



ESTUDIO SOBRE EFECTOS AMBIENTALES ATRIBUIDOS A LA ACTIVIDAD SÍSMICA TERRESTRE - FASE 1

INFORME FINAL

INTEGRANTES

**JORGE ELADIO BUITRAGO LADINO
HECTOR ANTONIO FONSECA PERALTA
LUIS ERNESTO RIVERA PEREA
CARLOS JULIO RODRIGUEZ
INES VERGARA GÓMEZ**

AUXILIARES

**ANGELA ROCÍO SORACÁ
KARINA PEÑALOSA**

Enero de 2015

CONTENIDO

CONTENIDO	2
ABREVIATURAS	5
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	7
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
METODOLOGIA	8
1. CONTEXTO PROGRAMA DE EXPLORACIÓN SÍSMICA	9
1.1 GENERALIDADES	9
1.2 ETAPAS DEL PROGRAMA SÍSMICO	10
1.2.1 ETAPA PRE OPERATIVA.....	10
1.2.2 ETAPA DE OPERACIÓN EN CAMPO.....	12
1.2.3 ETAPA DE DESMANTELAMIENTO, RESTAURACIÓN Y ABANDONO DEL ÁREA	14
1.3 ENTREGA DE LA INFORMACIÓN SÍSMICA ADQUIRIDA	16
2. MARCO LEGAL	16
2.1 CONTEXTO COLOMBIANO.....	16
2.2 CONTEXTO INTERNACIONAL.....	22
• Canadá.....	22
• Australia	23
• México.....	23
• Perú	24
3. GUÍAS AMBIENTALES Y OTROS DOCUMENTOS RELACIONADOS	28
3.1 ESTRUCTURA DE LAS GUÍAS INTERNACIONALES RESPECTO A LA GBAPEST EXPEDIDA POR EL MADS (1997)	30
3.2 ÁREAS AMBIENTALMENTE SENSIBLES.....	31
3.3 MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO.....	36
3.4 INFRAESTRUCTURA VIAL PRIMARIA	36
3.5 MONITOREO DE ACUÍFEROS	36
3.6 ZONAS DE RESERVA FORESTAL O BOSQUES TROPICALES	37
3.7 ZONAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (BUFFERS)	38
3.8 PARTICIPACIÓN CIUDADANA	39
3.9 APERTURA DE TROCHA	39
3.10 DISTANCIAS MÍNIMAS DE DISPARO	39
3.11 PROFUNDIDAD DE LOS POZOS DE CARGA.....	40
4. ESTUDIOS TÉCNICOS	40
4.1 HIDROGEOLOGÍA	41
4.2 FLORA Y FAUNA	45
4.3 INFRAESTRUCTURA.....	47

4.4	GEOTECNIA.....	51
4.5	CULTIVOS.....	52
4.6	SÍNTESIS	52
5.	CONCLUSIONES.....	63
6.	RECOMENDACIONES GENERALES.....	65
7.	RECOMENDACIONES -FASE II	66
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	69

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Etapa Pre Operativa	10
Tabla 2. Actividades de la Etapa de Operación en Campo	13
Tabla 3. Actividades de Desmantelamiento y restauración	15
Tabla 4. Actividades de la Etapa de Abandono del Área.....	15
Tabla 5. Jerarquía de legislación colombiana aplicable a la exploración sísmica.....	17
Tabla 6. Comparativo de distancias mínimas en la jurisdicción de CORPORINOQUIA, CORPOBOYACA y CORMACARENA.....	20
Tabla 7. Marco normativo canadiense para la exploración sísmica y su paralelo con Colombia. 25	
Tabla 8. Marco legal internacional para la exploración sísmica y su paralelo con Colombia. 27	
Tabla 9. Distancias mínimas de disparo establecidas en la GBAPEST.....	29
Tabla 10. Contenido destacado de las guías ambientales para la exploración sísmica en el ámbito internacional: CANADÁ	32
Tabla 11. Contenido destacado de las guías ambientales para la exploración sísmica en el ámbito internacional: OTROS PAÍSES.....	34
Tabla 12. Mejores prácticas de manejo para operaciones sísmicas en Canadá	37
Tabla 13. Profundidad de disparo en el Estado de Mississipi (Estados Unidos) y la Provincia de Alberta (Canadá).	40
Tabla 14. Estadística de carga utilizada y profundidad del pozo de detonación en programas de exploración sísmica desarrollados en Colombia.....	50
Tabla 15. DISTANCIAS MINIMAS DE DISPARO: Resumen de resultados de investigaciones sobre afectación ambiental Atribuida a la Exploración sísmica.	54
Tabla 16. HIDROGEOLOGÍA: Resumen de resultados de investigaciones sobre afectación ambiental Atribuida a la Exploración sísmica	56
Tabla 17. FLORA Y FAUNA: Resumen de resultados de investigaciones sobre afectación ambiental atribuida a la Exploración sísmica	59
Tabla 18. INFRAESTRUCTURA, GEOTECNIA Y CULTIVOS: Resumen de resultados de investigaciones sobre afectación ambiental Atribuida a la Exploración sísmica 61	

ABREVIATURAS

ACH: Asociación Colombiana De Hidrogeología
ACIPET: Asociación Colombiana de Ingeniería de Petróleos
ACGGP: Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo
ACP: Asociación Colombiana del Petróleo
ANH: Agencia Nacional De Hidrocarburos
ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
BSA: (Por sus siglas en inglés) Áreas Biológicamente Sensibles
BIP: Banco de Información Petrolera –BIP
CAPP: Asociación Canadiense del Petróleo
CAR: Corporación Autónoma Regional
COMPAS: Compatibilidad de Mejores Prácticas aplicadas a la sísmica
CORMACARENA: Corporación para el Desarrollo sostenible del Área de Manejo Especial de La Macarena
CORPOBOYACA: Corporación Autónoma Regional de Boyacá
CORPORINOQUIA: Corporación Autónoma Regional de Orinoquia –
EIA: Estudio De Impacto Ambiental
GBAPEST: Guía Básica Ambiental para Programas de Exploración Sísmica Terrestre
MADS: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
MMA: Medidas de Manejo Ambiental
MPM: mejores prácticas de manejo
NTC: Norma técnica colombiana
ONG: Organización no gubernamental
PMA: Plan de Manejo Ambiental
PPV: Velocidad Pico de Partículas
SBI: Sísmica de Bajo Impacto
SCG: Sociedad Colombiana de Geología
SGC: Servicio Geológico Colombiano

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de actividades propias de la ejecución de los programas de adquisición sísmica terrestre en la industria del petróleo, enfrenta frecuentemente situaciones de rechazo e inconformismo de parte de las comunidades en la zona de influencia, debido a que le son atribuidas afectaciones negativas sobre el suelo, agua, la infraestructura y los ecosistemas.

Las quejas de la comunidad las cuales constituyen un derecho legítimo dentro del esquema de participación ciudadana, relacionan directamente la ejecución de las actividades de exploración sísmica como causa del deterioro en infraestructura física, inestabilidad del terreno, presión ambiental sobre flora y fauna, deterioro ecosistémico y modificación en la integridad de acuíferos, pozos y fuentes de agua superficial, entre otras, ocurridas en su área de influencia, ya sea simultáneamente con ellas o como desencadenante en el tiempo.

Por su parte, la comunidad técnica, el Estado como administrador de los recursos, la industria de hidrocarburos y la comunidad en general, requiere conocer los estudios e investigaciones realizados respecto a este tema a nivel internacional y nacional que permita determinar el estado actual y fijar los derroteros para ampliar el conocimiento en las direcciones que presenten menor grado de información para establecer ya sea la inocuidad o el grado de afectación ambiental.

