



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**Derrame de lixiviado ácido en el Río  
Sonora. Plan de emergencia y  
respuesta ante el incidente, un dilema  
de error y acierto.**

**TRABAJO ELABORADO EN LA OPCIÓN DE  
AMPLIACIÓN Y PROFUNDIZACIÓN DE  
CONOCIMIENTOS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Químico Metalúrgico**

**P R E S E N T A**

**Morán Altamirano Giovanni**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

El uso de imágenes, 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 donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** AMALIA GIL JUAREZ  
**VOCAL:** RAUL SANCHEZ MEZA  
**SECRETARIO:** MAURICIO VIZCAINO GUERRA  
**1° SUPLENTE:** IBET NAVARRO REYES  
**2° SUPLENTE:** URSULA MANRIQUEZ TOLSA

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:  
FACULTAD DE QUÍMICA, SEDE TACUBA**

## **ASESOR DEL TEMA**

**M en C. Amalia Gil Juarez**

## **SUSTENTANTE**

**Giovanni Morán Altamirano**

# Índice

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<i>Marco teórico.....</i>	<i>4</i>
<i>Planteamiento del problema.....</i>	<i>9</i>
Lixiviado en Río Sonora: área afectada, inicio del protocolo y creación del FRS.....	9
<i>Objetivos y justificación.....</i>	<i>19</i>
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>21</b>
<i>Problemas iniciales del derrame.....</i>	<i>21</i>
<i>Plan de Emergencia Contra Desastres y Reducción de Riesgos.....</i>	<i>25</i>
<i>Contaminación en agua y suelo. Análisis químicos.....</i>	<i>30</i>
<i>Resultado de plantas potabilizadoras.....</i>	<i>39</i>
<i>Respuesta de las personas afectadas. Percepción de la sociedad.....</i>	<i>50</i>
<i>Salud poblacional.....</i>	<i>55</i>
<i>Legislación Ambiental en México. Programa APELL. Errores y aciertos del plan de acción de emergencia.....</i>	<i>59</i>
Legislación Ambiental en México.....	59
APELL.....	65
Definición de la comunidad local como paso vital de la prevención.....	70
APELL y sus diez pasos.....	73
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>96</b>

## Introducción.

### Marco teórico.

México se ha caracterizado por ser un país de gran importancia en el sector minero, siendo uno de los principales productores de oro, plata, cobre y algunos otros metales de interés comercial.

De acuerdo a la Cámara Minera de México (CAMIMEX, 2022), la minería en el país aumentó la contribución del Producto Interno Bruto (PIB) en 2021 a comparación de 2020, 2019 y años previos, donde recordemos que, ocurrió la pandemia mundial de COVID-19. En el PIB Nacional, se observó un crecimiento del 7.13% en el presente año.

En México, la producción de metales es vital para la economía del país, así como para el progreso en infraestructura de las regiones donde se realizan actividades mineras, de la misma manera, para la generación de múltiples empleos para habitantes de la zona. De acuerdo con información del informe anual de CAMIMEX 2021, el sector minero registró un total de 406 mil 179 puestos de trabajo al mes de diciembre de 2021. Al comparar esta cifra con años previos, se observa algo similar con el PIB, pues la cifra para diciembre de 2022, fue superior a los años previos, donde la pandemia de COVID-19 fue un detonante para esta tendencia a la baja.

Como ya se ha mencionado, la producción de cobre en el país es de suma importancia para la economía minera. México en 2021, se colocó en la décima posición en producción total de cobre a nivel mundial.

En el panorama nacional, la mayor producción de cobre se le atribuye al estado de Sonora, con un 80.8% de la producción total del país (CAMIMEX, 2022). Las principales mineras productoras de cobre en este estado fueron Buenavista del Cobre (BVC) y La Caridad, ambas pertenecientes a Grupo México.

La minería ha aportado un sinfín de beneficios a la sociedad, sin embargo, esta industria también tiene sus contras. Es bien sabido que aquel lugar donde se desarrolla la industria minera, el impacto ambiental es inevitable, tanto para bien como para mal. Esto en muchas de las ocasiones depende de la percepción de quien lo estudia y analiza.

Rosario (2016) menciona que “... *hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en algunos de sus componentes*”. La minería desafortunadamente vista desde una perspectiva ambiental, siempre tendrá un impacto ambiental desfavorable, especialmente a cuerpos de agua y suelo.

En palabras de Luque y Murphy (2020): “*Importa señalar que la minería, si bien ha significado oportunidades para el desarrollo regional, también simboliza una fuente de explotación de la fuerza de trabajo, despojo de agua, y contaminación de agua, suelos y aire.*”

La minera consta de varias fases, estas son: la prospección, que consiste en la búsqueda de zonas viables para la explotación; la exploración, que consiste en la determinación del tamaño del desarrollo minero; explotación, que comprende las operaciones de preparación y desarrollo para la extracción y transporte de la

materia; beneficio, que consiste en el tratamiento físico y químico para la obtención del metal de interés aunque con impurezas presentes; fundición, que consiste en los procesos químicos para la obtener del material metálico; refinación, que como su nombre lo indica, es el proceso por el cual el metal se obtiene con una calidad muy superior obtenido al procedente de fundición; comercialización, que no es más que la obtención de un beneficio económico por el metal resultante de todo el proceso minero.

Desafortunadamente, la minería se basa en recursos no renovables. Los minerales no se regeneran con el pasar del tiempo, esto conlleva que, al paso de los años, la producción de metales deba renovarse y actualizarse a procesos más eficientes. Esto debido a que cada año, la ley del metal es cada vez menor y por tanto, más difícil obtener un costo-beneficio de los procesos mineros.

Esto es inevitable debido a la naturaleza de los recursos de la minería, sin embargo, la sociedad sigue en constante avance y esto no hace otra cosa más que aumentar la demanda de metales en cantidad y calidad a pesar de que la ley disminuya año con año.

La ley de un mineral es la concentración o la cantidad de metal de interés de un elemento (regularmente metálico) en un mineral, yacimiento o en suelo. Conocer la ley de un mineral es de vital importancia para la industria minera, pues esta variable es la que indica la viabilidad económica que traerá la extracción y el procesamiento del mineral.

La ley de corte de un mineral o un yacimiento hace referencia al valor mínimo del porcentaje de concentración de un elemento en el mineral para que este sea rentable. Si la ley se encuentra por encima de la ley de corte, el mineral se considera apto para su extracción, pues generará un valor comercial. Si la ley se encuentra por debajo de la ley de corte, se considera estéril, debido a que los costos de procesamiento y extracción, superarán a los beneficios económicos generados por el mineral.

Hoy en día, esto lo podemos observar con los productos electrónicos que demandan una gran cantidad de metales conductores y semiconductores para poder crearlos. Y esto lo vemos con todos los sectores industriales ya sea automotriz, aeroespacial, naval, entre otros (Khambatta, 2017).

Esta demanda conlleva a un reemplazo de procesos ineficientes y renovación de procesos para lograr el objetivo de la demanda, puesto que la minería se sostiene debido a que es rentable. Todo esto lleva a buscar alternativas para obtener los metales solicitados para el desarrollo y progreso de la ciencia y tecnología que conlleve del mismo modo, al progreso de la sociedad. Muchas veces esto se logra a través de nuevos reactivos químicos o combinación de ellos que, en contacto con el medio ambiente podrían causar mucho daño. Ejemplo de esto es la técnica de cianuración para la obtención de oro (Candia, 2017).

La alta demanda de metales y el desarrollo de nuevos procesos no solamente involucra riesgos de los reactivos utilizados, sino que también implica una mayor destrucción del medio ambiente para obtener nuevos tajos mineros, mayor uso de maquinaria pesada, aumento en la demanda de pólvora negra y/o dinamita,

maquinaria de proceso de mayor tamaño involucrando mayores riesgos a los trabajadores, entre algunos otros (Robles y Foladori, 2019).

Los procesos mineros conllevan a productos y residuos con alto riesgo de contaminación, esto debido a su alta cantidad de metales pesados, metaloides y demás compuestos complejos asociados a los procesos. Dos de los contaminantes más importantes en esta industria corresponde a los lixiviados ácidos y a los jales.

De acuerdo con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR), desastre lo define como *“una interrupción grave del funcionamiento de una comunidad o sociedad que implica pérdidas económicas, humanas y/o materiales, los cuales excede la capacidad de respuesta para hacer frente”*.

Toda empresa minera estará expuesta a riesgos mecánicos, sociales y sobre todo, ambientales. De acuerdo a la legislación mexicana en temas ambientales, es obligación de la empresa el tener un plan de acción contra emergencias en dado caso de que un peligro desencadene a una emergencia y a un desastre. La empresa debe tener estructuradas las acciones inmediatas para mitigar la propagación del desastre o minimizar los daños provocados.

## Planteamiento del problema.

### Lixiviado en Río Sonora: área afectada, inicio del protocolo y creación del FRS.

El 6 de agosto de 2014 se derramaron alrededor de 40 mil metros cúbicos de lixiviado ácido de cobre en el afluente del río Sonora, supuestamente por un fallo en una tubería de la instalación de lixiviados. El derrame provino de una represa perteneciente a la famosa e importante Compañía Buenavista del Cobre S.A. de C.V., subsidiaria de Grupo México ubicada en el municipio de Cananea en el estado de Sonora, México.

Clasificado como uno de los mayores desastres ambientales en el país, el derrame de lixiviados se dirigió hacia la fuente de agua principal de la zona, el río Sonora (conformado por cuatro cuerpos de agua: arroyo Tinajas, ríos Bacanuchi y Sonora y la presa Ing. Félix Valdés “El Molinito”).

Aucar (2019) nos indica que entre los afluentes afectados se encuentran el Arroyo Tinajas (17.6 km); el Río Bacanuchi (64 km), afluente del Río Sonora; el Río Sonora (190 km); y la presa El Molinito (15.4 millones de metros cúbicos).

El río Sonora es de vital importancia para la zona, puesto que recorre gran distancia en el estado de Sonora, además de tener comunicación con tres cuencas de gran importancia. Al oeste se encuentra conectado con el río Concepción; al norte se conecta con el río San Pedro el cual cruza la frontera con Arizona, Estados Unidos, donde se encuentra con el río Gila (el cual desemboca en el río Colorado); mientras que al sur se encuentran los ríos Bacanuchi y el río Bacoachi (ambos unidos en Arizpe) para continuar hasta la costa del Golfo de California donde desemboca (Luque y Murphy, 2020).

a)



b)



Figura 1. a) Represo poniente, zona de erosión por donde se produjo el derrame.

b) Borde exterior del represo poniente y zona de escurrimiento.

Fuente: Gobierno de México, 2014.

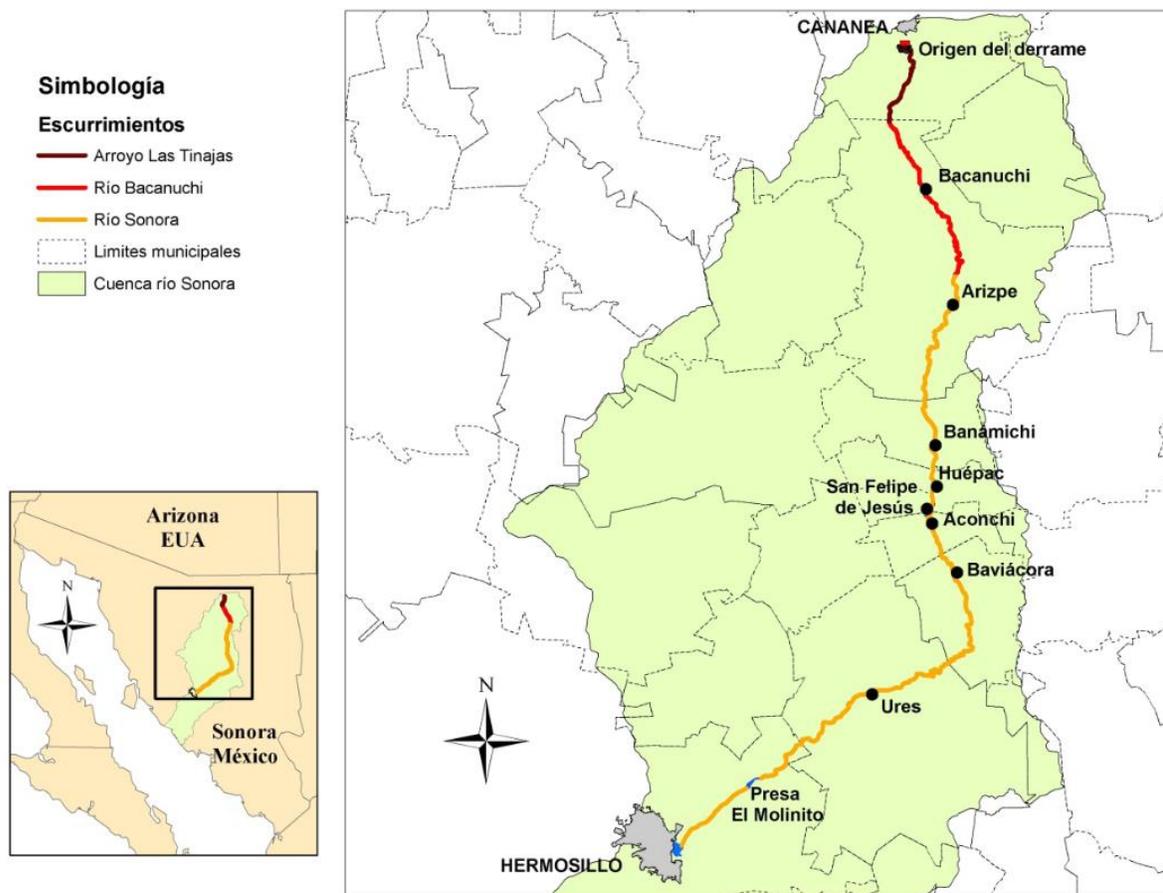
Luque et al. (2019) mencionan que, en las zonas de mayor elevación, las precipitaciones pueden llegar hasta los 1 000 mm anuales, pero en la mayoría de la cuenca, las precipitaciones están casi ausentes en la mayor parte del tiempo. Mencionan también que, las temperaturas son extremadamente altas, lo que provoca la evapotranspiración, la cual puede alcanzar los 2 000 mm anuales, cifra mayor a las precipitaciones anuales.

La ubicación de la zona afectada es importante reconocerla, pues debido a la naturaleza del cauce es posible entender el movimiento del lixiviado ácido

proveniente de BVC, puesto que el cauce es en dirección sur, rumbo al municipio de Arizpe.

A continuación se muestra la ubicación geográfica de la cuenca del río Sonora, donde es posible apreciar la ubicación de los ríos afectados debido al movimiento del lixiviado, además de los municipios afectados por el derrame.

a)



b)



Figura 2. a) Ubicación del derrame en el Río Sonora. (Ibarra y Moreno, 2017).

b) Zona de la cuenca del río Sonora. (Luque y Murphy, 2020).

La mina Buenavista del Cobre se ubica justo encima de la bifurcación de los ríos Bacanuchi y Bacoachi, ambos unidos en Arizpe. El derrame fue a través del río Bacanuchi recorriendo río abajo hacia el río Sonora y la presa “El Molinito”.

Como se puede observar en la figura 2, el derrame afectó a varios municipios entre los cuales se encuentran Arizpe, Banámichi, Huépac, Aconchi, San Felipe de Jesús, Baviácora, Ures y Hermosillo. Este último es importante resaltar, puesto que en este municipio fue afectada la Presa “El Molinito”, encargada de proveer agua al municipio de Hermosillo.

El desastre estuvo asociado a otros dos eventos los cuales impactaron en la forma de percepción de las comunidades afectadas. Estos eventos fueron los huracanes que tuvieron lugar dos semanas después del accidente y, el procedimiento que se tuvo para iniciar el protocolo de emergencia.

Debido a las lluvias ocasionadas por el huracán Odilón, el cauce del río Sonora aumentó, de manera que aceleró el transporte de lixiviado río abajo. Las lluvias sobrepasaron el cauce natural del río, lo que ocasionó que el agua del río se desbordara, ocasionando que saliera de su ruta natural, esto a su vez, provocó que el lixiviado pudiera salir junto con cauce desbordado, alcanzando suelo utilizado para riego, ganadería y uso doméstico, incluso llegando a algunos pozos los cuales fueron contaminados posteriormente (Luque y Murphy, 2020).

A pesar de que estos eventos se conjugaron para dar lugar a una serie de consecuencias, la población no fue capaz de percibirlos de forma aislada, si no

que, la población solo observó de forma global el derrame en el río (Luque et al. 2019).

La percepción de un solo evento condujo a que la población atribuyera la total contaminación al derrame ocasionado por Buenavista del Cobre, sin importar la atribución del huracán. A pesar de que esta percepción de la población no impactó ni alteró socialmente, si es de vital importancia mencionar que el huracán aceleró y agravó los daños ocasionados por el derrame pues se convirtió en una condicionante para el posterior recuento de daños totales, los cuales hubieran sido totalmente diferentes si no hubiera existido dicho huracán. Más adelante se detallará como una variable climática puede impactar en un correcto plan de emergencia contra desastres.

Luque y Murphy (2020) mencionan que se registró un recorrido del derrame de aproximadamente 290 km desde la mina hasta el río Sonora, llegando a la presa “El Molinito”, ubicada muy cerca de Hermosillo. Este recorrido tardó aproximadamente cuatro días que, para entonces, el río ya estaba presente con un color cobrizo característico del derrame.

Se debe mencionar que las lluvias provocadas agravaron la situación una vez que el lixiviado había terminado su recorrido, sin embargo, modificó las concentraciones iniciales de contaminación (condiciones terminados los cuatro días aproximados). Las agravantes ocurrieron además cuando ocurrió el desborde del río.



Figura 3. Río Bacanuchi contaminado tras el derrame del 6 de agosto de 2014.

Fuente: Maribel Bustamente, CCRS, agosto de 2014. Bacanuchi, Sonora.

(Lamberti, 2020).

