cualquier duda que surja, no sin antes agradecerles su apoyo.

Luis Enrique Duarte Verdugo  
Expediente UPAEP 40600107  
Numero Empleado Universidad de Sonora 26844  
Email: [leduarte@prodigy.net.mx](mailto:leduarte@prodigy.net.mx)  
Cel: 6621400258