Como contribución a este proceso orientado a determinar las condiciones reales de incidencia de la exploración sísmica y las afectaciones ambientales atribuidas, se presenta este documento resultado de la recopilación y análisis bibliográfico de información tanto nacional como internacional, con énfasis en los elementos regulatorios y los estudios técnicos referentes a investigaciones adelantadas en las diferentes temáticas relacionadas.

La revisión comprende leyes, normativas y guías respecto al tema de países con amplia tradición petrolera como Canadá, Estados Unidos, México, Australia, Perú, entre otros y su comparativo con la legislación colombiana. Igualmente los estudios realizados sobre diferentes aspectos como afectación sobre el nivel freático, la integridad de pozos de agua, cultivos, infraestructura física, manantiales y fenómenos de inestabilidad del terreno; se presentan las conclusiones de los estudios y las recomendaciones para adelantar una segunda Fase de trabajos de campo tendientes a ampliar la investigación y fortalecerla en los temas con menor información.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Recopilar y clasificar la información primaria y secundaria existente a nivel nacional e internacional, que ilustre sobre los efectos ambientales generados por la actividad sísmica, con énfasis en los estudios de campo en donde se haya realizado mediciones reales. Esta información servirá de base para determinar el alcance de una Fase Posterior (Fase 2), la cual consistirá en la realización de trabajos de campo que permitan complementar el material recopilado en la Fase 1.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Recopilar información sobre legislación y normatividad a nivel nacional e internacional sobre exploración sísmica.

Recopilar información sobre estudios técnicos a nivel nacional e internacional para la exploración sísmica en el sector de hidrocarburos.

Validar la información revisada, establecer los tópicos investigados y los pendientes para incluirlos en el diseño de la Fase 2.

Elaborar un documento técnico con los resultados de la revisión bibliográfica y conclusiones acerca de la información revisada.

Definir los lineamientos y/o recomendaciones para establecer la Fase 2 del Proyecto.

METODOLOGIA

El presente trabajo se ejecutó en tres etapas: recopilación y clasificación de información, análisis-síntesis y conclusiones-recomendaciones.

Para introducir el contexto del tema, se incluye un capítulo inicial que describe de manera general las etapas y principales actividades desarrolladas durante un programa de exploración sísmica en Colombia.

La revisión de información en la primera etapa incluyó lo pertinente al marco legal aplicable, guías ambientales, otros documentos relacionados y los estudios sobre impacto ambiental referidos con los programas sísmicos en la exploración y explotación de hidrocarburos a nivel nacional e internacional.

La segunda etapa incluyó el análisis comparativo acerca del estado legal, operacional y técnico-científico de la exploración sísmica en Colombia y sus equivalentes a nivel internacional. Un análisis de pros y contras, extraídos de los modelos de exploración actuales en el mundo fue completado enfocándolo primordialmente en la identificación de oportunidades de tipo legal, operacional y técnico-científico que pudieran ser implementadas dentro de los programas de exploración sísmica en Colombia.

Las principales fuentes de información consultadas incluyen los archivos de la nación y entidades territoriales, Asociación Colombiana del Petróleo-ACP, Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo -ACGGP, universidades, bases de datos que conectan la red de universidades como GeoRef, Web of Science complementada con búsquedas de documentos oficiales y publicaciones periódicas en las bases de datos de dominio público en internet, bajo criterios de disponibilidad de información específica sobre el tema.

1. CONTEXTO PROGRAMA DE EXPLORACIÓN SÍSMICA

1.1 GENERALIDADES

La exploración sísmica es un método geofísico utilizado en la búsqueda de hidrocarburos. Su objetivo general es obtener una imagen que muestre la configuración geométrica aproximada de las capas del subsuelo para identificar aquellos lugares donde pueda haberse acumulado petróleo o gas.

En el método sísmico se utiliza una fuente de energía impulsiva o vibratoria para generar ondas elásticas que se propagan hacia el subsuelo. Cada vez que dichas ondas chocan con un contacto entre rocas diferentes, parte de la energía rebota hacia arriba (reflexión) y parte de la energía continúa su propagación hacia abajo (refracción).

Al volver a la superficie las ondas son captadas y registradas mediante detectores especiales denominados geófonos. Las señales recibidas por los equipos de superficie se almacenan en forma digital y son procesadas para crear una sección sísmica (2D) o un volumen de datos (3D) que se interpreta por personal experto para establecer su significado geológico y el potencial de ocurrencia de una acumulación de hidrocarburos.

Las actividades relacionadas con realización de trabajos de exploración sísmica 2D y 3D, son similares. La diferencia principal radica en que en la primera (2D) las fuentes y receptores se encuentran a lo largo de una misma línea, mientras que en la segunda las fuentes y receptores no están alineados. Generalmente la sísmica 3D presenta una malla de mayor densidad que la 2D, pero menor extensión areal.

La sísmica 2D se utiliza generalmente para nuevas áreas de exploración, en donde existe un conocimiento limitado del subsuelo y se requiere detallar el área de interés; la sísmica 3D se utiliza generalmente cuando ya existe un cierto nivel de conocimiento con base en sísmica 2D y pozos exploratorios, y se requiere delimitar un yacimiento. También se usa sísmica 3D para determinar la geometría de cuerpos complejos.

Elementos como la distribución de los receptores en superficie, las características de la fuente de energía y su densidad, son parámetros que son objeto de diseño y dependen de la profundidad del objetivo exploratorio. Estos parámetros varían de un área a otra.

El tipo de arreglo o diseño más adecuado en un programa de exploración sísmica, se establece de acuerdo al análisis de ventajas y desventajas de cada uno de ellos en la zona de levantamiento, seleccionando el que brinde mejores resultados

respecto a producción y calidad de los datos, menor impacto ambiental y optimice el presupuesto.

1.2 ETAPAS DEL PROGRAMA SÍSMICO

La aplicación del método sísmico es muy similar en todo el mundo. Las diferencias radican en el tipo de topografía de cada país, los instrumentos disponibles, las fuentes de energía empleadas, los sistemas de registro y el procesamiento de los datos.

En Colombia, cada proyecto sísmico comprende en general tres etapas que van desde la Planeación del proyecto (Pre-operativa), la ejecución del proyecto (Operativa) y el desmantelamiento, restauración del área intervenida y abandono del área (Post Operativa). Cada etapa a su vez incluye diversas actividades.

De manera general, las principales actividades desarrolladas dentro de un programa de exploración sísmica típico en Colombia se resumen a continuación.

1.2.1 ETAPA PRE OPERATIVA

Corresponde a todas las actividades de planeación sobre los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta para obtener óptimos resultados y la correcta ejecución de un proyecto de exploración sísmica. Incluye la planeación de los objetivos técnicos, planificación de aspectos ambientales, trámites ambientales, elaboración de Estudios de Impacto Ambiental –EIA- o Medidas de Manejo Ambiental -MMA-, según aplique, planeación logística de accesos, definición de planes de manejo social en la zona de influencia, acercamiento con las comunidades, localización de campamentos, logística general de las operaciones y la contratación y capacitación del personal requerido.

Tabla 1. Etapa Pre Operativa

ACTIVIDADES PRINCIPALES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ETAPA PREOPERATIVA
DEFINICIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS	Definición de los objetivos del proyecto sísmico, definición de fuente de energía a utilizar (impulsiva o vibratoria), parámetros técnicos, implementación de patrones de receptoras, determinación de la ubicación y extensión de las líneas de acuerdo a la profundidad de los objetivos, rumbos, buzamiento, espesor; búsqueda y análisis de la información geológica y geofísica existente en el área, estudios de carácter regional que enmarcan el conocimiento del área de interés; diseño del programa.