Luque y Murphy (2020) indican que la minera BVC no avisó a las autoridades del derrame como lo está estipulado en la normatividad ambiental mexicana, pues informaron hasta días después. Mencionan que el primer aviso sobre el derrame de la minera lo realizaron pobladores del municipio de Bacanuchi, los cuales fueron los que avisaron a las autoridades de Arizpe y a su vez avisaron a Protección Civil de Sonora. Se tiene registro de que la empresa avisó a las autoridades el 8 de agosto de 2014, dos días después de ocurrido el derrame.

Entre algunas dependencias de gobierno que intervinieron fueron la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y a la Procuraduría Federal de Protección Ambiental (PROFEPA).

El 12 de agosto, PROFEPA notificó a la empresa responsable (BVC) sobre las medidas correctivas para la atención del accidente. Para este momento, el protocolo de emergencia efectuado por el gobierno federal ya estaba en curso; según informa el Gobierno de México (2014), CONAGUA aplicó los Protocolos de Atención de Emergencias Hidroecológicas, iniciando a partir del 8 de agosto de 2014.

En la legislación mexicana se indica claramente que, en caso de algún desastre ambiental, la empresa causante deberá cubrir y reparar los daños generados (Ley Federal De Responsabilidad Ambiental). El INECC estimó los costos aproximados para reparar los daños generados por el derrame, lo cual dio paso formalmente al inicio de las negociaciones del gobierno con la empresa.

El 15 de septiembre, las dependencias de gobierno junto con BVC se reunieron para definir acuerdos sobre el rumbo de la situación del desastre. Entre los acuerdos pactados fue la constitución del Fideicomiso Río Sonora (FRS), el cual sería el encargado de gestionar la remediación necesaria tanto en agua como en suelo, así como atender las quejas de la población sobre la gestión de los recursos económicos necesarios para la reparación total de daños ocasionados por el derrame, además de atender los problemas de salud que pudieran presentarse.

El monto establecido y destinado para el FRS fue de 2 000 millones de pesos, sin embargo, se acordó que dependiendo del desarrollo y resultados de la remediación y gastos, el monto podría aumentar.

En noviembre de 2014, el protocolo de emergencia fue levantado, fundamentado en los resultados oficiales de SEMARNAT sobre la calidad de agua superficial y de pozos. Luque y Murphy (2020) indican que la inconformidad por parte de la población seguía presente aún después de levantado el protocolo de emergencia. Esto conllevó a que el FRS y el gobierno optarán por la instalación de plantas potabilizadoras para asegurar la “mejor” calidad de agua en el río, además de utilizar las plantas potabilizadoras como una medida para reducir la inconformidad y protestas llevadas a cabo en ese momento por la población afectada.

El Fideicomiso Río Sonora se dio por terminado administrativamente a través de SEMARNAT a finales de 2015, pues se consideraba que las funciones del fideicomiso habían sido cumplidas. Esto a pesar de tener varias tareas inconclusas como las plantas potabilizadoras prometidas, el proveer de agua potable a las comunidades afectadas y la creación de la Unidad de Vigilancia Epidemiológica Ambiental de Sonora (UVEAS).

El plan de emergencia contra desastre es de vital importancia para cualquier empresa industrial, pues con un correcto plan de emergencia se evitará que un desastre ocurra, o en dado caso de ocurrir, las consecuencias podrán ser contrarrestadas con certeza y prontitud para evitar daños sumamente graves. Sin embargo, la falta de planeación y preparación en el plan mencionado, tendrá consecuencias graves pues no se conocerán las medidas y acciones inmediatas para mitigar el desastre, lo que conllevará a consecuencias graves y posiblemente irreversibles, incluyendo daños materiales, económicos y de vidas.

En el presente trabajo, se realizó una revisión de las consecuencias ocurridas por la falta de prevención en un correcto plan de emergencia contra desastres, además, se analizan las ventajas y desventajas de las acciones que se aplicaron tiempo después para tratar la contaminación ocasionada por el derrame, así como su eficacia. Se da a conocer los problemas ambientales, administrativos, sociales y económicos ocasionados por una falta de planeación y prevención en el plan de emergencia. Se analiza la postura de la comunidad afectada, además de la percepción que se tuvo sobre las medidas tomadas por BVC.

Posteriormente, se analiza la propuesta de una correcta creación del plan de emergencia contra desastres proporcionada por el Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA), además de mencionar las medidas faltantes por parte de BVC y repercusiones presentes años después de ocurrido el desastre.

### Objetivos y justificación.

Los objetivos del presente trabajo están enfocados en dar a conocer las acciones de remediación ambientales como sociales llevadas a cabo por el Fideicomiso Río Sonora (FRS) y por la empresa minera Buenavista del Cobre (BVC), subsidiaria de Grupo México en el desastre del derrame de lixiviado ácido en el río Sonora en agosto de 2014.

Se busca y se estudia el Protocolo de Emergencia contra Desastres, si es que lo hubo, de la empresa responsable de derrame. Además, se busca analizar las ventajas y desventajas de las medidas tomadas al momento de entrar en acción

dicho protocolo; pero también, brindar información y recomendaciones sobre la creación del plan de emergencia con base al manual APELL (Awareness and Preparedness for Emergencies at the Local Level) de PNUMA.

Se da un breve repaso a los acontecimientos de mayor relevancia como forma de consecuencia del derrame, así como la respuesta que dio la comunidad afectada, además de la percepción que se tuvo del desastre.

Se brinda al lector la cronología sobre la problemática que se encontró la población afectada debido a la negligencia y a la falta de planeación en el plan de emergencia contra desastres por parte de BVC y del FRS.

Se analiza la legislación mexicana en el sector ambiental para brindar una comparativa y una revisión sobre algunos de los artículos más relevantes de la legislación, los cuales son de vital relevancia debido a que se encuentran relacionados con los acontecimientos relevantes así como con las acciones de remediación llevadas a cabo por el FRS.

En la parte final del trabajo, se analiza detalladamente los pasos mencionados por el manual APELL para la creación de un Plan de Emergencia contra Desastres. Se realiza una comparativa entre los pasos y las recomendaciones brindadas por APELL contra las medidas tomadas por el FRS como parte de su Plan de Emergencia.

El estudio del desastre ocurrido en el río Sonora es de suma importancia. La minería es una empresa que está presente en todo el planeta, sin embargo, la minería tiene que evolucionar junto con las necesidades de la sociedad. Aunque

los procesos mejoren y no sean tan agresivos con el ambiente, el peligro siempre estará presente y el deber de todo ser humano es cuidar el ambiente donde vivimos, donde el camino a recorrer sea un camino hacia un planeta sustentable.

El estudiar los errores de nuestro pasado siempre ha conllevado a un desarrollo como humanidad y eso también aplica para la conservación ambiental. Conocer los errores cometidos con anterioridad dará información y de esta forma, brindará los precedentes para realizar las correcciones que debemos hacer para evitar que esos errores no vuelvan a ocurrir, por tanto, evitar desastres futuros.

Desafortunadamente, los errores cometidos por BVC en el derrame ocurrido en el 2014 dan paso a un estudio a fondo del por qué ocurrió el derrame y si se pudo haber evitado o que medidas pudieron disminuir o evitar su daño a los cuerpos de agua, al suelo y a la salud de habitantes de la zona, así como a la flora y fauna.

La remediación siempre será una parte fundamental en el estudio ambiental, sin embargo, no hay mejor manera de evitar un desastre que evitando que pase, y muchas veces se puede lograr con una correcta prevención.

## Discusión.

### Problemas iniciales del derrame.

Al momento del fallo de la tubería que se encontraba en la planta de lixiviados comenzaron los problemas, pues al no poder evitar ni frenar el derrame y debido a la cercanía del arroyo Tinajas y al río Bacanuchi solo era cuestión de tiempo para que alcanzará ambos cuerpos de agua.

El ingreso de lixiviado ácido a la cuenca del río Sonora provocó que las consecuencias del derrame fueron inmediatas. El río Sonora tiene en su cuenca agua subterránea y agua superficial, las cuales tienen distintos usos.

A continuación se muestran los distintos usos que se le da al agua del río Sonora.

Fuente	Volumen/ número	Agrícola	Industrial	Pecuario	Público urbano	Otros	Total
Derechos de agua subterránea	Volumen (m <sup>3</sup> )	663 034 063	24 711 786	11 354 797	88 345 478	2 818 036	790 264 159
	Porcentaje del volumen	83.9	3.1	1.4	11.2	0.4	100
	Número de pozos	2 218	73	1 907	871	273	5 342
Derechos de agua superficial	Volumen (m <sup>3</sup> )	58 585 066	1 000	290 385	160 000 000	41 472	218 917 923
	Porcentaje del volumen total	26.8	0.0	0.1	73.1	0.0	100.0
	Número de derechos	82	1	149	2	2	236

Nota: en el rubro de "Otros" se incluyen los usos en acuacultura, múltiples agroindustrial, doméstico y servicios.

Figura. 4. Concesiones por tipo de fuente y uso del agua en la cuenca del río Sonora

Fuente: REPDA (CONAGUA, 2014).

Se puede observar que el mayor uso del agua subterránea corresponde al uso agrícola, pues en esta zona del estado de Sonora se cultivan varios alimentos; mientras que para el agua superficial, el mayor consumo corresponde al uso público urbano, pues a lo largo del río Sonora se encuentran diversos municipios que, en muchos de ellos, el agua del río era una fuente vital de acceso al agua.

Las zonas afectadas son de gran relevancia, esto debido a que en muchas de estas zonas se encontraban ubicados pozos estratégicos proveedores de agua, los cuales no solamente proveían al municipio de Hermosillo, si no que a varios de

los municipios afectados, además de que el agua del río tenía distintos usos, y al estar contaminada gran parte de ella, su uso y sobre todo, del agua superficial, fue muy limitado para la comunidad afectada.

Para septiembre de 2014, los pagos del FRS en temas de abastecimiento se distribuían de la siguiente manera:

RUBRO	MONTO (millones de pesos)
Contratación de Pipas de Agua	\$7.80
Tinacos (incluyendo instalación)	\$ 42.00
Plantas potabilizadoras de ósmosis inversa	\$ 350.00
Resarcimiento de daños a la salud	\$ 0.45
Resarcimiento de sector agropecuario	\$ 122.29
<b>GRAN TOTAL</b>	<b>\$ 522.54</b>

Figura 5. Distribución de gastos del FRS en tema de abastecimiento de agua a la comunidad afectada.

Fuente: Gobierno de México, 2014.

Debido a la fuerte dependencia de algunas familias hacia el agua del río, esto también tuvo afectaciones inmediatas y graves a la salud, pues muy posiblemente en las primeras horas del derrame, la población no pudo percibir la contaminación

presente en el río, por tanto, no tomaron las medidas necesarias para evitar el uso y consumo de dicha agua.

Debido a la contaminación, los pozos tuvieron que ser cerrados temporalmente hasta nuevo aviso para evitar el consumo de agua contaminada. Esto repercutió en la población dependiente del agua de los pozos. La cifra calculada fue de alrededor de 22,000 habitantes en los municipios aledaños, según reportó INEGI en 2015, mientras que en Hermosillo se reportó alrededor de 800,000 habitantes.

Uno de los primeros y principales pagos del Fideicomiso Río Sonora (FRS) fue al combatir la falta de agua, debido al cierre de 34 pozos en distintas zonas a lo largo del contaminado río Sonora en diferentes municipios, siendo uno de los más afectados el municipio de Arizpe.

La falta de agua, principalmente afectó al uso doméstico, así como para uso agrícola como se vio anteriormente, pues estos eran los de mayor demanda de volumen de agua, tanto subterránea (pozos) como de agua superficial. Para atacar este problema, el FRS proporcionó garrafones de agua, así como pipas de agua a las comunidades donde sus pozos habían sido cerrados temporalmente, sin embargo, esta medida no fue suficiente para tal demanda.

A finales de 2015, en lo que respecta al pago del FRS a las afectaciones derivadas del derrame, se realizó el pago de un total de 1 231 millones de pesos (aproximadamente 44% de recurso del FRS) en cuatro rubros: instalación de tinacos, rehabilitación de pozos, toma de agua de hogares y ayuda de pipas de agua.

### Plan de Emergencia Contra Desastres y Reducción de Riesgos.

De acuerdo a la legislación mexicana en tema ambiental, específicamente en los artículos 129, 130 y 131 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (última reforma publicada DOF 31-10-2014), *“la empresa que preste el servicio deberá, entre otros aspectos, avisar de inmediato a la Procuraduría y a las autoridades competentes, que ocurrió el derrame, infiltración, descarga o vertido de materiales peligrosos o residuos peligrosos”* (Gobierno de México, 2020). De acuerdo con la información proporcionada por Luque y Murphy (2020), la empresa Buenavista del cobre avisó a las autoridades competentes hasta 2 días después de ocurrido el derrame.

De acuerdo a la información proporcionada por el Gobierno de México (2014), el 7 de agosto fue cuando la población de la zona informó a Protección Civil sobre el color cobrizo del río. Este aviso fue el primero en registrarse como evidencia del derrame.

Posterior a esto, el 8 de agosto, BVC dio aviso telefónicamente a las autoridades federales del derrame, pero no fue hasta el 12 de agosto que formalmente se dio aviso del derrame por parte de BVC, un día después del plazo máximo mencionado en el artículo 131 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos .

El mismo 8 de agosto, CONAGUA realizó una visita técnica con carácter de urgencia a las instalaciones de BVC para determinar la gravedad preliminar del derrame (Gobierno de México, 2014). CONAGUA inició los Protocolos de Atención de Emergencias Hidroecológicas, los cuales consistían principalmente en:

- Restringir el uso del agua en el río y en los 322 pozos y norias ubicadas 500 m a cada margen del río.
- Muestreo de remanentes de la pileta y establecimiento de 21 puntos de medición a lo largo de los ríos para monitorear los niveles de contaminación.



Figura 6. Aplicación de Cal como medida para la neutralización del lixiviado.

Fuente: Gobierno de México, 2014.

En palabras de Toscana y Hernández (2017), “...el desastre es un proceso que resulta de la materialización de un riesgo. El riesgo implica la posibilidad de que un peligro, ya sea antrópico o de origen natural, incida en una sociedad vulnerable”. Es una necesidad de toda industria, el tener un plan de emergencia (también llamado protocolo contra emergencia) pues como lo menciona Toscana y Hernández (2017), todo empieza a través de un riesgo, el cual siempre estará

presente, sin embargo, depende de cada empresa el lograr que el riesgo no se materialice, no afecte o, en dado caso de materializarse, afecte lo menos posible tanto a la vida de los trabajadores como a la instalación donde se está presente, ni en temas económicos para la empresa.

En el análisis de riesgo se debe tener en cuenta la naturaleza del peligro, puesto que se pueden agrupar en dos grandes grupos: antrópicos y de origen natural, como bien lo mencionan Toscana y Hernández (2017). Para analizar un riesgo debe observarse con especial detalle el origen, sin embargo, el análisis de riesgo debe implicar que un riesgo no es de carácter homogéneo haciendo referencia a los afectados como se explica a continuación.

Toscana y Hernández (2017) mencionan que los riesgos afectan más al sector poblacional con bajos recursos. Trasladando esto al derrame de lixiviado en el río Sonora, se puede afirmar que el riesgo estaba presente en la comunidad, y que, en dado caso de hacerse realidad, afectaría a la población de los municipios cercanos y comunidades aledañas al río Sonora principalmente, sin embargo, afectaría de manera más considerable a la población con menos recursos, como en este caso, fue la población que en algún porcentaje, dependían del río Sonora para sus actividades cotidianas.

Para disminuir los riesgos de desastres (RRD), se debe analizar los factores que generan dichos riesgos para posteriormente enfocarse en reducir las situaciones que generan el riesgo. La prevención es la única forma de evitar desastres.

Díaz et al. (2021) mencionan que, “*una de las referencias para la RRD mineros es la **Guía para la industria minera**, con el fin de promover la concientización y preparación para emergencias a nivel local (APELL por su sigla inglesa)*” la cual fue que elaborada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 2004.

La minera BVC propuso a la SEMARNAT el Programa de Remediación Ambiental del Río Sonora, en el cual se dividió el área contaminada en 5 zonas. Para la zona 1, se estableció que estaría delimitado de 0 a 30 kilómetros desde donde ocurrió el derrame (Cananea), donde estaba contaminado en mayor porcentaje por hierro. En esta primer zona se propuso la remoción de suelo de hasta 2.818 m<sup>3</sup>. Para las cuatro zonas restantes se propuso un monitoreo de tres años como mínimo (Ibarra y Moreno, 2017). Las cinco zonas delimitadas estaban compuestas de la siguiente manera:

- Zona 1: desde el sitio del derrame hasta el km 30 del recorrido de la contaminación.
- Zona 2: desde el km 30 al 140
- Zona 3: desde el km 140 al 180
- Zona 4: desde el km 180 al 224
- Zona 5: desde el km 224 hasta la Presa el Molinito

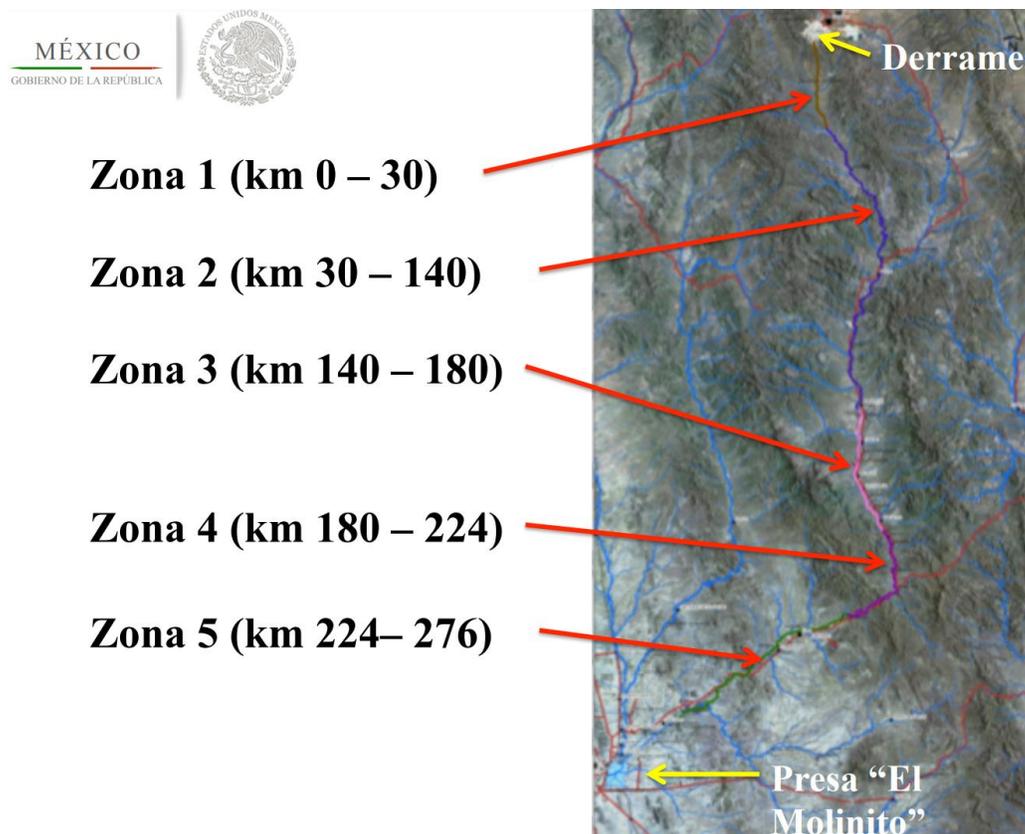


Figura 7. Ubicación geográfica de las zonas delimitadas por SEMARNAT.

Fuente: Gobierno de México, 2015.

El FRS informó a mediados de 2015 que la denominada zona 1 había sido monitoreada, además de informar que los parámetros estudiados se encontraban dentro de los límites permisibles de la normativa ambiental. A finales de 2015, el FRS informó que el programa de remediación había terminado basándose únicamente en informes provenientes de análisis efectuados a través del FRS y no por empresas externas a él.

Lamberti (2020) informó que el 2 de febrero de 2017 se realizó la sesión de cierre del FRS, sin embargo, la población tuvo conocimiento de esto hasta agosto del mismo año debido a un reportaje noticioso donde se informaba el cierre. Seis

meses después del cierre, la población de Sonora se informó oficialmente de la finalización del FRS.

A palabras de Ibarra y Moreno (2017) indican que “*Esta declaración en los hechos significó el carpetazo institucional a la contingencia ambiental.*” La página oficial del Fideicomiso Río Sonora desde este pronunciamiento no volvió a publicar ningún documento referente a la contaminación provocada por el derrame y al año actual (2023), la página oficial del FRS no está en funcionamiento.

#### Contaminación en agua y suelo. Análisis químicos.

La contaminación del agua presente a lo largo del río Sonora, iniciando por el río Bacanuchi fue inminente, pues directamente entró en contacto con el lixiviado, además de transportarse río abajo rumbo a Hermosillo. Debido a que muchas personas de la comunidad aledaña al río dependían de alguna forma del agua del río, es importante conocer la contaminación que se presentó, además de conocer los riesgos de salud al posible contacto con dicha agua contaminada.

De acuerdo con la base de datos del FRS, se realizaron 38 muestreos en sitios de agua superficial y 33 muestreos en sitios de agua subterránea entre agosto de 2014 y noviembre de 2018 (Díaz et al., 2021).

Como se vio anteriormente, el agua subterránea fue la fuente principal de proveer agua a las distintas regiones de la zona afectada, por tanto, los muestreos de interés en el presente trabajo son los sitios de agua subterránea.

El FRS tomó la decisión de instalar plantas potabilizadoras en sitios estratégicos para combatir la contaminación de agua del río Sonora. Más adelante se detalla más dicha decisión, sin embargo, es de gran relevancia mencionar, debido a que esta decisión influyó y tuvo relevancia en los análisis efectuados para conocer el grado de contaminación del agua del río.

Díaz et al. (2021) realizaron un mapeo de los sitios de muestreo subterráneo que, a su vez, indican si es que en dicho sitio de muestreo, existió alguna planta potabilizadora, sea planta potabilizadora fija o móvil. Dicho mapa se muestra a continuación:

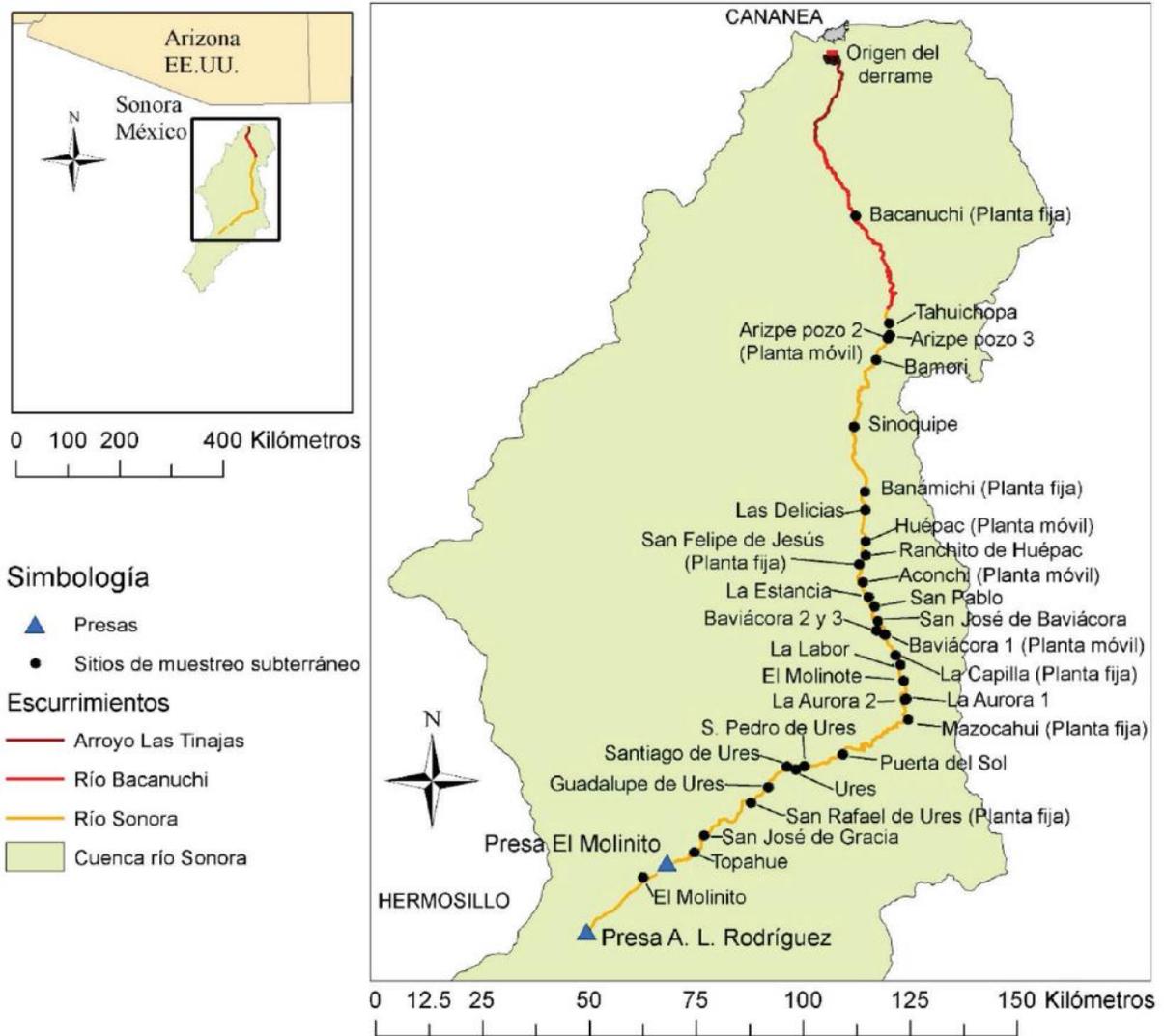


Figura 8. Sitios de muestro subterráneo.

Fuente: Díaz et al. (2021).

Para los sitios de muestreo, se tuvieron 19 parámetros para analizar, donde se consideraron los Límites Permisibles de la Calidad establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 y algunos otros por la Guía de Calidad de la OMS, sin embargo, en muchos de estos parámetros se debió utilizar el Principio de Pro-Persona como lo

indica Díaz et al (2021) y sin embargo, el FRS no utilizó dicho principio donde debía aplicarse.

El Principio Pro-Persona hace referencia a tomar en comparativa dos o más normas, aplicando la norma (o los parámetros de esta) que más convenga a la persona (Gobierno de México, 2023). En este caso, se tomó de comparativa la norma NOM-127-SSA1-1994 y la guía de la OMS, teniendo en cuenta aquellos parámetros más estrictos como Límites Permisibles de Calidad, lo que se traduce en una mejor calidad de agua para beneficio de la comunidad.

De los 19 parámetros, en dos de ellos no hay un valor para realizar una comparativa de acuerdo a la legislación ambiental, pues ni la NOM-217-SSA1-1994 ni la guía de la OMS tienen valores registrados. Estos parámetros son níquel y conductividad electrolítica. (Díaz et al., 2021). Los parámetros analizados por el FRS se muestran a continuación.

Tabla 1. Resultados por parámetros medidos: de agosto de 2014 a noviembre de 2018.

Fuente: Díaz et al. (2021).

Parámetro medido	Límite permisible	Unidad	Total de registros	Registros con valor numérico	Registros fuera del límite	Registros dentro del límite	Registros "ND"	Registros "NE"
Aluminio	0.2	mg/l	3 068	1 984	129	1 855	980	104
Antimonio	0.005	mg/l	3 043	616	53	563	2 323	104
Arsénico	0.01	mg/l	3 043	976	224	752	1 963	104
Bario	0.7	mg/l	3 071	2 905	0	2 905	62	104
Cadmio	0.005	mg/l	3 071	582	2	580	2 385	104
Cobre	2	mg/l	3 071	1 241	0	1 241	1 726	104
Cromo	0.05	mg/l	3 071	797	1	796	2 170	104
Hierro	0.3	mg/l	3 071	2 540	271	2 269	427	104
Manganeso	0.15	mg/l	3 059	1 622	87	1 535	1 344	93
Mercurio	0.001	mg/l	3 071	909	15	894	2 060	102
Níquel	NA	mg/l	3 071	663	NA	NA	2 305	103
Plomo	0.01	mg/l	3 040	576	6	570	2 361	103
Zinc	5	mg/l	3 068	2 527	0	2 527	437	104
Sulfatos	400	mg/l	2 347	2 229	178	2 051	14	104
Turbiedad	5	UTN	2 348	1 675	79	1 596	569	104
Sólidos disueltos totales	NA	mg/l	2 221	132	NA	NA	1 985	104
Conductividad electrolítica	NA	µS/cm	2 221	2 117	NA	NA	0	104
pH	6.5-8.5	UpH	2 221	2 117	35	2 082	0	104
Temperatura	40	°C	2 216	2 117	2	2 115	0	99
Total			53 392	28 325	1 082	24 333	23 111	1 956

Nota:

mg/l= miligramos por litro

UTN = unidades de turbiedad nefelométrica

µS/cm = microsiemens por centímetro

UpH = unidades de pH

°C = grados Celsius

NA = no aplica (no aparece límite permisible ni en la NOM-127-SSA1 ni en la guía de la OMS.)

Fuente: elaboración propia con base en SEMARNAT (2015).

En la primera columna de la tabla se presenta el parámetro estudiado. En la segunda y tercer columna se encuentra el límite permisible y sus unidades de

dicho límite. En la cuarta columna se presenta el total de registros de cada parámetro estudiado.

En la quinta columna se presenta la cantidad de registros los cuales cuentan con un valor numérico para la comparativa con el límite permisible. En las columnas seis y siete se presentan la cantidad de registros, tanto fuera del límite permisible como dentro del límite permisible respectivamente. En la columna ocho se presenta la cantidad de registros con la leyenda de “ND” que hace referencia a “No Detectado”. Esta leyenda pudo haber sido que la concentración en dicho registro no era lo suficientemente alta para la detección del equipo usado. En la última columna se tiene la cantidad de registros con la leyenda “NE” que refiere a “No Efectuado”, lo que indica que no se tuvo registro o no se realizó la medición (INFOMEX, 2016).

Lamberti (2020) menciona que los monitoreos de la calidad de agua en la zona contaminada cuentan con algunas inconsistencias puesto que no cuentan con una desviación en su valor (rango entre los que puede oscilar un valor tanto superior como inferior), pues se reportan valores únicos, lo que también indica que no hubo replicadas en los análisis.

Otro punto a resaltar es que se reporta la casi imposible repetibilidad de valores para ciertos elementos, pues esto es muy difícil que pase debido al constante movimiento de agua del agua a través del tiempo y posición exacta.

Los elementos con mayor cantidad de registros con valores superiores al límite permisible fueron aluminio, arsénico, hierro y sulfatos; mientras que los que menores registros tuvieron fueron bario, cadmio, cobre, cromo, zinc y plomo.

Guiachetti (2011) menciona que, en los procesos mineros de la extracción y beneficio del cobre, podemos encontrar algunos otros metales como subproductos o incluso como ganga. Entre estos metales podemos encontrar fácilmente hierro, plomo y sulfuros (o sulfatos) mientras que en menor cantidad podemos llegar a encontrar aluminio, zinc y arsénico, por lo que muy posiblemente la presencia de estos elementos se deba a los procesos mencionados.

Habiendo sido el derrame proveniente de una planta de cobre es predecible que el hierro se encuentre en una gran concentración en el lixiviado, al igual que los sulfatos; sin embargo, en el caso del metal cobre, a pesar de que el lixiviado es un producto de baja concentración debido a que proviene de un proceso secundario en la concentración del metal, pudo haberse esperado estar presente en los análisis, sin embargo, en ningún registro se superó el límite permisible. Caso idéntico para el plomo, donde solo superó el límite permisible en 6 registros de un total de 576 (con valor numérico).

Es bien sabido de los efectos tóxicos de los metales involucrados en la minería, principalmente de los metales pesados y de algunos metaloides como el arsénico. Se debe destacar que las principales vías de ingreso al organismo y de intoxicación por contaminantes metálicos son la dérmica, ingestión e inhalación.

Rodríguez (2017) indica algunos de los efectos tóxicos de los metales antes mencionados. El arsénico aumenta el riesgo de contraer cáncer en piel, hígado y pulmón principalmente; informa además que se tiene registro de la aparición de tumores en la piel debido a la ingesta de agua contaminada por este metal. Hong et al. (2014) informan que se tienen reportes para asociar el arsénico a problemas cardíacos y en órganos reproductivos.

El cadmio puede generar hipertensión arterial, problemas renales e incluso enfermedades pulmonares. En el caso del cobre, naturalmente se encuentra en el organismo por lo que tiene una ingesta diaria, sin embargo, al exceder extremadamente la cantidad de cobre ingerido puede provocar daños graves al hígado y riñones (Rodríguez, 2017).

Para el metal mercurio, la principal ingesta es a través de vapores o alimentos contaminados, sin embargo, no se descarta la ingesta a través de agua contaminada. Entre sus principales efectos a baja exposición se encuentran pérdida de la memoria, insomnio y dolor de cabeza. En exposiciones moderadas, se encuentran efectos negativos en la actividad motora y psicológica (Rodríguez, 2017).

Al igual que el cobre, el hierro se encuentra presente en el cuerpo humano, no obstante, altas concentraciones de este metal tienen implicaciones en la salud. Altas dosis de hierro en el cuerpo pueden provocar hemocromatosis la cual es una enfermedad causada por un incremento en los almacenes de hierro lo cual provoca daños en los tejidos de la piel (Toxqui et al., 2010).

Uno de los metales con más registros fuera del límite permisible fue el aluminio. Este metal se asocia con enfermedades óseas, anemia, enfermedades del sistema nervioso, y complicaciones renales (Fernández, 2014).

Los registros recopilados por Díaz et al. (2021) brindan información necesaria para determinar que el agua contaminada, debido al lixiviado presente, no es apta para el consumo humano, pues los estudios realizados por el FRS informan de varios elementos fuera del límite permisible. Si bien es cierto que también muchos de los parámetros estudiados de metales se encuentran por debajo del límite permisible, sin embargo, en una opinión propia, la calidad de agua debería tener todos y cada uno de los parámetros de metales pesados por debajo del límite permisible para poder ser utilizada sin riesgo alguno a la salud, incluso si no es para consumo humano, el simple hecho de entrar en contacto con agua contaminada genera un riesgo de intoxicación.

Luque y Murphy (2020) informan que el FRS financió una investigación la cual fue encabezada por la UNAM, específicamente por el Instituto de Ecología y el Instituto de Geología, los cuales realizaron un informe que se dio a conocer hasta 2016 gracias a la organización de PODER a través del Instituto Nacional de Acceso a la Información (INAI) como apoyo a la comunidad afectada.

En dicho informe se encuentra información respecto a la investigación de contaminación del agua. Se informa que la calidad de agua se encontraba dentro de los límites permisibles de metales y sedimentos, además se informó que hubo pérdida de vegetación en las zonas cercanas al derrame, específicamente en el

río Bananuchi. En el caso de la fauna, se informó que el lixiviado presente en el agua del río afectó a las especies de peces endémicos (Luque y Murphy, 2020).

Las afectaciones a los peces y a la vegetación de la zona debido a la contaminación en el agua es una clara señal de que, a pesar de estar dentro de la normativa ambiental, los parámetros que se encontraban por debajo de los límites permisibles no eran un aseguramiento total de quedar libre de peligros al entrar en contacto seres vivos, incluyendo a los humanos.