ACTIVIDADES PRINCIPALES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ETAPA PREOPERATIVA
PLANIFICACIÓN AMBIENTAL	<p>Evaluación ambiental de la propuesta del proyecto, para mejoramiento del proceso de toma de decisiones sobre la actividad y su ejecución. Determinar la viabilidad del programa, topografía, geología superficial, épocas de sequía y lluvia, comunidades, líneas de flujo, vías de acceso, restricciones culturales, pozos, cuerpos de agua, etc.; trámites ambientales.</p> <p>Identificación de las diferentes comunidades susceptibles de participar en el contexto de los estudios ambientales de acuerdo con sus particularidades y la legislación.</p> <p>Definición del Plan de Gestión Social y/o Plan de Manejo Social el cual consiste en la implementación de medidas de manejo social encaminadas a prevenir, mitigar y compensar los impactos sociales que genera este tipo de operación sobre un entorno social determinado; participación ciudadana.</p> <p>Para optimizar el trabajo posterior en campo, se utilizan herramientas como fotos aéreas rectificadas u ortofotos, imágenes de satélite y LIDAR (Light Detection and Ranging) durante la planificación del levantamiento respecto a la topografía y vegetación, desvíos, accesos, desplazamientos de puntos, etc.</p>
TRÁMITE LICENCIAS Y PERMISOS AMBIENTALES	Trámite de la Licencia ambiental para los casos que se requieran, EIA o Medidas de Manejo Ambiental y permisos ambientales requeridos para la actividad.
DISEÑO LOGÍSTICA	Planeación de acceso y logística general
CONTRATACIÓN DE EJECUCIÓN DEL PROGRAMA	Contratación de la ejecución del Programa: cálculo y obtención de presupuesto, pliego de condiciones, invitación a cotizar, evaluación de ofertas, adjudicación, firma del contrato, contratación de interventoría
UBICACIÓN HELIPUERTOS Y PUNTOS DE DESCARGA	Selección de la mejor alternativa de Localización de helipuertos cuando son requeridos.
UBICACIÓN DE CAMPAMENTO BASE Y CAMPAMENTOS VOLANTES	Selección y Localización de campamentos base (instalaciones para coordinación general de operaciones, alojamiento y servicio para personal administrativo), sub-base y volantes (instalaciones temporales, para personal operativo, equipo y materiales), localización de planta de tratamiento de aguas residuales; instalación red de comunicaciones.
GESTIÓN SOCIAL; RELACIONES CON COMUNIDAD Y AUTORIDADES	Iniciación de la Gestión social del proyecto. Presentación de la compañía ante las autoridades de la región.

ACTIVIDADES PRINCIPALES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ETAPA PREOPERATIVA
CONCERTACIÓN CON PROPIETARIOS DE PREDIOS	Aproximación al área, identificación de las veredas a intervenir, presentación del proyecto ante la comunidad (JAC), visita a las fincas y presentación del programa, concertación con propietarios de los predios, solicitud y firma de permisos para inicio de actividades, actas de vecindad. El trámite de los respectivos permisos, se realiza entre los propietarios de los predios por donde pasarán las líneas sísmicas y el personal de tierras de la empresa contratista que efectuará el programa sísmico. Se concertará con ellos la servidumbre y la forma de pago en caso de afectaciones causadas, lo cual queda consolidado mediante la firma de un acta de negociación. Este proceso debe tener en cuenta la Ley 1274 de enero 05 de 2009, la cual define el procedimiento de avalúo para servidumbres petroleras.
VERIFICACIÓN Y AJUSTES	Ajustes al programa de Manejo Ambiental, de acuerdo a los requerimientos de la Autoridad Ambiental y condiciones operativas al momento de iniciar actividades.
CAPACITACIÓN DE PERSONAL	<p>Contratación e inducción del personal de labor (Mano de obra No calificada). La contratación del personal se realiza de acuerdo con los requerimientos de la empresa contratista, proceso que se apoya en las Autoridades Municipales y las Juntas de Acción Comunal.</p> <p>La empresa contratista debe garantizar que la mano de obra no calificada esté conformada en un 100% por personal de la región. Debe asegurar la debida inducción en programas de HSE, así como la realización del proceso de exámenes médicos ocupacionales de ingreso a todo el personal contratado.</p> <p>Tanto el personal profesional como el de labor, deben recibir un completo programa de capacitación y entrenamiento relacionado con normas y lineamientos ambientales, de salud, seguridad industrial y primeros auxilios, administración, calidad de trabajo y conocimientos técnicos de su labor.</p> <p>En esta fase del proyecto, de manera simultánea, se establecen relaciones comerciales necesarias en el área para realizar la compra permanente de víveres, insumos y materiales, y el pago de salarios para el personal vinculado.</p>

1.2.2 ETAPA DE OPERACIÓN EN CAMPO

Consiste en la ejecución de todas las actividades técnicas para la adquisición de las líneas sísmicas, desde la construcción y adecuación de campamentos, apertura de picas ecológicas, nivelación topográfica, perforación cargue y tacado de pozos, detonación, registro y tapado de los pozos.

Tabla 2. Actividades de la Etapa de Operación en Campo

ACTIVIDADES PRINCIPALES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ETAPA OPERACIÓN EN CAMPO
CONSTRUCCIÓN DE CAMPAMENTOS Y HELIPUERTOS	Construcción de helipuertos o zonas de descarga cuando son requeridos; construcción y adecuación de campamentos base, sub base y volantes.
TROCHA Y TOPOGRAFÍA	<p>Calibración de equipos, apertura de picas ecológicas, nivelación topográfica, esquema de línea. Se establece sobre el terreno la ubicación de las líneas sísmicas y se procede con la apertura de la trocha; instalar referencias topográficas como mojones, para materializar sobre el terreno una referencia que perdure en el tiempo y que sirva de referencia para proyectos posteriores.</p> <p>El trazado de las líneas debe tener en cuenta criterios estipulados en la normatividad ambiental, tales como: ancho de trocha, distancias mínimas a nacaderos, cuerpos de agua y otros elementos de carácter físico, biótico o socio-económico que sean relevantes para el desarrollo de la actividad. La apertura de trocha es aplicable en sitios donde la cobertura vegetal así lo amerite, realizando el corte con herramientas manuales, manteniendo el estrato rasante de la vegetación y respetando la vegetación con DAP (diámetro del fuste a 1,3 m del suelo) mayor a 10 cm para lo cual se emplean métodos como amarre de vegetación, poda de individuos o radiación sin exceder los 5° de desviación; las líneas deben contar con un ancho máximo en áreas abiertas y en zonas boscosas.</p> <p>Durante el desarrollo de esta actividad, se debe seguir los criterios ambientales expuestos en la Guía Básica Ambiental para Programas de Exploración Sísmica Terrestre GBAPEST y/o en las Resoluciones de las corporaciones autónomas regionales CARs.</p>
PERFORACIÓN	<p>Dado el diámetro (<15 cm) y profundidad de los huecos (<30 m), se utilizan generalmente taladros portátiles seleccionados de acuerdo al tipo de material que se va a perforar. En caso de presentarse obstáculos o elementos socioambientales sensibles, algunos puntos podrán ser desplazados de manera que cumplan con distancias mínimas pre-establecidas.</p> <p>Una vez ubicados los puntos de disparo, se levantan actas de vecindad y se actualiza el inventario de aljibes, pozos profundos, lagunas, nacaderos, viviendas, procesos erosivos, áreas mineras y puentes e infraestructura vial de acceso de la zona entre otros. Dichas actas se levantarán únicamente para los elementos sensibles.</p>
LEVANTAMIENTO DE PERFILES	Complementación de la información sobre los ecosistemas presentes y las condiciones socioeconómicas encontradas a lo largo de cada

ACTIVIDADES PRINCIPALES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ETAPA OPERACIÓN EN CAMPO
ECOTOPOGRÁFICOS	línea sísmica.
CARGUE Y TACADO	<p>Ensamble del material fuente de energía (sismigel), chequeo galvanómetro, ubicación en el pozo, taponamiento del pozo. El sismigel es estable y seguro para su transporte y manipulación. Este material está diseñado especialmente para trabajos sismográficos, ofreciendo las características necesarias de seguridad operacional y generación de señal requerida. Para su utilización, es necesaria la obtención del permiso del Ministerio de Defensa Nacional.</p> <p>La operación consiste básicamente en introducir la carga en el fondo del pozo, dejando los cables conectores del detonador por fuera, con el fin de que éste pueda ser activado posteriormente en la etapa de registro. Una vez ensamblada la carga con el detonador se introducen en el pozo y se rellena con el material producto de la perforación.</p>
TENDIDO DE MATERIAL DE REGISTRO	Consiste en distribuir el material de registro (cajas, cables y geófonos) sobre las líneas que se van a registrar.
DETONACIÓN, REGISTRO Y TAPADO DE POZOS	Comprende el Chequeo de geófonos, plantado de geófonos, chequeo de línea, registro, movimiento de material, limpieza de la línea, y elaboración de Actas de vecindad pre y post registro. Cuando el tendido se encuentra en óptimo estado de funcionamiento, se inicia la detonación una a una de las cargas fuentes para realizar el registro de los datos.