Luque y Murphy (2020) mencionan algo de suma relevancia. Mencionan que *“...las ciencias duras, como la geología, la química y la ecología, se impusieron sobre las evaluaciones socioeconómicas.”*

#### Resultado de plantas potabilizadoras.

En enero de 2015, seis meses después de ocurrido el derrame, el FRS informó que se instalarían 37 plantas potabilizadoras para la eliminación de metales del agua contaminada como medida de remediación por la contaminación de lixiviado. Posteriormente, en abril de ese mismo año, se iniciaron las labores de preparación para la instalación de dichas plantas. Díaz et al. (2021) mencionan que, la supervisión de la instalación de las plantas potabilizadoras estuvo a cargo del Colegio de Ingenieros Ambientales de México, asociación civil.

A principios de 2016, se informó por parte de SEMARNAT el comienzo de la instalación de solo 28 plantas potabilizadoras (de las 37 plantas previstas inicialmente) como resultados de la gestión del FRS. Informó también que, dichas

plantas tenían la tecnología para estar apegadas a la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994) de agua potable.

Pese al inicio de la instalación de las plantas, en 2017, la Lic. Claudia Pavlovich Arellano, gobernadora de Sonora informó que Grupo México redujo la instalación de plantas potabilizadoras a solo 9 (nuevamente, de las 37 plantas previstas inicialmente y de las 28 comenzadas), más la ya instalada en Bacanuchi (para un total de 10 plantas) con la justificación de que, los niveles de contaminación se encontraban estabilizados según estudios de CONAGUA y COFEPRIS (Díaz et al., 2018). Para 2018, habiendo pasado casi cuatro años del derrame, solo se habían construido cinco plantas potabilizadoras (fijas) más la ubicada en Bacanuchi con un total de 6 plantas de las 37 prometidas por el FRS, de las cuales ninguna funcionaba. Del mismo modo sucedió con las cuatro plantas potabilizadoras móviles, ubicadas en Arizpe, Huépac, Aconchi y Baviácora pues ninguna de ellas funcionaba.

Las plantas fijas se ubicaron en los municipios de Bacanuchi, Banámichi, San Felipe de Jesús, La Capilla, Mazocahui y San Rafael de Ures.

Díaz et al. (2021) elaboraron una tabla donde se indica el número de muestras fuera del límite permisible de los elementos y parámetros estudiados en el período de agosto de 2014 a noviembre de 2018 en cada municipio de Sonora afectado por el derrame. Además, incluyen el tipo de planta potabilizadora existente en dicho municipio, si es que había una en dicho municipio.

La tabla 2 permite identificar en qué municipios se registró el mayor número de muestras fuera del límite permisible, además de aquellos elementos presentes en la contaminación del agua; de esta forma se puede realizar una comparativa de los municipios que “cuentan” con planta potabilizadora con aquellos que no, esto con el fin de visualizar si existe algún impacto positivo con la presencia de las plantas potabilizadoras en la remediación del agua contaminada.

La tabla 2 se presenta a continuación:

Tabla 2. Elementos y parámetros fuera del límite permisible.

Fuente: Díaz et al. (2021) con base en SEMARNAT (2015).

Sitio	Número de muestras fuera del límite NOM o guía OMS											Planta
	Al	Fe	Mn	So4	pH	Sb	As	Hg	Pb	Turbiedad	Total	
Puerta del Sol	11	52	5			2	4		1	32	107	
La Labor	4	1	65	2		3	11	2			88	
San Rafael de Ures	9	6		51		1	19			2	88	Fija
El Molinito		2		1		4	70				77	
Mazocahui	10	10	1	24		5	2		1	1	54	Fija
Ures	11	20			4	4	4	2		5	50	
San Felipe de Jesús	9	25	1			1	3			6	45	Fija
San José de Gracia		8		21	4		8			3	44	
Guadalupe de Ures	3	2		27	2	2	4			1	41	
Santiago de Ures	17	10	1	6	2	1			1		38	
Topahue		14		8	2	3	7	2			36	
San Pedro de Ures	8	18				2	2			4	34	
San José de Baviácora	4	13		1	1	2	10	1			32	
El Molinote	4	8		6		1	5		1	6	31	
Huépac	10	14			3	1	2				30	Móvil
La Aurora 1	7	7	5	5	1	1	2	1		1	30	
Banámichi	1	5		1	3		12			3	25	Fija
Bamori	2	7			1		8	3		1	22	
Ranchito de Huépac	1	13			2	1	4			1	22	
Baviácora 1	3	4		4		2	9				22	Móvil
La Capilla	1	2	1	8		3	5	1			21	Fija
La Aurora 2		2	1	10		1	4				18	
San Pablo	1	3	4			2	3			4	17	
Baviácora 2	3	4		1		2	4	1		2	17	
Bacanuchi		6		1	2	3		1	1	2	16	Fija
Sinoquipe	3	5					7			1	16	
Tahuichopa	3	3	2				2			3	13	
Baviácora 3	1	1	1	1	2	2	4				12	
La Estancia	1				2	2	5				10	
Arizpe Pozo 3		3			2	1	1				7	
Arizpe Pozo 2	1				1	1	2			1	6	Móvil
Las Delicias	1	3						1	1		6	
Pozo de Aconchi					1		1				2	Móvil
Total	129	271	87	178	35	53	224	15	6	79	1 077	

Se puede observar en la tabla 2 que hay varios sitios con mayor número de muestras fuera de límites permisibles que no cuentan con una planta potabilizadora como lo es Puerta del Sol, La Labor, El Molinito y Ures; las cuales superan más de 50 muestras fuera del límite permisible.

En cambio, dos sitios de los menos contaminados cuentan con una planta móvil (Pozo de Aconchi y Arizpe Pozo 2), que incluso tiene menos de 10 registros de muestras fuera de límite permisible.

Esto muestra que la planificación de la instalación de plantas potabilizadores fue incorrecta, puesto que, algunos sitios de los más contaminados no cuentan con una planta potabilizadora. Al mismo tiempo, algunos sitios de los menos contaminados cuentan con una planta potabilizadora móvil, lo que se traduce a equipos de potabilización desperdiciados o no aprovechados correctamente.

La decisión de optar por una planta potabilizadora móvil puede ser útil, especialmente para los sitios cercanos a ella y poco contaminados debido a que las plantas potabilizadora móviles pueden ser transportadas a distintos sitios, lo que podría utilizarse para transportar la planta móvil a distintos sitios donde pudiera ser necesaria, donde los sitios para transportarla cuenten con las mismas características de contaminación.

La planta potabilizadora ubicada en Bacanuchi fue de gran relevancia, desafortunadamente no por su buen funcionamiento si no porque, al ser la primer planta instalada, marcó un precedente para las demás plantas potabilizadoras,

pues dicha planta pasó por muchos problemas tanto técnicos como administrativos, desde su planeación hasta su instalación. A pesar de toda la problemática surgida para esta planta, el FRS no pudo aprender de su error y no se pudo realizar una mejora para las demás plantas potabilizadoras.

La planta en Bacanuchi fue la primera planta instalada (febrero, 2016) por la empresa IDEAS, de la cual, no se encontró ni se encuentra información sobre la empresa ni el modelo de la planta instalada. En ese mismo año, su funcionamiento ya era un problema, puesto que para junio del mismo año (2016), su contrato por parte de la empresa IDEAS, había terminado. En esa misma fecha, el FRS y CONAGUA se hicieron responsables de la gestión de recursos para su funcionamiento, donde cabe decir que, a pesar de asumir la responsabilidad, no hubo mejorías en el desempeño de la planta.

Sin embargo, un año atrás, en 2015, la planta de Bacanuchi ya presentaba problemas con su instalación como lo informa el Gobierno de México (2015), pues debido a las condiciones climáticas de la zona se suspendieron los trabajos de instalación. A continuación, se muestra el informe que se dio sobre la planta en diciembre de 2015.

Las condiciones climáticas actuales en Bacanuchi, Sonora, presentan temperaturas del orden de los 8° C. Estas condiciones obligan a los contratistas a detener sus trabajos por no ser adecuadas para trabajar por cuestiones de seguridad, asimismo de acuerdo al pronóstico del tiempo del Servicio Meteorológico Nacional se esperan temperaturas cercanas a los -5° C y nevadas en la zona, esperándose la entrada del frente frío número 25.

La obra presenta un avance del 78 % en obra civil, 75 % en instalación de equipo de Planta Tratadora y un 40 % en instalaciones eléctricas, el tiempo de ejecución estimado para la conclusión de los trabajos al 100 % es de 8 a 12 días, con condiciones climáticas favorables.

Tan pronto se tenga información actualizada se informará por este medio.



Figura 9. Planta de Bacanuchi. Suspensión de actividades debido a las nevadas en la zona.

Fuente: Gobierno de México, 2015.

Una vez instalada, el problema radicó en que, la empresa IDEAS no tenía la instalación eléctrica adecuada para el correcto funcionamiento de la planta. Dicha instalación fue proporcionada por CFE acorde a lo presentado y solicitado por IDEAS, pues CFE informó que, la planta de IDEAS no cumplía con los requisitos adecuados debido a que, es responsabilidad total de la empresa el revisar y asegurarse de los requisitos solicitados por CFE, por lo que no se hacían

responsables de la falta de energía eléctrica de la planta; esto debido a que CFE no era la culpable del incumplimiento de requisitos solicitados a IDEAS.

Comités de Cuenca Río Sonora (2016) informaron que intentaron contactar a CONAGUA y al FRS para obtener su versión oficial sobre lo sucedido en la planta potabilizadora de IDEAS ubicada en Bacanuchi y, sin embargo, ninguna de ellas contestó.

Es preciso decir que, la instalación de las plantas potabilizadoras no aseguró el buen funcionamiento del equipo ni la obtención de resultados previstos, y el caso de las plantas potabilizadoras en el río Sonora es el claro ejemplo. Díaz et al. (2021) visitó las instalaciones de las plantas potabilizadoras fijas en el período que comprende de febrero a junio de 2019. Encontró que la mayoría de las plantas fijas contaban con problemas de funcionamiento pasados alrededor de 1-3 años desde su supuesta completa instalación.

A continuación, se muestra una tabla realizada por Diaz et al. (2021) acerca de las diferentes condiciones en que se encontraban las plantas potabilizadoras fijas, así como sus principales problemas de funcionamiento.

Tabla 3. Condiciones de las plantas potabilizadoras fijas.

Fuente: Díaz et al. (2021).

Sitio	Operación	Dificultades para operar	Suministro eléctrico
Mazocahui	No funcionaba.	<p>Cuando se encendía la planta potabilizadora, sólo abastecía a un pequeño sector de la comunidad, porque se había instalado en un lugar inadecuado, donde la tubería de agua era la más delgada de la red (1.5 pulgadas) y por la falta de presión no podía llevar agua a otros sectores con la tubería más ancha (4 pulgadas). Además, se instaló la planta en un lugar con muy poca altitud y por tanto no había presión para abastecer por gravedad.</p>	<p>No contaba con suministro eléctrico de la red. Tenía paneles solares. Tenía un generador eléctrico.</p>

San Felipe de Jesús	No funcionaba.	El problema de la planta potabilizadora es la falta de equipo para cloración del agua; aunque se contaba con las pastillas para el proceso de cloración, no sabían cómo utilizarlas. Se habían realizado gestiones con la Comisión Estatal del Agua, pero no han solucionado el problema.	Contaba con suministro eléctrico de la red. Tenía paneles solares. No tenía generador eléctrico.
La Capilla	Funcionaba de forma intermitente.	Había días en que sí funcionaba, pero tenían problemas, ya que el combustible es costoso y si no había suficiente luz solar, no funcionaban los paneles solares. Durante los meses de junio, julio y agosto faltaba agua y requerían otro pozo.	No tenía suministro eléctrico de la red. Tenía paneles solares. Tenía un generador eléctrico.
Banámichi	No funcionaba.	Cuando la planta se visitó, aún no funcionaba porque todavía no contaba con el suministro eléctrico de la red. Un problema adicional del sistema de suministro es que la pila de almacenamiento tenía una fuga que causaba problemas de derrame de agua.	No contaba con suministro eléctrico. Los paneles solares dan energía al pozo y no a la planta. No tenía generador eléctrico.
San Rafael de Ures	No funcionaba.	Cuando inició su operación se elevó el costo del consumo de energía eléctrica y no tuvieron recursos para pagar. La Comisión Federal de Electricidad les suspendió el servicio.	Tenía suministro eléctrico de la red. No contaba con paneles solares. Tenía generador eléctrico.
Bacanuchi	Funcionaba de forma intermitente.	Al poner en funcionamiento la planta potabilizadora en un determinado horario, algunos habitantes no alcanzaban a abastecerse de agua. Otro problema es el costo de la operación.	No contaba con suministro eléctrico. No tenía paneles solares. Tenía generador eléctrico.

Se puede observar en la tabla 3 que, entre los mayores problemas reportados por Díaz et al. (2021) son de carácter eléctrico, debido a la falta de suministro

eléctrico. Sin embargo, otros de sus principales problemas fueron técnicos que, con una buena planificación y estudios previos correctos, pudieron haberse evitado. Tal es el caso de la planta en Mazocahui donde el problema fue el tamaño de la tubería y la ubicación de la planta en términos de altitud.

En San Felipe de Jesús el problema fue debido a la falta de capacitación del personal y la falta de equipo para su buen funcionamiento, donde esto último también pudo evitarse con una buena planificación. La planta ubicada en Banámichi contó con el problema de falta de mantenimiento pues al no resolver el problema en la fuga de la pila de almacenamiento, esto ocasionaba un mal funcionamiento en toda la instalación.

Gracias a la información recopilada, puede determinarse que la medida de remediación de instalar plantas potabilizadoras fue un fracaso por parte de Grupo México y del FRS. La sola idea de instalar plantas potabilizadoras en diferentes zonas contaminadas resulta de una buena medida de remediación, sin embargo, como se ha mencionado, la falta de planeación sobre la ubicación de las instalaciones, requerimientos técnicos incompletos o erróneos a corto y largo plazo sobre el funcionamiento de las plantas, insumos y personal escasos o nulos son algunos de los factores que determinaron el mal funcionamiento de las plantas. En el presente caso, las plantas potabilizadoras no dieron resultados positivos, lo que conllevó, además de la falta de resultados en materia de calidad de agua, llevó a un desperdicio de dinero utilizado por el FRS en la remediación.

### Respuesta de las personas afectadas. Percepción de la sociedad.

Luque y Murphy (2020) realizaron una encuesta a la comunidad aledaña al río sobre la percepción de la contaminación del río Sonora antes y después del derrame de lixiviado. Los resultados de dicha encuesta muestran que, antes del derrame, cerca del 45% de las personas entrevistadas consideraban que el río estaba poco contaminado, mientras que cerca de un 8% consideraba que el río estaba muy contaminado.

A ocho meses de ocurrido el desastre en el río, tiempo donde se declaró el levantamiento del protocolo de emergencia, el 60% de la población encuestada consideraba mucha la contaminación presente en el río mientras que, cerca del 5% consideraba poca la contaminación.

Veintiséis meses después de ocurrido el derrame (octubre de 2016) las cifras de la población que consideraba mucha la contaminación en el río se mantenía en un porcentaje similar (60%), al igual que la cifra de población que consideraba poca la contaminación. A continuación, se anexa la figura donde se observan los porcentajes completos de la encuesta realizada por Luque y Murphy (2020).

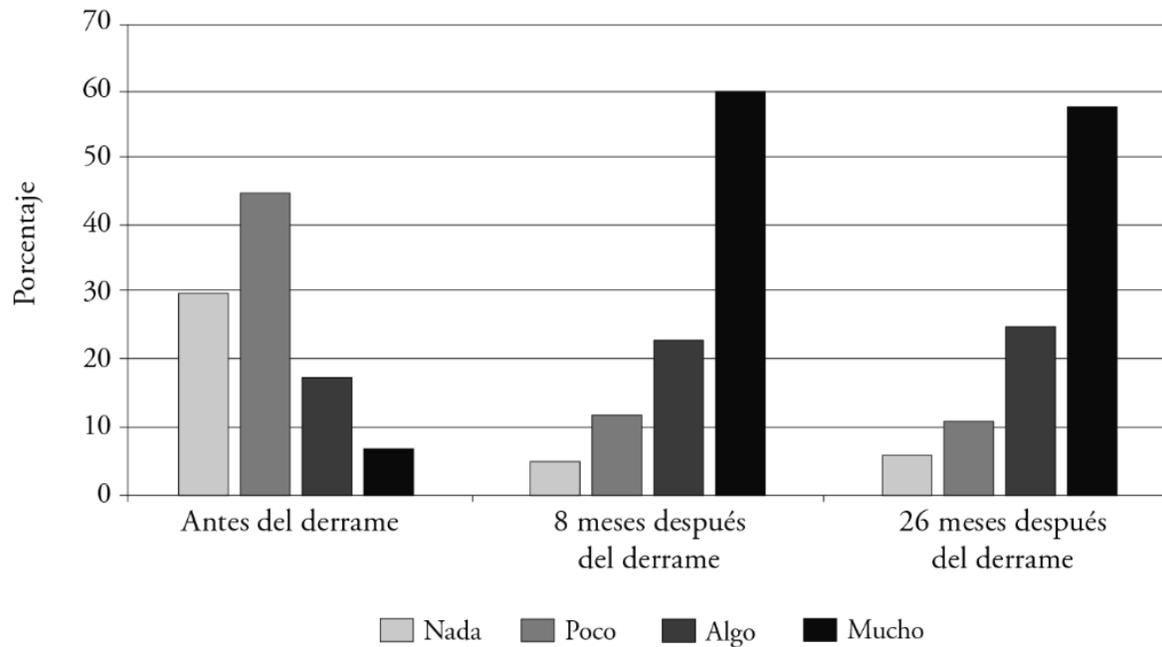


Figura 10. Grado de contaminación del río Sonora, según la percepción de los entrevistados.

Fuente: Luque y Murphy (2020).

La información recabada por la encuesta es de mucha utilidad pues ayuda a visualizar la percepción de la población afectada, sin embargo, no se menciona que sector de la población fue entrevistada o, si el río impactaba en el día a día de las personas. La visualización y percepción de la contaminación del río no es del todo objetiva pues es solo un punto de vista que es influenciado por diferentes factores.

A pesar de la utilidad de esta encuesta, distintos factores pueden alterar la percepción de la población hacia la contaminación, entre los que resaltan el fácil acceso al agua potable sin dependencia del río, o incluso a la profesión de la

población, donde puede verse influido el río en cuestión de atravesar alguna zona de este.

Toscana y Hernández (2017) mencionan que, uno de los mayores descontentos de la población afectada fue debido a que el FRS suspendió la entrega de recursos (agua principalmente) del 6 de marzo al 7 de junio de 2015. Cabe mencionar que, para ese tiempo, ya se habían marcado fuertemente las consecuencias debido al derrame, tanto ambientales como sociales y económicas.

La visualización en general de la población, o al menos en un gran sector de esta, era que el FRS no resolvió nada ni remedio (ambientalmente) nada, pues se tiene la percepción de que fue una forma de evitar las protestas además de evitar hostilidades en la población y que, en cambio, generó confrontaciones entre la población sobre la efectividad del FRS.

Entre los testimonios recopilados por Toscana y Hernández (2017), gran parte de la población afectada concuerda en que, tanto la minera Grupo México y el Gobierno Federal son culpables de la contaminación en el río, pero además, hacen responsable a ambos por no hacerse cargo de la remediación y dejar a la derivada a la población afectada.

Desde ocurrido el derrame, la población de las zonas afectadas se movilizó para exigir la remediación y restauración de la contaminación generada por BVC, además de pagar los gastos médicos necesarios para las personas afectadas de salud debido al agua contaminada o relacionada con la contaminación generada. La fuerte movilización de la población se observó claramente cuando empezaron a

reunirse los primeros miembros de los Comités de Cuenca Río Sonora (CCRS), reuniones donde empezaban a perfilarse los líderes de los comités como bien menciona Lamberti (2020) además de que, los comités serían oficiales para agosto de 2015.

Lamberti (2020) en su trabajo *“El desastre del Río Sonora: una lucha por el derecho a la participación en asuntos medioambientales”* recopiló algunos testimonios de algunos miembros de CCRS. A continuación, se muestra un fragmento de un miembro de CCRS:

*“Participo en el Comité porque considero que aquí se están haciendo algunas injusticias y alguien tenía que hacer algo en nuestro problema. Y orgullosamente puedo decir que formo parte de este Comité por el bien de mis hijos, a la mejor a nosotros ya no nos toque ver el resultado de nuestro trabajo pero nos da una gran alegría el estar aquí y estar invitando a gente y me siento con satisfacción que la gente nos siga. Y yo no estoy luchando para mí, tengo el concepto muy claro que esto es colectivo. (Entrevista a Roberto, CCRS, Aconchi, septiembre de 2019).”*

Fuente. Lamberti (2020)

Otro descontento por parte de la población afectada fue que, las ganancias de las cosechas que se pudieron lograr a pesar del derrame (las cuales ya por sí solas no eran satisfactorias ni suficientes), no fueron las esperadas, esto debido a que la desconfianza de la población hacia las cosechas era muy marcada, pues creían que podían estar contaminadas por metales pesados provenientes del agua

contaminada, como del suelo contaminado. Esta desconfianza fue más allá de los pobladores locales, pues fue tal la desconfianza de la cosecha que incluso era difícil comercializarla (Lamberti 2020).

Ibarra (2018) hace mención que, gracias a lo sucedido en el río Sonora, se ha despertado la conciencia pública de la población ante eventos de esta naturaleza y de los peligros que representa la actividad minera. Sonora, como se mencionó con anterioridad, es uno de los estados con mayor influencia en temas ambientales en el país debido a la fuerte presencia de industrias mineras y de otros sectores.

Por tanto, es de vital importancia que la población sea informada sobre los procedimientos de las industrias y lo que implica sus procesos en el ambiente como en la comunidad, pero además, participe activamente en la justicia ambiental; pues el participar genera una comunicación entre los tres actores principales en temas ambientales, los cuales son: empresa a carga del proyecto, comunidad local y gobierno federal. Al generarse la comunicación entre los tres actores mencionados, se podrán realizar acuerdos y medidas en conjunto para una mejor relación, donde los procedimientos de la empresa o industria afecten negativamente lo menos posible y en caso de ser posible, ayude a la comunidad local.

Este es el principio básico de la sustentabilidad. La falta de comunicación en alguno de estos tres actores generará grietas en la comunicación y en casos extremos, en la confrontación de los actores involucrados.

En el caso del derrame del río Sonora, no es de sorprenderse que dicha comunicación entre los tres actores mencionados fuera casi nula. De haber existido una correcta comunicación pudo haberse implementado acciones como lo pude haber sido con un correcto plan de emergencia contra desastres en donde tuviera participación activa tanto la comunidad local, como el gobierno.

La sociedad debe entender que, para poder un control de las tierras de las concesionarias mineras, debe de estar presente para exigir las medidas de seguridad, además de contar con el conocimiento de los terrenos a explotar; así como las consecuencias tanto ambientales, como económicas y por supuesto, sociales que implica una minera cercana a un asentamiento. Esto hará que cada vez más nos acerquemos a una mejor sustentabilidad de nuestro planeta.

#### Salud poblacional. Unidad de Vigilancia Epidemiológica Ambiental de Sonora (UVEAS).

Una de las medidas de acción tomadas por el FRS fue la creación de la Unidad de Vigilancia Epidemiológica Ambiental de Sonora (UVEAS) en la localidad de Ures (lugar donde se une el río Bananuchi y Bacoachi al río Sonora) para atender las problemáticas de salud presentadas en los habitantes o posibles afectados por contacto directo e indirecto con el agua contaminada del río Sonora. Supuestamente los servicios de UVEAS estarían disponibles desde inicios de 2015 hasta 2029 según lo informado por el FRS, lo cual no se cumplió conforme lo indicado a continuación.

UVEAS estaba proyectada iniciar actividades en los primeros meses de 2015 (alrededor de 6 meses después de ocurrido el derrame), sin embargo, Ibarra y Moreno (2017) informaron en 2017 que no había sido concluida la instalación de UVEAS a pesar de ya pasados casi dos años de su supuesta inauguración. Informaron además que, el presupuesto destinado a esta unidad era de aproximadamente 279 millones de pesos, fondos pertenecientes al FRS. Además de un costo anual de 6 millones de pesos (Ibarra y Moreno, 2017).

Del mismo modo que sucedió con las plantas potabilizadoras en 2017, la Lic. Claudia Pavlovich Arellano, gobernadora de Sonora informó que Grupo México y el FRS no completarían el programa UVEAS con la excusa de que “los niveles de contaminación habían sido contenidos” y por ende, la salud de la población estaba fuera de peligro.

Un punto a destacar es que, al no completarse el programa UVEAS, el monto destinado para dicho programa proveniente del FRS fue removido, no obstante, no se dio información sobre el monto sobrante debido a la cancelación del programa ni se brindó información sobre si el monto había sido utilizado para otras acciones de remediación.

Ibarra y Moreno (2017) informaron que, referente a los problemas de salud encontrados, COFEPRIS informó en 2016 que fueron encontrados 360 casos de afectaciones donde en su mayoría de los casos, (cerca del 80%) las afectaciones eran en la piel; como dermatitis, quemaduras e irritación. Lamberti (2020) brinda más información acerca de los casos de afectaciones, pues indica que después de

dicho reporte efectuado por COFEPRIS, no se volvió a dar cifras actualizadas de los casos de afectaciones.

PODER efectuó solicitudes para el acceso a dicha información, sin embargo, la respuesta de COFEPRIS solo fue que no les competía tener dicha información; esto a pesar de no solicitar datos personales ni revelar información personal de los afectados, sino solamente la cifra actualizada como la habrían proporcionado en 2016.

**Atención Médica Integral a la Población Afectada, 2014-2015**

Consultas médicas*	<b>1,373 Consultas:</b> • 1,051 medicina general • 322 medicina especializada
Toma de muestras biológicas (sangre y orina)	<b>318 Pacientes:</b> • 88% del total de casos identificados y confirmados.
Medicamentos entregados a la población	<b>3,150 piezas de medicamentos</b>
Familias encuestadas (visitas domiciliarias)	<b>4,325 familias</b>

\* La atención médica especializada incluye consultas dermatológicas, de medicina interna y de pediatría.

Figura 11. Cifras registradas por UVEAS reportadas por el Gobierno de México en el periodo 2014-2015.

Fuente: Gobierno de México, 2015.

Lamberti (2020) menciona que, en las afectaciones de salud, las comunidad han tenido que hacer gastos extras fuera de lo otorgado por el FRS, esto debido a que los médicos de UVEAS al tratar a los pacientes afectados, les indicaron que no padecían síntomas graves o los minimizaban, sin embargo, médicos particulares

han contradicho los diagnósticos de los médicos de UVEAS, dando mayor atención y preocupación a síntomas presentados por los pacientes.

Uno de los objetivos de la creación de UVEAS era el monitoreo de la salud poblacional a través del tiempo, esto gracias a la hipótesis inicial de la bioacumulación de metales pesados en la sangre conforme el tiempo avanza, por lo que estaba prevista que estuviera activada hasta 2029 como informó el FRS (Ibarra y Moreno, 2017), sin embargo, Lamberti (2020) informó que a finales de 2016, cerró definitivamente la clínica provisional encargada de atender la salud poblacional, no obstante, debido al retiro de apoyo financiero por parte del FRS, UVEAS no sería terminada como informó la Lic. Claudia Pavlovich Arellano.

Testimonios en cuanto a la salud de la población afectada por el derrame son abundantes, sin embargo, Lamberti (2020) nos comparte uno donde se expone la posible negligencia de los médicos pertenecientes a UVEAS. El testimonio es el siguiente:

“En general, las citas médicas no mencionaban el derrame ni la contaminación por metales pesados como la causa de los problemas (...) El tercer examen obtuvo como resultado un nivel de cobre más alto que los anteriores, en un número por encima de la “normalidad”. Cuando obtuve este resultado, me dijeron que “no pasaba nada” pues era poco lo que se había elevado. El tratamiento estuvo enfocado en medicinas relacionadas con los niveles de glucosa (Metformina) y triglicéridos (Bizafibrato), y jamás se puso atención al contenido de metales en la sangre” (Testimonio de Rosa, municipio de Banámichi).

Fuente. Lamberti (2020)

En el presente testimonio se puede observar cómo la gente percibía la atención de los médicos de UVEAS, pues tal y como es relatado, dichos médicos parecían minimizar los síntomas e incluso justificar los síntomas con posibles causas totalmente ajenas al derrame, esto a pesar de que antes del derrame, los síntomas no se encontraban presentes en la población afectada.

Legislación Ambiental en México. Programa APELL. Errores y aciertos del plan de acción de emergencia.

Legislación Ambiental en México

En México, la legislación ambiental comienza por el Artículo 4° de la Constitución Política De Los Estados Unidos Mexicanos que dice: *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”*.

Este artículo pasó por varias modificaciones desde su incorporación en 1999, sin embargo, al observar el último párrafo de este artículo se puede observar la incorporación de la justicia ambiental a la legislación nacional pues, de acuerdo a las palabras expresadas en el artículo, se puede definir que existe una responsabilidad ambiental, lo que a su vez, debe ejercerse y exigir el cumplimiento de la misma.

A pesar de no estar establecida toda una legislación ambiental dentro del artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, si es la base para que se desprenda toda una legislación a cargo del Gobierno de México y sus secretarías respectivas, como lo es SEMARNAT y CONAGUA para dar lugar a la leyes de carácter ambiental, dentro de las que se encuentra la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.

De la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que, es máxima ley en el país, pasamos al segundo peldaño de jerarquía donde se encuentran los Tratados Internacionales, y para el tercer nivel de jerarquía se encuentran las leyes federales aplicables a todo el territorio mexicano como la mencionada anteriormente.

Entre las leyes federales se encuentran: la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, Ley Federal de Responsabilidad Ambiental y la Ley General de Cambio Climático.

En la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en su artículo 15°, fracción IV se nos dice que *“Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique...”* por lo que se entiende que esta ley considera fuertemente la justicia ambiental para sus respectivos artículos. En este mismo artículo, fracción VI, se indica lo siguiente: *“La prevención de las causas que los generan, es el medio más eficaz para evitar los desequilibrios ecológicos”*.

Siguiendo este artículo, en su fracción XX indica lo siguiente: *“La educación es un medio para valorar la vida a través de la prevención del deterioro ambiental, preservación, restauración y el aprovechamiento sostenible de los ecosistemas y con ello evitar los desequilibrios ecológicos y daños ambientales.”* Como se mencionó anteriormente, el conocimiento pero sobre todo, la participación sobre decisiones ambientales por parte de los tres individuos principales, así como la comunicación entre estos, conducirá hacia un camino hacia la sustentabilidad.

En el artículo 30 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente hace mención sobre los informes de impacto ambiental por parte de la empresa y las modificaciones al proyecto o de la obra. Menciona que al ocurrir un cambio en dicho proyecto, se deberá notificar en un plazo no mayor a 10 días las modificaciones de acuerdo al impacto ambiental que genera dichas modificaciones. Se mencionó en secciones anteriores del presente trabajo la naturaleza de la industria minera y el constante cambio que sufre esta industria para el mejoramiento de sus procesos, por lo que las modificaciones en el impacto ambiental también sufrirán cambios de acuerdo a la actualización o modificación de sus procesos.

Que exista una legislación ambiental “establecida”, no significa que esta sea eficaz o incluso que este completa y que no tenga fallas. Además, implica que el Gobierno de México no sea titubeante en ejercerla sobre los responsables que atentan contra el medio ambiente, es decir, que sea exigente para remediar o mitigar las consecuencias de las acciones que provoquen un daño por más mínimo que sea.

En el capítulo segundo de la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, en el artículo 10 se menciona lo siguiente: “...*De la misma forma estará obligada a realizar las acciones necesarias para evitar que se incremente el daño ocasionado al ambiente.*”; este artículo puede ser discutido, pues la presente ley no hace mención sobre el tiempo para evitar que el daño se incremente. El accidente del derrame de lixiviado tuvo la agravante a través del tiempo, pues mientras más tiempo se encontraba el lixiviado en movimiento, el incremento era mayor. La presente ley no especifica sobre un suceso con la condicionante a través del tiempo, pues solo indica que se tendrán que realizar las acciones para evitar el incremento del daño.

Adentrándose en la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, se encuentra, específicamente en su artículo 19°, que aquel que contamine solo deberá asumir un costo “equivalente” a la contaminación ocasionada, sin embargo, la multa máxima para una persona moral solo asciende a un máximo rango de mil (1, 000) a seiscientos mil (600, 000) días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal al momento de imponer la sanción que, para entonces ascendía aproximadamente a 40 millones de pesos (Ibarra y Moreno, 2017; Gobierno de México, 2021).

A esto se le suma la accesibilidad de la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental puesto que en su artículo 20°, indica que, los montos máximos o mínimos pueden ser reducidos a una tercera parte cuando la persona moral cumpla al menos tres de los cinco requisitos previstos en el mencionado artículo.

Sin embargo, el Gobierno Federal (2015) informó el 2 de marzo de 2015 a través de Guillermo Haro Bélchez, Procurador Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) que, la multa total a Buenavista del cobre sería de 22,959,386 millones de pesos divididos de la siguiente manera:

- \$7,000,000 por el derrame de una solución de sulfato de cobre acidulada (3 irregularidades);
- \$ 4,065,800 en materia de atmósfera (9 irregularidades);
- \$ 596,551 en materia de residuos peligrosos (7 irregularidades);
- \$ 11,297,035 en materia de impacto ambiental (36 irregularidades)

Cabe mencionar que, el monto de los recursos financieros destinados al fideicomiso fue tan solo de 2 000 millones de pesos, cifra independiente de la multa total.

En los artículos 2°, 35° y 36° de la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental se encuentra a percepción propia, una definición de vital importancia. Se menciona que para adjudicar la contaminación de una zona, es necesario contar con los valores de fondo (estado base) que no es más que el estado (químicamente) de la zona antes de la supuesta contaminación; esto con el objetivo que encontrar hasta qué punto se puede adjudicar la contaminación acusada.

Agregando a esta definición, en el artículo 13 de la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental, se menciona lo siguiente: *“La reparación de los daños ocasionados al ambiente consistirá en restituir a su Estado Base los hábitat, los*

*ecosistemas, los elementos y recursos naturales, sus condiciones químicas, físicas o biológicas y las relaciones de interacción que se dan entre estos...”*

Esta definición es importante pues marca exactamente los valores que determinan la sanción de la que es acreedora la persona moral. Sin embargo, determinar el valor de fondo no es cosa sencilla. La Ley Federal de Responsabilidad Ambiental no considera actividades no relacionadas con el accidente al momento de determinar el valor de fondo, por lo que encontrar valores completamente reales y adjudicables a la empresa será casi imposible, además, considerando que en Sonora, la minería se encuentra fuertemente presente y no solamente por la empresa Grupo México.

En la Ley de Aguas Nacionales, en su título séptimo “Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas y Responsabilidad por Daño Ambiental”, a lo largo de todo su capítulo I “Prevención y Control de la Contaminación del Agua”, habla sobre las facultades otorgadas a la autoridad del agua; en el artículo 86, en sus fracciones II y III se hace mención de lo siguiente como de carácter de la autoridad del agua:

*II. Formular y realizar estudios para evaluar la calidad de los cuerpos de agua nacionales;*

*III. Formular programas integrales de protección de los recursos hídricos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua;*

Pero además se menciona las obligaciones de las personas morales, dependencias y organismos, específicamente en su artículo 85, entre las cuales están:

*a. Realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y, en su caso, para reintegrar las aguas referidas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su explotación, uso o aprovechamiento posterior, y*

*b. Mantener el equilibrio de los ecosistemas vitales.*

El programa APELL brinda la información necesaria para tratar de evitar la contaminación del ambiente, a través de la prevención, como lo manejan diversos artículos de diversas leyes mexicanas en tema ambiental; con el manejo e implementación del Plan de Respuesta de Emergencia ante desastres.

## APELL

El Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA) ha implementado desde 1988 el enfoque APELL para reducir el riesgo de emergencias ambientales y tecnológicas.