1.2.3 ETAPA DE DESMANTELAMIENTO, RESTAURACIÓN Y ABANDONO DEL ÁREA

Consiste en el desmonte de la infraestructura temporal que haya sido levantada para el desarrollo de los trabajos, la verificación de que no existan dificultades en los predios intervenidos, y la recolección y disposición de cualquier tipo de residuo.

Adicionalmente, en esta etapa se asegura el estado de cumplimiento de los compromisos adquiridos por el programa sísmico con las comunidades, los propietarios de predios y las autoridades locales. Todos los compromisos deben ser satisfechos antes de abandonar la zona. El cumplimiento de estas obligaciones debe certificarse mediante la obtención de los correspondientes paz y salvos.

Tabla 3. Actividades de Desmantelamiento y restauración

ACTIVIDADES PRINCIPALES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ETAPA DESMANTELAMIENTO Y RESTAURACIÓN
LIMPIEZA DE TROCHAS Y ÁREAS OCUPADAS	Restauración de las líneas sísmicas; Limpieza de trochas y áreas ocupadas. Se recogen cables, estacas y señalización de las líneas, se reparan las cercas, broches y cualquier otra afectación generada por el tránsito de personal durante el desarrollo de las actividades.
RETIRO DE CAMPAMENTOS	Desmante y retiro de campamentos base, subbase y volantes, las captaciones de agua, los helipuertos o zonas de descarga.
REVEGETALIZACIÓN	Empadricación en los sectores que sea necesario en consenso con el propietario. Recuperación de la capa vegetal, Recuperación del paisaje natural, Restablecimiento de la zona, Correcto taponamiento de los pozos
INFORMACIÓN A LAS COMUNIDADES	Información del cierre del proyecto a las comunidades

Tabla 4. Actividades de la Etapa de Abandono del Área

ACTIVIDADES PRINCIPALES	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ETAPA DE ABANDONO DEL ÁREA
LIQUIDACIÓN DE PERSONAL	Obtención de paz y salvos por parte de todo el personal contratado.
PAGO DE COMPROMISOS Y OBLIGACIONES	Pago de permisos e indemnizaciones, pago de impuestos municipales
OBTENCIÓN DE PAZ Y SALVOS	Obtención de Paz y Salvo ambiental y de los propietarios de los predios
SEGUIMIENTO (AMBIENTAL Y SOCIAL)	Etapa final, corresponde a la verificación de la eficacia de las medidas de prevención, mitigación o control incluidas en el Plan de Manejo Ambiental para el programa sísmico, identificar otros efectos residuales no previstos en el EIA o en MMA; de acuerdo con las características del programa y su ejecución los elementos ambientales que son objeto de seguimiento son: agua, suelo aire, comunidades, administración local, organizaciones e instituciones ubicadas en el área de influencia del programa.

1.3 ENTREGA DE LA INFORMACIÓN SÍSMICA ADQUIRIDA

Toda la información adquirida en los procesos de exploración, evaluación y producción de hidrocarburos en el país debe ser entregada a la Agencia Nacional de Hidrocarburos, específicamente al Banco de Información Petrolera -BIP o EPIS (Exploration and Production Information Services). De acuerdo a las normas y procedimientos establecidos en el Manual de Entrega de Información Técnica.

Además de la información sísmica en medio digital, es obligación para los titulares de los Contratos o los operadores de los Contratos de Asociación, la presentación de un Informe Final de Adquisición sísmica que incluye todas las operaciones de campo (técnica, social, ambiental, restauración, tierras, etc.).

De esta manera, se asegura la integralidad de la información recolectada por cada programa sísmico, consolidación y ampliación del conocimiento del subsuelo y la preservación del patrimonio nacional.

2. MARCO LEGAL

2.1 CONTEXTO COLOMBIANO

El contexto legal colombiano para la exploración sísmica se enmarca dentro de un sistema centralizado regido por legislación de carácter nacional de la cual se desprenden regulaciones de tipo regional o municipal. La jurisdicción y aplicación de la legislación en Colombia está siempre subrogada con el orden jerárquico de las normas centrales (Tabla 5).

La Constitución Política de Colombia, establece las garantías, derechos y deberes fundamentales de la Nación y de todas las personas de proteger las riquezas naturales y el ambiente, derecho a gozar de un ambiente sano, garantizar que la comunidad participe en las decisiones que puedan afectarlo y el deber de planificar su manejo y aprovechamiento prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.

La legislación de primer orden jurídico en Colombia la constituye la Ley 99 de 1993 y los Decretos del orden ministerial v.g. Decreto 2820/2010 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Dentro de la legislación de segundo orden se encuentran los decretos emitidos para la reglamentación de las leyes, y la legislación de tercer orden la constituyen los actos legislativos de autoridades ambientales de carácter regional tales como las resoluciones de Corporaciones

Autónomas Regionales, v.g. Resolución 200.41.10-0440 de 2010 de Corporación Autónoma Regional de Orinoquia –CORPORINOQUIA- y la Resolución 3831 de 2012 expedida por Corporación Autónoma de Boyacá-CORPOBOYACÁ.

La legislación colombiana actual orienta la gestión de trámites para el desarrollo de las actividades de exploración sísmica terrestre, en dos categorías:

En la primera categoría, se incluyen los programas sísmicos cuyas actividades requieren construcción de vías de acceso vehicular o que estén en zonas de ordenamiento jurídico especial, para las cuales se establece la obligatoriedad de tramitar previamente la licencia ambiental; delega las competencias de aprobación, seguimiento y control en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales –ANLA-, la cual establece los términos de referencia marco para su presentación. La ANLA, debe velar porque se surtan los mecanismos de participación ciudadana y puede ordenar la suspensión de actividades, haciendo uso del ejercicio discrecional y selectivo sobre asuntos asignados a otras entidades jurisdiccionales; también tiene la potestad para dirimir conflictos de competencia entre autoridades ambientales seccionales.

Tabla 5. Jerarquía de legislación colombiana aplicable a la exploración sísmica

ORDEN JERÁRQUICO	MARCO LEGAL QUE RIGE LA SÍSMICA TERRESTRE	DESCRIPCIÓN
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA- 1991		DERECHOS Y DEBERES DEL ESTADO Y DE LOS PARTICULARES EN RELACIÓN CON EL AMBIENTE.
		PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN LAS DECISIONES AMBIENTALES DEL PROYECTO
LEY	LEY 99 DE 1993 , LEY GENERAL AMBIENTAL COLOMBIANA	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE-MADS, CREACIÓN DEL SINA, PLANEACIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS, DIRECTRICES PARA PROGRAMAS DE EXPLORACIÓN SÍSMICA
	LEY 1274 DE 2009	ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO DE AVALÚO PARA LAS SERVIDUMBRES PETROLERAS TRAMITES QUE SE DEBEN DILIGENCIAR PARA LA OCUPACIÓN DE UN TERRENO Y LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, PARA REALIZAR ACTIVIDADES RELACIONADAS CON HIDROCARBUROS
DECRETO	DECRETO 3573 DE 2011	CREACION DE ANLA, OBJETO, FUNCIONES.
	DECRETO 883 - 31 03 1997 (NULO))	TÉRMINOS PARA EL DOCUMENTO DE EVALUACIÓN DE MANEJO AMBIENTAL DEMA

ORDEN JERÁRQUICO	MARCO LEGAL QUE RIGE LA SÍSMICA TERRESTRE	DESCRIPCIÓN
	DECRETO 1753-2004 (DEROGADO) DECRETO 1728-2002 (DEROGADO) DECRETO 1180-2003 (DEROGADO) DECRETO 1220-2005 (DEROGADO) DECRETO 2820-2010 DECRETO 2041 DE 2014	REGLAMENTACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL
RESOLUCIÓN	RESOLUCIÓN 443 -3 JUNIO 1997 MADS	TÉRMINOS DE REFERENCIA DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL-EIA TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA PRESENTACIÓN DEL DOCUMENTO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL-DEMA
	RESOLUCIÓN 3831 -20 12-2012 CORPOBOYACA	ESTABLECER LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE EXPLORACIÓN SÍSMICA TERRESTRE.
	RESOLUCIÓN 200.41.10-0440, DE 18-03-2010 CORPORINOQUIA	
	RESOLUCIÓN 1023 JUL-2005 DEL MADS	ADOPCIÓN DE GUÍAS AMBIENTALES COMO INSTRUMENTO DE AUTOGESTIÓN Y AUTORREGULACIÓN

Para los casos de proyectos de exploración sísmica en áreas de comunidades indígenas y negritudes, se debe realizar un proceso de consulta previa, el cual debe incorporarse con el respectivo documento de presentación a la correspondiente autoridad ambiental.

La segunda categoría la constituyen las demás actividades que no requieren construcción de vías de acceso vehicular o que estén en zonas de ordenamiento jurídico especial, y son regidas por lo establecido en la Ley 99 de 1993 y las resoluciones emitidas por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), o la autoridad ambiental competente, quien fija los términos de referencia así como los mecanismos de seguimiento y control.

Las CARs son las autoridades competentes para adoptar en su jurisdicción, los lineamientos ambientales para la ejecución de proyectos de prospección sísmica, tales como la presentación de Planes y/o Medidas de Manejo ambiental de sus actividades. En el caso de proyectos que se encuentran en áreas del territorio nacional para los cuales las CARs no establezcan lineamientos particulares, se siguen las orientaciones y lineamientos establecidos en la Guía Básica Ambiental para Programas de Exploración Sísmica Terrestre -GBAPEST- del MADS y/o acuerdos establecidos con las autoridades ambientales competentes del área del proyecto.

CORPOBOYACA y CORPORINOQUIA, son hasta el momento, las autoridades regionales que han expedido resoluciones para regular las actividades de exploración sísmica en su jurisdicción, dentro de las cuales establecen distancias mínimas para la detonación de cargas y criterios ambientales para protección, preservación y conservación que incluyen restricciones y/o mínimos de manejo ambiental. Exigen previo al inicio del Programa de exploración sísmica la presentación de un documento denominado Medidas de Manejo Ambiental -MMA- como instrumento de planificación y dirección de actividades basado en el reconocimiento de las características abióticas, bióticas y socioeconómicas en el área del proyecto con predicción de los impactos probables, la zonificación de manejo ambiental para las áreas de intervención o exclusión y el diseño de programas de manejo para los impactos generados; incluye los requisitos para la demanda de uso y aprovechamiento de recursos naturales, vertimientos, manejo de residuos sólidos, entre otros requisitos.

La Corporación para el Desarrollo sostenible del Área de Manejo Especial de La Macarena -CORMACARENA- expidió términos de referencia para actividades de exploración sísmica y firmó un acuerdo de voluntades con las empresas operadoras para su adopción.

Las distancias mínimas a elementos ambientalmente sensibles se establecen como mecanismo de prevención a su posible la afectación; igualmente la inclusión de elementos sensibles, varía entre CORPORINOQUIA, CORPOBOYACÁ y CORMACARENA, detallando elementos socioambientales y ecosistemas propios de la región.

Mientras CORMACARENA toma en cuenta la cantidad de carga para realizar las detonaciones e incluye una clasificación más detallada de elementos sensibles y las áreas de manejo especial, CORPORINOQUIA y CORPOBOYACA, establecen mayores distancias de puntos de disparo, pero no limitan la cantidad de carga a utilizar; estas últimas requieren previo a la planificación de los puntos, evaluar la estabilidad del terreno, identificar y clasificar los acuíferos del área y prohíben los disparos en cuerpos de agua superficial.

El comparativo entre las tres corporaciones sobre las distancias mínimas a

elementos ambientalmente sensibles se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparativo de distancias mínimas en la jurisdicción de CORPORINOQUIA, CORPOBOYACA y CORMACARENA.

DISTANCIAS MÍNIMAS PARA DETONACIÓN DE CARGAS CORPORINOQUIA – CORPOBOYACA		DISTANCIAS MÍNIMAS PARA LA DETONACIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS – CORMACARENA		
A INFRAESTRUCTURA, ESTRUCTURAS O ÁREAS DE ESPECIAL MANEJO	DISTANCIA (m)	LUGAR	CARGA	DISTANCIA (m)
CARRETERAS O ACUEDUCTOS MUNICIPALES Y VEREDALES SUPERFICIALES O ENTERRADOS.	20	ACUEDUCTOS MUNICIPALES ENTERRADOS O SUPERFICIALES	TODAS	50
		ACUEDUCTOS VEREDALES SUPERFICIALES O ENTERRADOS	TODAS	50
OLEODUCTOS, GASODUCTOS Y ESTRUCTURAS EN CONCRETO	50	LÍNEAS SUPERFICIALES DE CONDUCCIÓN DE HIDROCARBUROS (LÍNEAS DE FLUJO, OLEODUCTOS, GASODUCTOS Y POLIDUCTOS)	TODAS	25
ESTANQUES PISCÍCOLAS, VIVIENDAS, TORRES DE ALTA TENSIÓN, TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS.	100	BATERÍAS Y TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS	TODAS	100
TANQUES DE AGUA, BOCATOMAS CON ESTRUCTURAS EN CONCRETO.	70	BOCATOMAS CON ESTRUCTURA EN CONCRETO O SIN ESTRUCTURA EN CONCRETO	TODAS	100
LÍNEAS DE FLUJO, BOCATOMAS SIN ESTRUCTURA DE CONCRETO, ACUEDUCTOS MUNICIPALES ENTERRADOS, CARRETERAS PAVIMENTADAS.	25	LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DE CONDUCCIÓN DE HIDROCARBUROS (LÍNEAS DE FLUJO, OLEODUCTOS, GASODUCTOS Y POLIDUCTOS)	< 2 KG	30
			2 – 4 KG	45
			4 – 6 KG	50