El programa Concientización y Preparación para Emergencias a Nivel Local (APELL, por sus siglas en inglés, Awareness and Preparedness for Emergencies at the Local Level) de PNUMA es un manual utilizado para la preparación de un Plan de Respuesta de Emergencia ante desastres, en este caso específico, desastres de índole minero.

El mismo programa APELL menciona que puede ser utilizado tanto por las empresas mineras, agencias de respuesta de emergencia (que puede ser Protección Civil en el caso mexicano), funcionarios estatales y comunidades locales. (PNUMA, 2004).

El objetivo principal del programa APELL es *“prevenir la pérdida de vidas o daños a la salud y el bienestar social, evitar daños a la propiedad, y salvaguardar la seguridad ambiental en una comunidad local.”* (PNUMA, 2004).

La minería implica numerosos riesgos, los cuales deben ser tomados en cuenta para elaborar un plan de emergencia, sin embargo, se deben conocer los procesos para poder entender bien los riesgos presentes en la industria minera. El programa APELL hace hincapié en que, la mejor manera de atacar un desastre es con la prevención. Menciona además que, por la experiencia se tiene conocimiento que, en muchas ocasiones, la comunidad local no tiene conocimiento de los planes de emergencia.

Una acción pronta y acertada por parte de todos los involucrados y afectados puede mitigar la propagación del desastre e incluso limitar los daños ocasionados por el mismo, siempre teniendo en cuenta la adaptación de cada comunidad y el acceso de recursos que se tenga, pues esto es un factor de vital importancia al generar un plan de emergencia ante desastres.

El programa APELL implica principalmente a tres personajes principales: compañía, comunidad local y autoridades locales. Estos tres individuos deben de estar en constante comunicación y coordinación para la preparación, reducción de

riesgos y prevención de desastres. La comunicación eficaz de estos tres individuos aumenta la calidad de respuesta ante los desastres y disminuye la cantidad de daño ocasionado por éste.

APELL Para Minería menciona algo de vital importancia a consideración propia y cito: *“APELL puede aplicarse a cualquier situación de riesgo, ya sea industrial o natural. Lo puede iniciar cualquiera de las partes, aunque es de esperar que las compañías tomen la iniciativa”*. Como se revisó anteriormente, la empresa BVC no dio aviso inmediato del derrame, pues fue la comunidad la que informó a Protección Civil sobre el color cobrizo del río, que indicaba una contaminación. A pesar de que fue la comunidad quien dio aviso, la empresa BVC debió informar inmediatamente del derrame y así comenzar con el plan de emergencia.

A pesar de que la comunidad cercana a las empresas debe estar informada acerca de los posibles riesgos naturales e industriales, no siempre es así. En muchas ocasiones, la magnitud de un desastre depende de que tanta información esté disponible para contrarrestar la emergencia. El programa APELL alienta a las empresas a informar a su comunidad sobre estos posibles riesgos, además de informar que pueden hacer como comunidad puesto que la empresa está obligada a conocer sus procesos y los riesgos que conllevan cada uno de ellos, así como la potencial contaminación que puedan ocasionar.

Esto también aplica para casos inversos, pues APELL menciona que, información incompleta o errónea puede conllevar de incidentes menores a emergencias de consideración.

En la legislación mexicana sobre temas ambientales no se menciona ni indica nada sobre el cumplimiento o la guía del programa ni de la obligación de cumplir con APELL. Sin embargo, la legislación mexicana si obliga a las empresas a tener un plan de emergencia contra desastres, pero no siguiendo la guía del programa APELL propuesta por PNUMA.

A pesar de lo mencionado, el programa APELL nos indica que cada empresa es responsable de tomar la decisión de seguir o no las recomendaciones y pasos del programa, sin embargo, si hace la recomendación para considerarse como una alternativa a seguir.

La industria minera, como se mencionó al inicio del presente trabajo, es una industria en constante desarrollo, tanto en sus procesos como en los reactivos utilizados. Los procesos van desarrollándose y cambiando gradualmente. Esto contiene implicaciones para los planes de emergencia contra desastres.

El conocer los cambios en el proceso oportunamente hará posible las modificaciones necesarias y pertinentes en los planes de emergencia, lo cual, se traduce a mejores respuestas y disminución de daños en caso de presentarse algún desastre.

Entre los principales accidentes potencialmente peligrosos presentados en el programa APELL, se encuentran dos relacionados al desastre ocurrido en el río Sonora. A continuación, se presentan dichos accidentes mencionados en APELL.

Clase de Incidente	Causas Típicas	Efectos Potenciales
Falla de presa de relaves	Mal manejo del agua, colmatación, falla de cimientos, falla de drenaje, tubería, erosión, terremoto.	Pérdida de vidas, contaminación de suministros de agua, destrucción del hábitat acuático, pérdida de cosechas y contaminación de tierra agrícola, amenaza para el hábitat y biodiversidad protegidos y pérdida de medios de vida.
Falla de tubería para relaves, solución de lixiviación	Mantenimiento inadecuado, falla de equipo, daño físico a la tubería.	Contaminación del suelo, agua, efectos sobre los usuarios del agua. Puede no ser detectado por un tiempo si es fuera del emplazamiento

Figura 12. Accidentes potencialmente peligrosos relacionados con fallas en la presa o tuberías de lixiviados presentados en APELL.

Fuente: APELL para Minería, PNUMA (2004).

El programa APELL menciona que, acciones preliminares al inicio formal del programa puede ayudar a un mejor manejo y establecimiento del programa. Entre algunas de las acciones que se recomiendan, se encuentra la buena comunicación entre los sectores antes mencionado que son gobierno, empresa y comunidad.

Entre algunas otras acciones preliminares se encuentran: la identificación previa de personas, entidades o equipo en potencial peligro; la concientización sobre la importancia del manejo correcto de desastres; el conocimiento general de procedimientos vigentes en cuestión de seguridad y la creación de un Grupo Coordinador; el cual será el encargado de la planificación, coordinación y comunicación del programa APELL.

APELL enfatiza en que, el Grupo Coordinador, no se involucra operativamente en el proceso para llevar a cabo el plan de emergencia sino, como su nombre lo indica, coordina las acciones que se llevan a cabo. Entre las funciones principales del Grupo se encuentra:

- *Asegurar líneas de comunicación abiertas entre todas las partes.*
- *Fijar objetivos y plazos para el proceso.*
- *Supervisar el desarrollo del plan coordinado de acción de emergencia (10 pasos).*
- *Establecer grupos de trabajo para tareas específicas.*
- *Preparar a las diversas partes involucradas para que conozcan sus tareas en caso de ocurrir un accidente.*

*APELL para Minería, PNUMA (2004).*

La conformación del grupo será principalmente por gerentes de la empresa minera, representantes de entidades ambientales, encargados de seguridad y emergencia; además de representantes de la comunidad (PNUMA, 2004).

**Definición de la comunidad local como paso vital de la prevención.**

En el proceso inicial al programa APELL, se encuentra el apartado de la “definición de la comunidad local”. Este apartado es de suma importancia conocerlo debido a que es la caracterización de los posibles alcances de contaminación en el hipotético caso extremo de un desastre.

Esto es vital mencionar, debido a que, como ocurrió en el caso del derrame del río Sonora, el alcance de la contaminación fue muy amplio, incluso alcanzando varios municipios del estado de Sonora.

APELL menciona que, no forzosamente la comunidad potencialmente afectada es la misma con la que la empresa minera trata día con día, incluso puede no ser la más cercana a la zona de operaciones. El alcance del desastre dependerá en gran medida del tipo de contaminación que ocurra.

Entre las consideraciones a tomar en cuenta al momento de definir la comunidad local, definir los posibles límites y alcances de un desastre por contaminación están:

- *Límites geográficos o administrativos.*
- *Límites de captación (vertientes hídricas y aéreas).*
- *Organismos estatales que afectan las operaciones.*
- *Terratenientes tradicionales.*
- *Organizaciones influyentes: cívicas, religiosas, educativas, etc.*
- *Medios de prensa principales.*
- *Inquietudes de los residentes locales.*

*APELL para Minería, PNUMA (2004)*

Para el caso del derrame en el río Sonora, era de suma importancia esta sección del programa de prevención de accidentes, pues debió considerarse la presencia de la cuenca en la zona, desde el río Bacanuchi hasta la incorporación al río Sonora; además de su cauce natural hacia el sur rumbo a Ures y posterior a la

presa “El Molinito” pues toda esta zona mencionada era potencialmente la más perjudicada en caso de un desastre como el ocurrido en 2014.

Otro punto a tomar en cuenta, era la presencia de pozos, pues estos fueron y son las fuentes principales de proveer agua a los municipios y comunidades aledañas, al entrar en contacto con el lixiviado, estos se contaminarían y ahora no solo se tendría que tratar con la ya presente contaminación, sino también con la falta de agua a los municipios dependientes de los pozos.

Como se mencionó en la descripción de la zona afectada por el derrame, se debe recordar que el río Sonora no siempre tiene presencia de precipitaciones, y donde también las temperaturas pueden llegar a ser muy altas de forma que se disminuye el flujo de agua en el río. Esto debe tomarse en cuenta, pues no en todos los meses del año se encuentran las mismas condiciones ambientales por lo que en diferentes estaciones del año, la respuesta ante el desastre pueda variar debido a los cambios climatológicos.

La presencia de huracanes durante la propagación de lixiviado por parte de BVC fue una variable que generó cambios en el abordaje del desastre, pues generó un aumento en el flujo del cauce del río, por tanto, una mayor rapidez de propagación y movimiento de lixiviado hacia el sur. La presencia de huracanes debe ser parte de la previsión para tomar en cuenta al momento de realizar un plan de emergencia, pues supone una condición no benéfica para el control del desastre.

La presencia de viento, así como su velocidad y dirección también es una condición climática a tomar en cuenta, pues ya con la sola presencia de altas

temperaturas puede dejar sin humedad a residuos de lixiviado ácido lo que conlleva a otras consecuencias. El aire puede fungir como movilizador para transportar el polvo residual de lixiviado a otras partes de la zona. En otras palabras, la contaminación ocasionada por el lixiviado se seguiría propagando, contaminando el aire presente en zonas habitables o incluso provocando contaminación de suelos debido a la deposición de residuos de lixiviados que no se encontraban presentes en cierta zona pero que fueron transportados por el aire.

APELL y sus diez pasos.

La estructura del programa APELL está dado por una serie de pasos a seguir.

APELL está conformado por 10 pasos los cuales se mencionan a continuación:

#### Paso 1

Identificar a los participantes y sus roles.

#### Paso 2

Evaluar y reducir los riesgos fuera del emplazamiento.

#### Paso 3

Revisar los planes existentes e identificar los puntos débiles.

#### Paso 4

Identificación de tareas.

### Paso 5

Concordar tareas y recursos.

### Paso 6

Integrar el plan individual al plan general y lograr consenso.

### Paso 7

Redactar el plan final y obtener aprobación.

### Paso 8

Comunicación y entrenamiento.

### Paso 9

Prueba, revisión y actualización.

### Paso 10

Educación comunal.

APELL comenta que cada uno de estos pasos es importante más no obligatorios, pero se recomienda seguirlos como se plantean para tener un correcto plan de emergencia contra desastres. La decisión de implementar pasos aislados de APELL podría generar huecos en la estructura final del programa de prevención.

Cada uno de estos pasos se analiza más a profundidad a continuación. Además se comenta la relación con el desastre ocurrió en el río Sonora.

*Paso 1: Identificar a los participantes en la respuesta de emergencia y establecer sus roles, recursos e intereses.*

El primer paso del programa APELL es de vital importancia conocerlo pues es donde se designa a todos los participantes, así como los roles de cada uno de los integrantes en la respuesta de emergencia. Es importante decidir a los integrantes pues ellos deben de estar capacitados dependiendo del rol que se les vaya a asignar.

Se debe tener en cuenta que; en las zonas mineras debido a su naturaleza, no siempre se encontrarán los candidatos perfectos, sin embargo, es obligación de la empresa el incluir la capacitación para que los candidatos y futuros miembros sean los más aptos para algún rol específico.

Entre algunos de los candidatos que recomienda el programa APELL son: servicios de salud en general, así como personal contra envenenamiento y/o intoxicación; hospitales; agencias ambientales con especialización en suelo, agua y aire; protección civil; agencias gubernamentales enfocados a obras públicas, caminos y carreteras.

APELL menciona que en este paso es importante conocer los recursos e insumos que cuenta la empresa para llevar a cabo el plan de emergencia, y si es el caso, tener en cuenta las deficiencias y ausencias de insumos. Se nos menciona también la importancia de conocer los planes de emergencia vigentes como antecedentes para la realización y renovación de un nuevo programa.

En el caso del desastre del río Sonora, se puede cuestionar la ausencia de organizaciones involucradas, pues no fue hasta que se BVC avisó a PROFEPA, donde esta última se integró a las acciones de remediación pero principalmente se involucró en la creación del Fideicomiso Río Sonora.

La falta de involucramiento también ocurrió a nivel local, puesto que la comunidad afectada por la contaminación no tenía la información ni la preparación para afrontar de forma efectiva el desastre ocurrido por la presencia de lixiviado en el río.

*Paso 2: Evaluar los riesgos y peligros que pueden originar situaciones de emergencia en la comunidad, y definir alternativas de reducción de riesgos.*

Este paso como todos los de APELL es de suma importancia, sin embargo, en este paso se debe poner especial atención, pues es la base para todo el programa restante. A lo largo del presente trabajo se ha mencionado la importancia de la identificación de riesgos y peligros y con justa razón.

La identificación de riesgos y peligros hace posible la representación del escenario estudiado, de forma que es posible identificar las consecuencias en el peor de los casos, en dado caso de ocurrencia. Sin embargo, también surge la oportunidad de la visualización para reducir la posibilidad de riesgos y peligros. La simulación de un desastre siempre traerá consigo importantes consideraciones para la organización, modificación e implementación de un plan de emergencia ya creado o incluso para la creación de alguno, pues se puede visualizar de una forma muy efectiva en qué sectores se debe poner más atención.

El Grupo Coordinador es el encargado de supervisar la lista de riesgos. Entre las consideraciones para dicha lista se debe tener en cuenta que, una de las recomendaciones que informa APELL es basarse en accidentes ocurridos con anterioridad en la empresa o empresas de carácter similar al riesgo estudiado, así mismo como accidentes de distinto índole, incluyendo el manejo de sustancias peligrosas (PNUMA, 2004).

El siguiente punto que informa APELL es de relevancia para lo ocurrido en el río Sonora. APELL informa entre las consideraciones del Grupo Coordinador que:

*“- Tener en cuenta los desastres naturales tales como terremotos, inundaciones e incendios forestales, que pueden causar o complicar las emergencias en una actividad;*

*- Estudiar los peligros climáticos – el congelamiento puede contribuir a la ocurrencia de algunos accidentes, el deshielo contribuirá a otros. En ciertas partes del mundo, algunos accidentes tienen mayor tendencia a ocurrir en la estación seca o húmeda.;”*

*APELL para Minería, PNUMA (2004).*

APELL da pauta para volver a mencionar la falta de planificación en el plan de emergencia por parte de la empresa BVC debido a la falta de consideraciones de acuerdo a su ubicación geográfica de la empresa, pues al no considerar este aspecto, muchas variables climatológicas quedan sin considerarse.

En el estado de Sonora, específicamente en la zona afectada por el derrame, se encuentra un clima cálido con altas temperaturas y precipitaciones escasas.

También es pertinente considerar que, en el invierno, dicha zona presenta temperaturas que descienden considerablemente, incluso llegando a temperaturas cercanas a 0°.

Se debe recordar que el derrame ocurrió en el mes de agosto, donde las temperaturas aún son muy altas, pero en la temporada mencionada, puede haber presencia de huracanes, que justamente fue lo ocurrido en agosto de 2014. La presencia de huracanes cambia por completo la percepción del riesgo, pues implica un aumento en los vientos presentes en la zona y sobre todo, la presencia y el aumento en las precipitaciones, lo que conlleva a un aumento en el flujo del caudal en el río Sonora, lo que a su vez se traduce como un aumento en la movilización de lixiviado.

Es responsabilidad de la empresa minera (en este caso, BVC) identificar los riesgos, así como la probabilidad de ocurrencia de un desastre, incluidas las consecuencias e impactos derivados por el peligro principal estudiado, tomando en cuenta los factores ambientales, sociales y económicos así como los desastres naturales con probabilidad considerable de ocurrencia en la zona.

APELL menciona que de esta forma se pueden buscar las mejores opciones para disminuir los riesgos, además de tener en cuenta la opción de cambiar de maquinaria, equipo o incluso de sustancias (cuando sea posible) para disminuir los riesgos al mínimo. Disminuir riesgos no solo implica tener consideraciones con variables externas a los procesos llevados a cabo en la empresa, también implica reducir riesgos que involucren a los procesos, donde esto posiblemente implica el cambio de equipo.

Donde exista la posibilidad de eliminar el riesgo a probabilidad cercana a 0, se tendrá que hacer lo posible para que esto ocurra (PNUMA, 2004).

*Paso 3: Lograr que los participantes revisen sus propios planes de emergencia, incluyendo las comunicaciones, para que se uniformicen con respecto a una respuesta coordinada.*

El programa APELL menciona que, la importancia de este paso radica en la unificación de planes de emergencia ante un desastre. Como se mencionó en el paso 1, los involucrados en la respuesta ante el desastre deben pertenecer a diferentes sectores. Estos sectores deben tener un plan de emergencia ante desastres, por lo que en este paso es importante revisar y tratar de unificar los programas ya establecidos de los sectores involucrados (si es que cuenta previamente con uno ya establecido) .

En dado caso de no poder unificarlos, se recomienda extraer información de vital importancia para el programa de emergencia ante desastre de la empresa minera.

Otro punto importante a resaltar en este paso es la definición de elementos claves para el correcto desarrollo del plan a ejecutar. APELL menciona algunos elementos clave necesarios en todo plan de emergencia, pues estos elementos pueden ayudar a abordar de manera más veloz y eficaz la emergencia, sin entorpecer algunas acciones como lo es el desalojo de algún lugar o instalación de riesgo, además de marcar una ruta segura, o alertar al personal de la emergencia, además de asegurar la comunicación del personal de seguridad.

Entre los elementos mencionados por APELL, se pueden resaltar: equipos de comunicación como celulares o dispositivos de comunicación a distancia; equipo para tratar con humos químicos y así evitar intoxicación; equipo para contención de derrames químicos como son polvos, rollos absorbentes, esponjas, etc.; dispositivos de alerta como sirenas o luces para indicar determinado suceso o alertar del suceso; señalamientos de alarma o indicativos, así como de peligro y zonas seguras para marcar una ruta segura o un lugar seguro; acceso fácil a información de relevancia en cuanto a equipos, protocolos y sustancias peligrosas en dado caso de que el equipo sea necesitado durante la emergencia.

*Paso 4: Identificar las tareas de respuesta requeridas que no se incluyen en los planes existentes.*

Para el presente paso, la identificación de riesgos y peligros, así como los insumos y elementos necesarios para llevar a cabo el plan de emergencia contra desastres deben estar claramente establecidos. Llegado a este paso es necesario que se involucre cada miembro de los participantes en el plan.

El objetivo es identificar las tareas “secundarias” o que se tomaron con poca relevancia para evitar que estas tareas o también llamados “obstáculos secundarios” tomen importancia en un momento que ya no sea tan fácil de controlar. Entre las que resaltan puede ser: la lejanía de elementos de seguridad o de miembros importantes del plan de emergencia.

La importancia de la participación de todos los miembros recae en la identificación de obstáculos no visibles o de poca relevancia que en determinada situación

pueden afectar y desencadenar problemas o limitaciones de importancia al momento de ejecutar el plan de emergencia contra desastres.

*Paso 5: Asignar tareas según los recursos disponibles de los participantes identificados.*

Este paso viene de la mano con el paso anterior, pues en este paso se busca determinar qué grupo o individuos son aptos para la asignación de tareas y obstáculos mencionados en el paso anterior.

El Grupo Coordinador es el encargado de visualizar a los candidatos, así como designar a los que mejor se acoplen a la tarea, tomando en cuenta si dicho candidato cuenta con los recursos necesarios y la capacitación óptima para cumplir la tarea de la mejor forma. De no ser así, puede provocar que la falta de experiencia o de recursos termine en una tarea incompleta lo que pueda traducirse a un problema derivado de la tarea.

Otro punto a destacar es que el candidato acepte la tarea asignada, pues la falta de compromiso con el plan de emergencia puede provocar un procedimiento poco eficaz.

En el caso del río Sonora, un posible ejemplo de este paso sería la recolección, la acción de proveer y la distribución agua embotellada a los municipios y comunidades afectadas por la contaminación en los pozos.

La recolección en ciertas zonas puede no ser buena opción darle la encomienda a la propia comunidad, pues muy posiblemente no tendrían los medios de transporte para recolectar el agua embotellada. Sin embargo, si esta tarea es asignada a la

policía local con apoyo de alguna institución de seguridad ciudadana como Protección Civil o incluso la Guardia Nacional, estas organizaciones cuentan con los transportes necesarios para la movilidad y recolección de agua embotellada para comunidades afectadas.

*Paso 6: Hacer los cambios necesarios para mejorar los planes de emergencia existentes, integrarlos en un plan general de la comunidad y obtener la aprobación.*

Para el presente paso, se deben resolver en su totalidad el tema de recursos disponibles para cada tarea asignada. Una vez concluido esto, es momento de integrar el plan de emergencia contra desastres a un plan general de la comunidad (y no solo de la empresa minera o de un sector específico, sino del plan integral de todos los sectores involucrados) para evaluar y detectar irregularidades, así como complicaciones.

En esta integración es importante mencionar que, se debe realizar en apego a la legislación mexicana en materia ambiental, la cual se ha mencionado con anterioridad. El realizar la integración en apego a las leyes generará una confianza hacia la comunidad.

Con dicha integración también se puede detectar puntos débiles o puntos que no estén del todo claros. Esto se traduce en la posibilidad de modificar y mejorar el plan las veces que sea necesario para aclarar todos los puntos conflictivos y débiles.

La secuencia que se debe realizar para corregir estos puntos débiles no es más que retroceder en los pasos mencionados por APELL hasta que se tenga en perfecto orden y claridad los puntos difusos. En la creación de un correcto plan de emergencia es importante detectar los puntos débiles y realizar una revisión de estos para poder corregirlos antes de que se avance en el programa, pues muy posiblemente, si no se modifica el plan, los puntos difusos puedan generar una problemática de mayor magnitud en un futuro.

En APELL, PNUMA (2004) menciona que se recomienda evaluar a los participantes realizando un ejercicio de roles donde se les exponga diferentes situaciones derivada de un mismo riesgo para conocer la variedad de opciones que tengan en disposición para resolver la situación específica.

Del mismo modo, recomienda tener el plan integrado en diversos medios, como puede ser electrónico como en físico puesto que, el desastre pueda afectar a equipos electrónicos y tener como consecuencia el no poder consultar el plan en formato digital.

*Paso 7: Disponer del plan comunal integrado por escrito y obtener su aceptación y las aprobaciones pertinentes.*

El plan de emergencia contra desastres construido a través de los pasos anteriores no tendrá ningún resultado si no tiene la aprobación de todos los involucrados mencionados en el paso 1.

El presente paso es el encargado de formalizar la creación del plan integrado de emergencia contra desastres, pues se debe presentar ante el gobierno federal

respaldado principalmente por agencias gubernamentales en carácter ambiental, así como presentar y obtener la aprobación de la comunidad involucrada.

En el presente paso vuelve a surgir el cuestionamiento hacia el desastre en el río Sonora. El plan de emergencia llevado a cabo por BVC se estima que comenzó entre el 7 y el 11 de agosto de 2014, sin embargo, la comunidad no tenía conocimiento del protocolo de emergencia (Ibarra y Moreno, 2017). Se debe mencionar que no fue hasta el 8 de agosto de 2014 que BVC informó a PROFEPA sobre el derrame. Por su parte, PROFEPA informó el 12 de agosto de 2014 que tomaría medidas correctivas contra BVC.

*Paso 8: Comunicar la versión final del plan integrado a los grupos participantes, y asegurar que todos los encargados de respuesta de emergencia estén entrenados.*

Este paso está enfocado a informar el plan definitivo establecido como plan integrado de emergencia contra desastres a todos los miembros y grupos que involucre dicho plan. Al igual que el paso anterior, la base para el éxito de este paso está en la conformación del paso 1, donde se enlistó a todos los involucrados para el plan.

La finalidad de este paso es que todos los integrantes conozcan la estructura del plan de emergencia, además de saber todas y cada una de sus responsabilidades y acciones en dado caso de requerirse, así como los elementos e insumos necesarios para llevar a cabo su labor.

Entre los elementos que muy posiblemente necesitarán, se encontrarán manuales actualizados de equipos y manejo de maquinaria como el manejo de algunas sustancias o instrumentos de campo.

Hasta el mejor equipo o instrumento contra desastres, será inútil si el operador no recibe la capacitación adecuada para su buen desempeño, es por esto que, el presente paso también indica la obligación de entrenamiento y capacitación actualizada; tanto de equipo como de situaciones que pudieran presentarse; además de dar la información necesaria de donde encontrar manuales o instrucciones para determinado equipo o situación.

Del mismo modo se recomienda realizar ensayos y/o simulacros con el fin de observar y detectar puntos débiles o puntos a mejorar en situaciones lo más realistas posibles. (PNUMA, 2004).

Se recomienda vigilar la difusión por parte del sector de comunicación, pues ellos son los mejores indicados para llevar la información de manera rápida y eficaz de alguna situación que se pudiera presentar para llevar a cabo el plan de emergencia.

#### *Paso 9: Establecer procedimientos para la prueba, revisión y actualizaciones periódicas del plan.*

El paso 9 viene de la mano con el paso anterior inmediato (paso 8), pues se enfoca más a fondo a planear escenarios lo más realistas posibles con el fin de detectar fallas y poder corregirlas.

Se recomienda (y es lo más adecuado) comenzar con ensayos graduales, con esto hace referencia que el plan de emergencia se seccione en pequeños procesos que se puedan ensayar por partes; de forma que al reducir el proceso se pueda prestar mayor atención a un proceso específico con tal de obtener la mayor claridad posible para detectar fallas.

Una vez aprobado pequeños procesos, se pueden ir uniendo poco a poco e ir ensayando y planteando situaciones hipotéticas que requieran distintas acciones, para que, de esta forma, el Grupo Coordinador pueda asegurar proceso a proceso que el plan de emergencia funciona como está previsto.

Si se realiza un ensayo global sin antes seccionarlo, muy posiblemente fallará, pero además se concentrará la atención en la falla principal y no en las micro fallas que pudieron ser determinantes para la falla principal.

PNUMA (2004) recomienda tener un grupo de observadores (externos) para tener consideraciones más objetivas acerca del funcionamiento del plan de emergencia, contar con evaluaciones que conlleven a la mejoría del plan. Esto implica sesiones de retroalimentación para buscar las mejoras lo más pronto posible.

Se mencionan una serie de consideraciones al momento de realizar este paso.

Entre las consideraciones se encuentra:

- Escenarios múltiples: la cual hace referencia a las distintas problemáticas que se pueden presentar considerando los riesgos estudiados. Esto se debe repetir hasta cubrir todos los riesgos considerados de peligro y todas las opciones posibles de consecuencias.

Quizá BVC podría haber atacado de mejor manera otro accidente ocurrido, como algún accidente ocurrido en los procesos de dinamización. Una herramienta útil para identificar los probables accidentes son las bases de datos del sector minero, detectando así los posibles errores o fallas en la elaboración del plan de emergencia.

- Variación climática: este parámetro se tiene en cuenta en los pasos anteriores, pues hace referencia a plantear distintos escenarios, pero en diversas condiciones climáticas, incluidas diferentes temporadas del año, donde se puede observar cambios visibles en el clima, lo cual permitirá mayor cantidad de probabilidades de ocurrencia. El realizar ensayos con distintos climas, hará posible detectar si en determinado clima la secuencia del plan de emergencia tiene dificultades para llevarse a cabo o en su caso implique mayor riesgo.
  
- Tiempo de vigencia variable de operación: esta consideración se refiere al tiempo en que se encuentra la mina con respecto a los volúmenes de trabajo que maneja en determinada etapa en la que pueda ocurrir un desastre. En la minería, por lo regular, el flujo de volumen es constante, sin embargo, existen variables en donde los volúmenes de operación pueden cambiar.

En el derrame ocurrido en 2014 por parte de BVC se derramaron 40 mil metros cúbicos de lixiviado, pero, la magnitud del desastre podría haber sido diferente; si se hubiera derramado quizá solo 10 mil metros cúbicos y

esto pudo haber ocurrido debido a una reducción en el procesamiento del mineral. Por tanto, aunque esta variable no parezca importante, las consecuencias de considerar esta variable sí tendrán un impacto.

- Factores para la revisión y actualización del plan: la presente consideración toma en cuenta el crecimiento de la empresa y de sus alrededores. Si la empresa minera toma la decisión de crear una planta de un determinado proceso, esto aumentará los riesgos y modificará los riesgos ya presentes. Por tanto, al ocurrir una expansión se debe considerar la actualización de los planes vigentes.

De la misma forma, se ha mencionado que la minería cuenta con un crecimiento importante donde se desarrolla. Esto debe tomarse en cuenta cuando a los alrededores aumentan los caminos o se crean nuevas rutas de transporte tanto de material minero como transporte local, pues esto aumenta las rutas de movimiento que puede funcionar como mejoría para los planes de emergencia vigentes.

En el caso del derrame ocurrido en Cananea, un parámetro de esta consideración pudo haber sido la apertura de nuevos pozos de agua en la comunidad antes de ocurrir el derrame, lo cual, pudo haber influido para ampliar la zona afectada. Un ejemplo es que, en lugar de contaminarse 5 pozos, pudieron haber sido 10 o 15 debido a la demanda de agua de la comunidad y esto habría influido posteriormente a la demanda de agua a través de pipas, garrafones y botellas de agua para cubrir dicha demanda.

Dicho crecimiento no solo se nota en el desarrollo de infraestructura, pues existen muchas variables a considerar como también pudo haber sido la

cantidad de hectáreas cercanas al derrame utilizadas para cosecha de alimentos utilizados localmente.

*Paso 10: Comunicar el plan integrado a la comunidad en general.*

El programa APELL concluye con el paso 10. En este paso finalmente se culmina con la interacción del sector más importante para el programa, la comunidad.

La comunidad será informada del plan de emergencia contra accidentes, así como todas las acciones preventivas y acciones de mitigación en dado caso de presentarse algún desastre y, saber cómo responder eficazmente a la situación. El Grupo Coordinador deberá tener en cuenta, a través de todos los pasos anteriores a que comunidades deberá dirigirse, pues esto significará que dichas comunidades estarán involucradas de alguna forma en el plan de emergencia, con lo cual se busca aumentar la confianza entre la relación de todos los involucrados.

Es importante considerar la comunidad a la cual será dirigida la información, puesto que no es viable usar términos científicos o de carácter técnico, si la comunidad no está familiarizada o no tiene el conocimiento de estos términos. Se deberá usar un lenguaje fácil de comprender, pero sin perder ningún detalle de las acciones a tomar en consideración.

Se debe observar y analizar la manera más eficaz de transmitir la información, pues existen muchas formas de llevar la información a su destino. Se pueden organizar juntas comunales, donde se exprese la información mencionada, o a través de medios de comunicación o incluso folletos que sean repartidos a la comunidad.

### *Recomendaciones finales de APELL.*

En la sección 7, correspondiente a los apéndices; en el primer apéndice se nos presenta la sugerencia de la estructura de un plan de emergencia contra desastres. APELL indica que esta estructura se muestra con la finalidad de fungir como una guía, sin embargo, debido a las consideraciones mostradas en los 10 pasos del programa APELL, esta guía puede modificarse a consideración del interesado.

Entre las secciones principales que presenta el manual para un plan de emergencia contra desastres se encuentran:

- Finalidad/ Objetivos/ Alcance
- Escenarios de emergencia y riesgos
- Centro de Coordinación de Emergencia Minera
- Centro de Comunicación de Crisis y de Medios
- Sistemas de Comunicación y Procedimientos de Notificación de Emergencia
- Equipo y Recursos de Emergencia
- Escenarios de Emergencia y Procedimientos de Respuesta de Emergencia
- Limpieza, Remediación, Procedimiento para volver a la Actividad Normal
- Entrenamiento y Ejercicios

APELL vuelve a hacer énfasis en la importancia vital de la prevención en todo plan de emergencia contra emergencia y a considerar los pasos plasmados en su manual, como una guía para toda empresa.

En el manual, APELL nos comparte una cita del Secretario General de las Naciones Unidas Kofi Annan en Julio de 1999, donde la cita es la siguiente:

*“La prevención no sólo es más humanitaria que la cura, también es mucho más económica. No olvidemos por sobre todo que la prevención de desastres es un imperativo moral, no menor que reducir los riesgos de la guerra”.*

*APELL para Minería, PNUMA (2004).*

## Conclusiones

Clasificado por SEMARNAT como uno de los mayores desastres ambientales en el país, el 6 de agosto de 2014, la empresa Buenavista del Cobre, perteneciente a Grupo México, derramó 40 mil metros cúbicos de lixiviado ácido de cobre en el Río Sonora, en el estado de Sonora, México.

Fue tal la contaminación, que al día de hoy, es difícil asegurar que ya no exista daño atribuible a dicho accidente acontecido en 2014, pues a pesar de las medidas de mitigación llevadas a cabo, la población actual sigue dudando sobre la eficacia de los procesos de remediación.

Una de las primeras medidas implementadas después del derrame, fue la creación del Fideicomiso Río Sonora (FRS), encargado de efectuar y gestionar los gastos de remediación, entre los cuales se incluían insumos y servicios de agua para los habitantes afectados, así como pagos a las afectaciones a la salud derivadas de la contaminación del agua del río.

## Problemas iniciales

El agua del río Sonora era vital para la población de los municipios cercanos a él, pues el uso agrícola y el uso público urbano demandaban grandes cantidades de agua. Cuando se hizo presente la contaminación en el río, estos usos tuvieron que ser suspendidos. Agregando a esto, el cierre de los pozos ocasiono que el problema se agravara rápidamente. La medida que implemento el FRS de proporcionar agua en garrafones y pipas fue una solución inmediata y temporal, pues conforme avanzó el tiempo de emergencia, esta medida fue difícil de mantener debido a la gran demanda de agua, pues la contaminación se había extendido a lo largo del Río Sonora.

## Contaminación en agua y suelo, análisis químicos

Según informes en 2015 del FRS, la calidad del agua se encontraba dentro de los límites permisibles de acuerdo con la normatividad mexicana, sin embargo, Díaz et al. (2021) publicaron resultados acerca de los parámetros medidos entre agosto de 2014 a noviembre de 2018. En sus resultados, se puede observar que la calidad de agua en algunos parámetros, no se encontraban por debajo de los límites permisibles de acuerdo a la normatividad mexicana o a la guía OMS de agua, como lo informó el FRS.

Según las áreas definidas por el FRS, la Zona 1 (previamente identificada como la más contaminada) exhibió, tras los análisis llevados a cabo, valores que se ubicaron por debajo de los límites permisibles de acuerdo a las normas ambientales mexicanas. Basándose en este resultado, el FRS presupuso que, en

las demás zonas también se tenían valores debajo del límite permisible. Sin embargo, estas evaluaciones no fueron realizadas por empresas externas al FRS, lo cual suscitó una gran desconfianza en la comunidad afectada.

#### Resultado de plantas potabilizadoras

Si bien es cierto que, la decisión de instalar plantas potabilizadoras para asegurar una buena calidad de agua del río Sonora fue una medida óptima para la comunidad, la planificación fue mal gestionada. Fueron incluso mayores los problemas encontrados en las instalaciones y en el proceso de potabilización de las plantas que los beneficios generados a la comunidad.