DISTANCIAS MÍNIMAS PARA DETONACIÓN DE CARGAS CORPORINOQUIA – CORPOBOYACA		DISTANCIAS MÍNIMAS PARA LA DETONACIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS – CORMACARENA		
A INFRAESTRUCTURA, ESTRUCTURAS O ÁREAS DE ESPECIAL MANEJO	DISTANCIA (m)	LUGAR	CARGA	DISTANCIA (m)
			6 – 8 KG	75
TORRES DE ALTA TENSIÓN, CARRETERA DESTAPADA EN CORTE.	50	CUERDAS DE ALTA TENSIÓN	TODAS	100
JAGÜEYES.	30	JAGÜEYES, LAGUNAS, POZOS DE AGUA, ALJIBES, ESTEROS, NACEDEROS, ESTANQUES	TODAS	100
POZOS DE AGUA Y ALJIBES.	50			
NACEDEROS A CUERPO DE AGUA.	100			
ÁREAS RECEPTORAS DE FAUNA SILVESTRE	100			
ESTANQUES PISCÍCOLAS, VIVIENDAS, TORRES DE ALTA TENSIÓN, TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS.	100			
ESTEROS, LAGUNAS, MORICHALES, MADREVIEJAS O CUALQUIER OTRO TIPO DE HUMEDALES	50			
CÁRCAVAS, REPTACIÓN, CORONAS Y FLANCOS DE DESLIZAMIENTOS BARRANCOS.	50	CÁRCAVAS, REPTACIÓN Y BARRANCOS	TODAS	100
		ASENTAMIENTOS RURALES, VIVIENDAS, CEMENTERIOS Y POZOS SÉPTICOS REVESTIDOS	TODAS	100
		ESCUELAS O COLEGIOS	TODAS	200
		SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	TODAS	50
		CARRETERAS PAVIMENTADAS	TODAS	30
		SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	TODAS	50
		CARRETERAS PAVIMENTADAS	TODAS	30
		CARRETERAS DESTAPADAS EN	TODAS	100

DISTANCIAS MÍNIMAS PARA DETONACIÓN DE CARGAS CORPORINOQUIA – CORPOBOYACA		DISTANCIAS MÍNIMAS PARA LA DETONACIÓN DE CARGAS EXPLOSIVAS – CORMACARENA		
A INFRAESTRUCTURA, ESTRUCTURAS O ÁREAS DE ESPECIAL MANEJO	DISTANCIA (m)	LUGAR	CARGA	DISTANCIA (m)
		CORTE Y EN PENDIENTE		
		CARRETERAS DESTAPADAS EN ÁREA PLANA	TODAS	10
		BOX CULVERT, PUENTES, TÚNELES Y PRESAS	TODAS	100
		RÍOS	TODAS	100 DESPUÉS COTA MÁXIMA DE INUNDACIÓN
		QUEBRADAS Y CAÑOS	TODAS	50 DESPUÉS DE LA COTA MÁXIMA DE INUNDACIÓN

Fuente: CORPORINOQUIA (2010), CORPOBOYACA (2012), y CORMACARENA.

2.2 CONTEXTO INTERNACIONAL

El tema de la exploración sísmica no tiene el mismo grado de atención en todos los países con tradición petrolera. Aunque la mayoría de ellos posee algún tipo de legislación genérica para el manejo del tema, son muy pocos los que cuentan con normatividad específica y estricto cumplimiento jurídico. Más aun, no son muchos los que han desarrollado y adoptado guías ambientales para la armonización de las operaciones sísmicas.

Los países que poseen legislación específica para el desarrollo de programas de exploración sísmica son Canadá, Australia, Perú, Estados Unidos, Alemania y México.

La estructura del marco legal para la exploración sísmica en el ámbito internacional depende primariamente del modelo de gobierno de cada país, ya sea central o federal.

Los programas de exploración geofísica en Canadá, Australia y México se desarrollan bajo una perspectiva federal, factor que contribuye con la proliferación de normas con aplicación individual por estados provincias o territorios. A continuación se describen los aspectos más relevantes del marco legal internacional referido.

- **Canadá**

Aunque el modelo federal Canadiense no es directamente aplicable a Colombia, sí lo es el contenido normativo específico existente en algunas provincias y territorios,

el cual ofrece un marco de referencia sin paralelo para el análisis del tema en el país. La legislación de tres provincias y dos territorios dentro de la cuenca sedimentaria petrolera del oeste de Canadá contiene algunos temas destacados para la planeación, operación, construcción y monitoreo de programas de exploración sísmica que merecen ser revisados. Por simplicidad, el análisis del marco legal canadiense se limitó a las tres provincias con la mayor actividad petrolera terrestre: Alberta, British Columbia y Saskatchewan.

El marco legal legislativo jerárquico para el desarrollo de programas sísmicos en Alberta descansa en instrumentos de primer tipo, Actas provinciales, denominadas *Forests Act*, *Mines and Mines Act*, *Public Highways Development and Public Lands Act*, equivalentes a las leyes colombianas. La legislación de segundo orden la constituye la Regulación 284/2006 por la cual se reglamenta toda la actividad de exploración petrolera en la provincia. Algunos elementos específicos concernientes a la exploración sísmica, v.g. distancia, pozos, cargas y profundidades de carga, son reglamentados en la *Parte 5: Operaciones Exploratorias de Campo*.

Al igual que en Alberta, la estructura de marco legal en las Provincias de British Columbia y Saskatchewan está subrogada a normas de primer orden jerárquico, *Oil and Gas Activities Act* y *The Minerals Resources Act*. La legislación de segundo orden en estas dos provincias presenta un modelo de legislación para la regulación de la exploración sísmica que es único en el ámbito internacional. Ningún otro país posee normas equivalentes a la Regulación 280/2010 *Geophysical Exploration Regulation de British Columbia* y *The Seismic Exploration Regulation, 199, Chapter M-16 Regulation 2* de Saskatchewan, las cuales son diseñadas exclusivamente para el manejo de tema, como se sintetiza en la Tabla 7.

- **Australia**

El sistema de gobierno de Australia también es de tipo federal. Sin embargo, aunque la mayoría de estados posee algún tipo de legislación aplicable al petróleo, v.g. los estados de South Australia y Queensland, la exploración geofísica, como actividad, se encuentra poco o nada reglamentada. El mejor ejemplo de reglamentación lo constituyen las provisiones implícitas dentro de las actividades generales de exploración contenidas en la *South Australia Petroleum Act 2000, División 2, Specualtive Survey* y la *Division3 Preliminary Survey*.

- **México**

Son varios los actos legislativos existentes para el manejo de la exploración sísmica; la ley orgánica de la administración pública general establece las bases de organización en los artículos 26 y 33, donde se confieren los poderes jurídicos a la secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.

La ley federal sobre Metrología y Normalización (2007), presentó para para consulta pública, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-026-SESH-2007, *Lineamientos para los trabajos de prospección sísmológica petrolera y especificaciones de los niveles máximos de energía*, la cual fue aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización en Materia de Hidrocarburos y reglamentada mediante el artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo; especifica las disposiciones generales como el sistema de información de hidrocarburos, las zonas de reserva petrolera, del reconocimiento y la exploración, entre otras.

- **Perú**

Perú, está constituido por un modelo de tipo centralizado. Posee un marco legislativo jerárquico legal dentro de la cual está la *Ley General del Ambiente* (Ley 28611) el *marco del sistema nacional de gestión ambiental* (Ley 28245), y el Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (Ley 27446). Respecto al desarrollo de las actividades exploratorias de sísmica se dispuso que el Ministerio de Energía y Minas, sea el encargado de dictar las normas relacionadas con los aspectos técnicos de instalaciones y operaciones de exploración y explotación, mediante el Decreto Supremo N° 055-93-EM.

Las Tablas 7 y 8, presentan una síntesis del marco normativo internacional en materia de exploración sísmica en los países o provincias objeto de análisis en el presente trabajo y su equivalencia con el marco actual de Colombia.

Tabla 7. Marco normativo canadiense para la exploración sísmica y su paralelo con Colombia.