Uno de los pasos vitales para el buen funcionamiento de cualquier instalación, es la planificación y es donde radica el problema del FRS; da la impresión de que no se llevó a cabo una planificación adecuada, sino que, las plantas potabilizadoras fueron “instaladas” de manera apresurada como una forma de demostrar acciones de remediación e incluso, para apaciguar la enérgica molestia de la comunidad.

La negligencia fue evidente por parte del FRS al prometer 37 plantas potabilizadoras y solo concluir 10 de ellas, de las cuales, ninguna funcionaba correctamente. Comités de Cuenca Río Sonora le cuestionó fuertemente la reducción en el número de las plantas al FRS pues, la excusa de que la calidad de agua del río se encontraba en norma con la legislación mexicana era dudosa, además de que esta reducción no beneficiaba de ninguna forma a la población afectada.

#### UVEAS y resultados de salud

En cuanto al tema de salud, se encontró nuevamente con la negligencia por parte del FRS, puesto que, UVEAS fue el proyecto destinado a la vigilancia y atención de la salud de la población afectada por la contaminación del derrame, sin embargo, la Lic. Claudia Pavlovich Arellano, gobernadora de Sonora, informó en 2017 que Grupo México y el FRS no completaría el programa UVEAS con la excusa de que “los niveles de contaminación habían sido contenidos” y por ende, la salud de la población estaba fuera de peligro, cuando los testimonios de la población y médicos externos al FRS opinaban totalmente lo contrario.

Este pronunciamiento de la Lic. Claudia marcó un punto clave en el desarrollo de las actividades del Fideicomiso, pues, siguiendo el principio en Pro de la Población, de ninguna manera se debió suspender y mucho menos aceptar el incumplimiento de Grupo México y del FRS de no completar el programa de UVEAS hasta 2029, como se tenía previsto inicialmente.

Los sucesos trascendentes no terminarían con el informe de la Lic. Claudia, pues en ese mismo año (2017), el 2 de febrero, se realizó la sesión de cierre del Fideicomiso Río Sonora, sin embargo, el cierre de éste, no se informó sino hasta agosto de 2017, cuando oficialmente se anunció el cierre del Fideicomiso.

Ibarra y Moreno (2017) declaran que esta declaración significó el carpetazo final a la contingencia ambiental empezada en agosto de 2014, pues el Fideicomiso, desde el anuncio oficial del cierre no volvió a publicar nada relevante sobre las condiciones del agua ni de la contaminación ocasionada por el derrame a través del tiempo. Al año actual (2023), la página oficial del Fideicomiso Río Sonora se encuentra inactiva.

## Legislación Ambiental en México

El Artículo 4° de la Constitución Política De Los Estados Unidos Mexicanos es el punto de partida para el desglose de toda una legislación ambiental para el país, pues en este artículo, se basan las leyes ambientales del país. De acuerdo con lo expresado en dicho artículo, toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano y aquel que provoque un deterioro o un daño a éste, será acreedor a la sanción que la ley disponga. Dichas leyes estudiadas, definen las medidas de sanción.

Como se pudo observar en los apartados anteriores, la legislación marca bien los lineamientos establecidos en sus artículos, sin embargo, es obligación del Gobierno de México y sus dependencias correspondientes el ejercer de manera plena toda la ley tal cual está establecida, no ser titubeante con aquel que contamine el medio ambiental.

### Errores y aciertos del plan de acción de emergencia. Programa APELL

Una correcta gestión en el Plan de acción de emergencia contra accidentes pudo reducir los daños ocasionados por el derrame. A través de la RRD (reducción de riesgos de desastre), APELL menciona que es de vital importancia tener contemplado el escenario más grave, pues de esta manera se pueden considerar las medidas necesarias para mitigar al máximo la contaminación.

Es preciso decir que cada accidente tendrá características distintas, por tanto, los planes de emergencia se deben diseñar y planificar teniendo esta premisa en consideración, pues cada evento se deberá abordar de una manera distinta, con

el objetivo de minimizar al máximo las posibles repercusiones en caso de que ocurra. Tener esto en consideración, acercará a la empresa a un mejor control tanto de sus procesos como de su plan de emergencia contra desastres.

Aunque se ha mencionado en varias ocasiones a lo largo de este trabajo, es importante resaltar que, ***siempre será mejor la prevención que la remediación en un desastre.***

El presente trabajo trata de brindar al lector una visión sobre la importancia de una correcta planificación en los planes de emergencia contra los desastres a los que cualquier industria podría enfrentarse o estar expuesto. La humanidad debe seguir progresando para poder sobrevivir en el mundo que habitamos; los procesos industriales deberán cambiar para progresar. La probabilidad de un desastre de carácter antrópico y antropogénico siempre estarán presentes. Cada vez que se realiza una correcta planificación, cada que se realiza un simulacro, una situación hipotética de un desastre, es un paso hacia un mejor futuro para nuestro medio ambiente.

Como humanidad, debemos caminar juntos para acercarnos cada vez hacia un mundo sustentable.

## Bibliografía

Aucar, F. (2019). Periodismo de desastres: el caso del derrame de tóxicos sobre el Río Sonora y su representación en Uniradio Noticias.

<https://repositorio.colson.edu.mx/bitstream/handle/2012/44417/Periodismo%20de%20desastres.pdf?sequence=1>

CAMIMEX (2022), Situación de la minería en México 2008. CAMIMEX Informe Anual 2022. Cámara Minera de México. Disponible en <https://www.camimex.org.mx/index.php/publicaciones/informe-anual/informe/101>

Candia Palomino, V. A. (2017). Tecnología limpia como alternativa a la técnica de cianuración de oro con cianuro de sodio que impacta el medio ambiente en el procesamiento de minerales de oro en la actividad minera informal en el Perú [Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA DE ICA"]. <https://repositorio.unica.edu.pe/handle/20.500.13028/3981>

Castillo Elizalde, F. (2020, marzo). Acceso al agua potable ante el derrame minero de 2014: vulnerabilidad y resiliencia en comunidades del río Sonora. DSpace Home. <https://repositorio.colson.edu.mx/handle/2012/44490>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2013). Programa Detallado de Acciones de Gestión Integral para la Restauración Ecológica del Río Sonora. Comisión Nacional del Agua.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2014). Registro Público de Derechos de Agua. Comisión Nacional del Agua.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Información estadística climatológica. Comisión Nacional del Agua. Disponible en [https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/información climatologica/informacion-estadistica-climatologica](https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/información-climatologica/informacion-estadistica-climatologica)

Comités de Cuenca Río Sonora. (2016). Comités De Cuenca Río Sonora.

Disponible en <https://comitescuencariosonora.wordpress.com/>

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (última reforma de 8 de mayo de 2020), en Diario Oficial de la Federación (DOF), Gobierno de México, 5 de febrero de 1917. Disponible en

<https://www.gob.mx/indesol/documentos/constitucion-politica-de-los-estados-unidos-mexicanos-97187>

Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN MÉXICO: PROBLEMÁTICA Y ESTRATEGIAS DE FITORREMEDIACIÓN. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 33, 7–21.

<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>

Díaz Caravantes, R. E., Duarte Tagles, H., Pallanez Murrieta, M., Moreno Vázquez, J. L., Mejía Santellanes, J. A., & Durazo Gálvez, F. (1). Análisis de los criterios para proteger la vida acuática: el río Sonora después del derrame minero de 2014. *Aqua-LAC*, 10(1), 75-87. <https://doi.org/10.29104/PHI-2018-AQUALAC-V10-N1-07>

[V10-N1-07](https://doi.org/10.29104/PHI-2018-AQUALAC-V10-N1-07)

Díaz-Caravantes, R. E., Duarte-Tagles, H., & Durazo-Gálvez, F. M. (2016). Amenazas para la salud en el Río Sonora: análisis exploratorio de la calidad del agua reportada en la base de datos oficial de México. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 48(1), 91-96. [https://doi.org/10.18273/revsal.v48n1-](https://doi.org/10.18273/revsal.v48n1-2016010)

[2016010](https://doi.org/10.18273/revsal.v48n1-2016010)

Díaz-Caravantes, Rolando E., Durazo-Gálvez, Francisco M., Moreno Vázquez, José Luis, Duarte Tagles, Héctor, & Pineda Pablos, Nicolás. (2021). Las plantas potabilizadoras en el río Sonora: una revisión de la recuperación del desastre. *Región y sociedad*, 33, e1416. Epub 04 de junio de 2021.

<https://doi.org/10.22198/rys2021/33/1416>

Fernández-Maestre, Roberto. (2014). Aluminio: ingestión, absorción, excreción y toxicidad. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 23 (2), 111-116. Recuperado el 31 de mayo de 2023, Disponible en

[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-14292014000200003&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292014000200003&lng=en&tlng=es).

Gobierno de México. (2015) Río Sonora Balance Anual (Agosto, 2015), México.

Disponible en <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/60595>

Gobierno de México. (2015) La Unidad de Vigilancia Epidemiológica y Ambiental de Sonora (UVEAS), otorga atención a los habitantes de Molino de Camoué,

México. Disponible en <https://www.gob.mx/cofepris/prensa/la-unidad-de-vigilancia-epidemiologica-y-ambiental-de-sonora-uveas-otorga-atencion-a-los-habitantes-de-molino-de-camou>

Gobierno de México. (2018) Documentos y presentaciones Fideicomiso Río Sonora. Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales, (Julio, 2018).

Documentos y presentaciones. Disponible en

<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/documentos-y-presentaciones>

Gobierno de México. (2018) Monitoreo de la calidad del agua. Fideicomiso Río Sonora, México. Disponible en <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/monitoreo-de-la-calidad-del-agua-e-informe-de-acciones>

Gobierno de México. (2023) ¿En qué me beneficia el principio pro persona?, México. Disponible en <https://www.gob.mx/segob/articulos/en-que-me-beneficia-el-principio-pro-persona#:~:text=El%20principio%20pro%20persona%20se,tratado%20internacional%20o%20una%20ley>.

Gobierno de México. (2023) Avisar en caso de emergencia, México. Disponible en <https://www.gob.mx/profepa/acciones-y-programas/avisar-en-caso-de-emergencia>

Guiachetti Torres, D. A. (2011). Consumo de Ácido Sulfúrico y Cinética de Lixiviación de un Mineral Oxidado de Cobre. Repositorio Académico - Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104139>

Haro Velarde, Noemi, Salazar Adams, Alejandro, & Cejudo-Espinosa, Luis. (2021). Agua, contaminación y su manejo en la Región Norte de México: el caso del Río Sonora. *Frontera norte*, 33, e2136. Epub 25 de octubre de 2021. <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2136>

Hong, Y. S., Song, K. H., & Chung, J. Y. (2014). Health effects of chronic arsenic exposure. *Journal of preventive medicine and public health = Yebang Uihakhoe chi*, 47(5), 245–252. Disponible en <https://doi.org/10.3961/jpmph.14.035>

Ibarra Barreras, M. F. (2018) El acceso a la justicia ambiental ante el derrame en el río Sonora. *Revista Acciones prácticas en materia de sustentabilidad*, 173-192.

Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Natalia-Santa/publication/328526035\\_Acciones\\_practica\\_en\\_materia\\_de\\_sustentabilidad/links/60a7317292851ca9dcd381cb/Acciones-practica-en-materia-de-sustentabilidad.pdf#page=213](https://www.researchgate.net/profile/Natalia-Santa/publication/328526035_Acciones_practica_en_materia_de_sustentabilidad/links/60a7317292851ca9dcd381cb/Acciones-practica-en-materia-de-sustentabilidad.pdf#page=213)

Ibarra Barreras, M. F., & Moreno Vázquez, J. L. (2017). La justicia ambiental en el Río Sonora. *RevIISE - Revista De Ciencias Sociales Y Humanas*, 10(10), 135-155. Recuperado a partir de <http://www.ojs.unsj.edu.ar/index.php/reviise/article/view/168>

INFOMEX. (2016). Solicitud de información a CONAGUA por medio de la plataforma INFOMEX con número de folio 1610100193816. Plataforma Nacional de Transparencia. Gobierno Federal.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). Encuesta Intercensal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Khambatta Moreno, D. (2017). Predicción de la demanda de semiconductores para clientes automovilísticos. <https://oa.upm.es/46890/>

Lamberti, M. J. El desastre del Río Sonora: una lucha por el derecho a la participación en asuntos medioambientales. *Activismo, Medio Ambiente y Derechos Humanos en América Latina*, 23. Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Sandra-Hincapie-2/publication/342876195\\_Hincapie\\_Sandra\\_Verdugo\\_Teodoro\\_Coord\\_Activismo\\_Medio\\_Ambiente\\_y\\_Derechos\\_Humanos\\_en\\_America\\_Latina/links/5f0a7bc69285](https://www.researchgate.net/profile/Sandra-Hincapie-2/publication/342876195_Hincapie_Sandra_Verdugo_Teodoro_Coord_Activismo_Medio_Ambiente_y_Derechos_Humanos_en_America_Latina/links/5f0a7bc69285)

[1c52d62cfecb/Hincapie-Sandra-Verdugo-Teodoro-Coord-Activismo-Medio-Ambiente-y-Derechos-Humanos-en-America-Latina.pdf#page=32](https://doi.org/10.24201/edu.v37i2.2028)

Lugo Gil, Crisel Yalitze, & Lara Enríquez, Blanca Esthela. (2022). Conflictos socioambientales y minería en Sonora, México. *Estudios demográficos y urbanos*, 37(2), 637-676. Epub 27 de junio de 2022. <https://doi.org/10.24201/edu.v37i2.2028>

Lugo-Gil, Crisel Yalitze, & Lara-Enríquez, Blanca Esthela. (2020). El conflicto socioambiental en el Río Sonora. Análisis de la acción colectiva de las Organizaciones de la Sociedad Civil de 2014 a 2018. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 30(55), e20949. Epub 06 de diciembre de 2021. <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.949>

Luque Agraz, D., & D. Murphy, A. (2020). La gramática del río Sonora que exhibió el derrame de la mina de Cananea. *Argumentos. Estudios Críticos De La Sociedad*, 2(93), 217-238. <https://doi.org/10.24275/uamxoc-dcsh/argumentos/202093-10>

Luque Agraz, D., A.D. Murphy, E.C. Jones, A. Burquez, A. Martínez Yrizar, T. Manrique y D. Esquer (2019). Río Sonora: el derrame de la Mina Buenavista del Cobre-Cananea, 2014. Hermosillo, Sonora: CIAD/Conacyt. Disponible en <https://patrimoniobiocultural.com/producto/rio-sonora-el-derrame-de-la-mina-buenavista-del-cobre-cananea-2014/>

Orozco Martínez, Yuriria, & Rodríguez Gámez, Liz Ileana. (2020). Controversias sobre vulnerabilidad ante el riesgo minero en el río Sonora, México. *Región y*

sociedad, 32, e1319. Epub 10 de marzo de 2021.

<https://doi.org/10.22198/rys2020/32/1319>

Orozco Martínez, Yuriria, & Rodríguez Gámez, Liz Ileana. (2022). Narrativas del riesgo minero: cartografía y discursos en el río Sonora, México. *Intersticios sociales*, (24), 297-331. Epub 26 de septiembre de 2022. Recuperado en 29 de mayo de 2023, de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-49642022000200297&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-49642022000200297&lng=es&tlng=es).

PNUMA. (2001). APELL PARA MINERIA. Guía para la industria minera a fin de promover la Concientización y Preparación para Emergencias a Nivel Local: Vol. Informe Técnico No. 41 (Primera edición). <https://www.toxicologia.org.ar/wp-content/uploads/2016/05/APELL-para-Mineria-Spanish.pdf>

Preparación para emergencias ambientales y tecnológicas. (n.d.). ONU, UNEP Environment Programme. Disponible en <https://www.unep.org/es/regiones/america-latina-y-el-caribe/iniciativas-regionales/construyendo-resiliencia-frente-2>

Proyecto Puente. (2018, 6 de agosto). Informe Río Sonora: ¿Cómo es vivir en la zona del peor desastre ecológico en México? (1 de 3) [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=2txVbRBJ-5A>

Robles Berumen, Ruth, & Foladori, Guillermo. (2019). Una revisión histórica de la automatización de la minería en México. *Problemas del desarrollo*, 50(197), 157-

180. Pub 18 de octubre de 2019.

<https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2019.197.64750>

Rodríguez Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados.

MEDISAN, 21(12). Disponible en

<https://medisan.sld.cu/index.php/san/article/view/1089>

Rosario Ferrer, Y. (2016). Seguimiento en El Tiempo De La Evaluación De Impacto Ambiental en Proyectos Mineros. *Revista Luna Azul*, 42, 256–269.

<https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.16>

Susunaga-Miranda, Manuel Alberto, Estévez-Garrido, Bertha María, & Susunaga-Estévez, Rodrigo Manuel. (2020). Características de la arena sílica de Alvarado, Veracruz, México, como material para barreras reactivas permeables, para la remediación de acuíferos contaminados con lixiviados de basureros no controlados. *Enfoque UTE*, 11(4), 87-100.

<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n4.674>

Toscana Aparicio, Alejandra, & Hernández Canales, Pedro de Jesús. (2017). Gestión de riesgos y desastres socioambientales. El caso de la mina Buenavista del cobre de Cananea. *Investigaciones geográficas*,

(93)<https://doi.org/10.14350/rig.54770>

Toxqui, L., De Piero, A., Courtois, V., Bastida, S., Sánchez-Muniz, FJ, & Vaquero, MP (2010). Deficiencia y sobrecarga de hierro; implicaciones en el estado oxidativo y la salud cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria* , 25 (3), 350-365.

Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309226757003>

United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). (2009). Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction.

Ventolero, J. M. I. (2016). Propuesta de humedal artificial para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados [Instituto Politécnico Nacional].

<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22137>

Yoannis Cano Reynosa, Ana Caridad Che Viera, Ernesto Geovani Figueroa González y Alexis Manuel Góngora Trujillo (2017): "Implementación de un sistema de gestión de riesgos en las industrias mineras. Una mirada desde el desarrollo local", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (noviembre 2017). En línea:

<http://ninive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3268/CanoCheVieral.pdf?isAllowed=y&sequence=1>