CANADA		COLOMBIA
BRITISH COLUMBIA	SASKATCHEWAN	
<i>REGULATION 280/2010</i>	CHAPTER M-16 REGULATION 2/1999.	NORMA ICONTEC COLOMBIANA 2002, PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL DE PROYECTOS DE EXPLORACIÓN SÍSMICA TERRESTRE.
<i>GEOPHYSICAL EXPLORATION REGULATION</i>	SEISMIC REGULATION	
PARTE I: TÍTULO, INTERPRETACIÓN Y APLICACIÓN	1. INTERPRETACIÓN	1. INTRODUCCIÓN
PARTE II: LICENCIAS DE EXPLORACIÓN Y PERMISOS DE EXPLOSIVOS	2. REPORTES	2. INSTRUCCIONES
PARTE III PLANES PRELIMINARES, REPORTES Y AVISOS	3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BMS	3. MARCO DE REFERENCIA DE LA GESTIÓN AMBIENTAL DE EXPLORACIÓN SÍSMICA
PARTE IV: RESTRICCIONES A LA EXPLORACIÓN SÍSMICA	4. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA CERCA DE OLEODUCTOS, SERVICIOS PÚBLICOS, RESIDENCIAS ETC.	4. PLANIFICACIÓN AMBIENTAL DEL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN SÍSMICA
PARTE V: OPERACIONES APLICABLES A POZOS DE DISPARO Y FUENTES DE ENERGÍA	5. RELLENO Y ABANDONO DE POZOS	5. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA
PARTE VI: RESTAURACIÓN DE PROPIEDAD DAÑADA	6. MARCADO Y DELINEACIÓN DE POZOS	6. DESARROLLO DEL PROGRAMA SÍSMICO
PARTE VII: MANEJO, CARGA Y DETONACIÓN DE EXPLOSIVOS	7. CARGAS SIN DETONAR	7. DESMANTELAMIENTO, ABANDONO Y EVALUACIÓN EXPOST.
PARTE VIII: MULTAS	8. FLUJO DE AGUA O GAS EN EL POZO DE DETONACIÓN	
PARTE IX: APELACIÓN, TRANSICIÓN Y CUMPLIMIENTO	9 REMOCIÓN DE MATERIAL	
APÉNDICE PARTE I: TABLAS	10. LIMPIEZA Y RESTAURACIÓN DE CAMPAMENTOS	

CANADA		COLOMBIA
BRITISH COLUMBIA	SASKATCHEWAN	
APÉNDICE PARTE II: FORMAS E INFORMACIÓN	11. RESTITUCIÓN DE DAÑOS	
	12. OBLIGACIONES PARA LA CANCELACIÓN, SUSPENSIÓN O TERMINACIÓN DE OPERACIÓN	
	AGENDA DE MANEJO 1: DISTANCIAS DE PROTECCIÓN MÍNIMAS	
	AGENDA DE MANEJO 2: DISTANCIAS MINIMAS DE PROTECCIÓN	

Tabla 8. Marco legal internacional para la exploración sísmica y su paralelo con Colombia.

ORDEN JERÁRQUICO	COLOMBIA	CANADÁ			AUSTRALIA	ESTADOS UNIDOS	PERÚ	MÉXICO
	TERRITORIO NACIONAL	ALBERTA	BRITISH COLUMBIA	SASKATCHEWAN	SOUTH AUSTRALIA	MISISIPI	TERRITORIO NACIONAL	TERRITORIO NACIONAL
PRIMER ORDEN	CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA, LEY 99, 1993.	FOREST ACT	OIL AND GAS ACTIVITIES ACT	THE MINERALS RESOURCES ACT	SOUTH AUSTRALIA PETROLEUM ACT 2000, DIVISION 2, SPECULATIVE SURVEY	MISSISSIPPI CODE, SECTIONS 29-7-1 ET SEQ.	LEY 26221, 20 DE AGOSTO DE 1993; DECRETO SUPREMO 046-93-EM; DECRETO SUPREMO 032-2004-EM; LEY 27446, 23 DE ABRIL DE 2001.	LEY ORGÁNICA DE ADMINISTRACIÓN PÚBLICA FEDERAL; LEY FEDERAL METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN,
		MINES AND MINERALS ACT			LEY 28245 8 JUNIO 2004.		LEY REGLAMENTARIA DEL ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL EN EL RAMO DEL PETRÓLEO	
		PUBLIC HIGHWAYS DEVELOPMENT ACT			LEY 28611.			
		PUBLIC LANDS						
SEGUNDO ORDEN	DECRETO 2080/2010 MADS	ALBERTA REGULATION 284/2006: EXPLORATION REGULATION	REGULATION 280/2010 GEOPHYSICAL EXPLORATION REGULATION	CHAPTER M-16 REGULATION 2/1999. THE SEISMIC REGULATION				NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-026-SESH-2007.

3. GUÍAS AMBIENTALES Y OTROS DOCUMENTOS RELACIONADOS

En Colombia la GBAPEST, expedida por el MADS se constituye en una herramienta de consulta, orientación y lineamientos de acciones de carácter conceptual, metodológico o procedimental. No es un instrumento jurídico de obligatorio cumplimiento, pero brinda los lineamientos básicos sobre los cuales se presenta los estudios (MMA) para el desarrollo de las actividades de exploración sísmica.

Contempla en su contenido de gestión ambiental, las etapas de planificación ambiental, desarrollo, desmantelamiento, abandono y evaluación pre y post registro (ver capítulo 1). Establece las distancias mínimas (Tabla 9) para detonación de cargas de acuerdo a elementos ambientalmente sensibles. Prohíbe los disparos en cuerpos de aguas como lagos y lagunas, pero los permite en zonas esporádicamente inundadas, bajo algunas restricciones.

Otros documentos relacionados son la Norma técnica colombiana NTC 5067-2002 y el Manual para la Adquisición y Procesamiento de sísmica terrestre, expedido por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). La NTC integra las funciones de planificación del proyecto en el desarrollo del Plan de Gestión Ambiental (PGA), incluye la descripción general, el desarrollo del proyecto y el plan de restauración y abandono, destinados a los proyectos de exploración sísmica terrestre.; permite realizar el proceso de planificación ambiental del proyecto sísmico con el fin de agilizarlo y unificar los criterios de gestión; también propone acciones de compensación requeridos para aquellos impactos que no pueden ser prevenidos o mitigados. Por su parte el Manual compila los estándares y directrices para la adquisición sísmica terrestre en Colombia 2D/3D/4D y las tecnologías disponibles a nivel mundial; no trata procedimientos ambientales, sociales o jurídicos, pero insta a investigar y aplicar la responsabilidad de cumplir con las reglamentaciones dadas.

Al igual que en Colombia, las guías ambientales existentes en el ámbito internacional no constituyen instrumentos jurídicos de estricto cumplimiento. Más aun, la formulación de guías no parece ser acogida en la mayoría de países con tradición petrolera.

Más que legal, el objetivo universal de las guías es facilitar y armonizar los procesos de planeación, ejecución y clausura de programas sísmicos procurando el menor impacto posible. Donde existen, las guías son de diversa índole, preparadas por organizaciones no gubernamentales (ONG), institutos de normas técnicas, asociaciones de la industria de petróleo o las mismas instituciones del gobierno.

Canadá es el país con la mayor variedad de guías técnicas y ambientales para el

manejo de la exploración sísmica. Mientras que la provincia de Saskatchewan y los Territorios de Yukón y Norwest poseen una guía única, Alberta y British Columbia poseen al menos dos. El caso de Alberta es particular puesto que posee el mayor número de guías y políticas de gobierno, como ningún otro país o Estado.

Tabla 9. Distancias mínimas de disparo establecidas en la GBAPEST

FACTOR	SITIO	CRITERIO		
		CARGA (KG)	DISTANCIA (M)	
DISTANCIAS MÍNIMAS RECOMENDADAS PARA PUNTOS DE DISPARO	CARRETERAS O ACUEDUCTOS MUNICIPALES SUPERFICIALES	TODAS	10	
	JAGUAYES/ESTEROS/LAGUNAS, POZOS DE AGUA Y ALJIBES	TODAS	30	
	OLEODUCTOS, GASODUCTOS, POZOS DE AGUA, RESIDENCIAS, VIVIENDAS Y ESTRUCTURAS DE CONCRETO	MENOS DE 2		30
		2 A 4		45
		4 A 6		50
		6 A 8		75
	ESTANQUES PISCÍCOLAS, VIVIENDA EN ADOBE, TORRES DE ALTA TENSIÓN, TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS	TODAS	100	
	CÁRCAVAS, REPTACIÓN, BARRANCOS, LÍNEAS DE FLUJO, BOCATOMAS SIN ESTRUCTURA DE CONCRETO, ACUEDUCTOS MUNICIPALES ENTERRADOS, CARRETERA PAVIMENTADA.	TODAS	25	
	CUERDAS DE ALTA TENSIÓN, CARRETERA DESTAPADA EN CORTE	TODAS	50	
	TANQUES DE AGUA, VIVIENDAS EN MATERIAL, BOCATOMAS CON ESTRUCTURAS EN CONCRETO	TODAS	70	
	VIVIENDAS EN MADERA	TODAS	20	
	ACUEDUCTOS VEREDALES SUPERFICIALES O ENTERRADOS	TODAS	5	
DISPAROS EN CUERPOS DE AGUA	LA UTILIZACIÓN DE CARGAS EN RÍOS, LAGOS Y LAGUNAS ESTÁ PROHIBIDA. SE PERMITE LA EXPLORACIÓN UTILIZANDO OTRAS TECNOLOGÍAS TALES COMO PISTOLAS DE AIRE O EQUIVALENTE. LAS ÁREAS ESPORÁDICAMENTE INUNDADAS SE MANEJARÁN ASÍ:			
	A) PERFORACIÓN PROFUNDA DE HUECOS DE DISPARO (20 M, MÍNIMO). (VALOR TENTATIVO SUJETO A INVESTIGACIÓN)			
	B) TAPONAMIENTO DEL HUECO DE TAL MANERA QUE SE EVITE LA SALIDA DEL MATERIAL DURANTE LA DETONACIÓN.			
	C) REDUCCIÓN DE LA CARGA AL MÍNIMO POSIBLE SEGÚN LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO.			

Fuente: GBAPEST

La diversidad temática de las guías y documentos en Alberta es también notoria. A

nivel de guías, la provincia cuenta con un instrumento mixto tipo de tercer orden jerárquico denominada “Políticas y Procedimientos para remitir el Reporte Geofísico (GRF), el cual contiene algunos instrumentos de coerción para su cumplimiento. La gestión de los programas sísmicos es soportada además por una serie de guías entre las cuales cabe mencionar las “Prácticas en Exploración Sísmica” de la Asociación Canadiense del Petróleo (CAPP) y Premier en Exploración Sísmica” del Instituto Pembina. Otros documentos soporte, únicos en su género, cubren aquellos casos donde ocurre superposición de jurisdicción entre las entidades del estado o provincia. Algunos ejemplos son las guías para las “Operaciones Sísmicas y los Derechos de los Propietarios de Tierras” y las “Guías para la Exploración Sísmica en cercanía de la estructura vial” emitidos por el Gobierno de Alberta a través de los ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural y de Transporte.

La reglamentación para la ejecución de programas de exploración geofísica en Australia merece menos atención que en Canadá. Aunque la mayoría de los estados del país australiano poseen cuencas sedimentarias con potencial petrolero, el papel de las guías técnicas y ambientales para la exploración sísmica no está claramente establecido.

El único documento en su género lo constituye el “Ejemplo de procedimientos ambientales para las operaciones sísmicas en la cuenca de Cooper y Eromanga” emitida por el *Department of Primary Industries and Resources* del estado South Australia. Contrario a las guías Canadienses, el modelo Australiano descrito en esta guía propone el manejo de programas sísmicos de acuerdo con las características fisiográfica-geomorfológicas y eco sistémicas de la cuenca, v.g. dunas, humedales llanuras de inundación etc., más que las guías generalizadas aplicadas en la mayoría de los países, incluyendo Colombia.

3.1 ESTRUCTURA DE LAS GUÍAS INTERNACIONALES RESPECTO A LA GBAPEST EXPEDIDA POR EL MADS (1997)

Las guías ambientales internacionales para la exploración sísmica siguen una estructura similar a la GBAPEST. Aunque el enfoque particular varía de acuerdo con la legislación, condiciones socioeconómicas y conocimiento del entorno geográfico, v.g. fisiografía y ecosistemas, la mayoría de ellas son organizadas por elementos que cubren de algún modo los módulos del marco legal, planeación y administración, construcción, operación, abandono, restauración y participación ciudadana presentes en la GBAPEST. Sin embargo, algunos elementos de las guías se presentan ya sea con un contenido mejorado o adicional al existente en la GBAPEST.

Una breve revisión de los elementos con mayor potencial de aplicación en Colombia se presenta a continuación. La comparación temática de estos elementos con la estructura de la GBAPEST se presenta en las Tablas 10 y 11.

3.2 ÁREAS AMBIENTALMENTE SENSIBLES.

Las guías de Alberta, Canadá, definen áreas de sensibilidad ambiental, generalmente establecidas dentro de los esquemas de ordenamiento territorial del orden nacional o territorial que requieren del cumplimiento de guías individualizadas para la ejecución de programas sísmicos. Con la inclusión de este tipo de zonificación en las guías ambientales se pretende que el “Solicitante” verifique con anterioridad si alguna de estas áreas va a ser afectada por el programa sísmico propuesto y formule, para su aprobación, un programa exclusivo de operación en estas áreas.

La provincia de Alberta, posee el mejor ejemplo de políticas para áreas ambientalmente Sensibles en la Sección 3.4-Areas of Special Concern de la Policy and Procedures Document for Submitting the Geophysical Field Report (AESRD, 2006).

El manejo de programas sísmicos en áreas ambientalmente sensibles en la provincia de British Columbia se presenta en forma exclusiva en los apéndices A y B de la Geophysical Exploration Application Manual (BC oil & and Gas Commission, 2010). Los procedimientos operativos para zonas ambientalmente Sensibles en Saskatchewan son más generalizados, descritos de forma global dentro de los lineamientos para la protección de vida salvaje, peces y hábitat. Así se consigna en la Sección 3.7 Protecting Wildlife, Fisheries and Habitat de la Guía: Environmental Operating Practices for the Upstream Petroleum Industry- Saskatchewan (CAPP, 2002).

En Australia, la definición de áreas ambientalmente sensibles para las operaciones sísmicas se concibe con una filosofía basada en las condiciones fisiográficas y ambientales del territorio. Las guías existentes para las cuencas Cooper y Eromanga contienen por ejemplo, procedimientos para la preparación de líneas acordes a la clasificación geomorfológica y ecosistémica de las zonas materia de exploración, v.g. dunas, humedales, llanuras de inundación etc. Así se establece en el capítulo “*Land Systems Specific Line Preparation Procedures*”, *Example environmental procedures for seismic operations in the Cooper and Eromanga Basins, South Australia* (Langley Petroleum, 2000).

Tabla 10. Contenido destacado de las guías ambientales para la exploración sísmica en el ámbito internacional: CANADÁ

PAIS	CANADA							
ESTADO	ALBERTA				BRITISH COLUMBIA		SASKATCHEWAN	
AUTOR	CANADIAN ASSOCIATION OF PETROLEUM PRODUCERS (CAAPP)	PEMBINA INSTITUTE	ALBERTA GOVERNMENT: AGRICULTURAL AND RURAL DEVELOPMENT	ALBERTA GOVERNMENT: TRANSPORTATION	ALBERTA ENVIRONMENTAL AND SUSTAINABLE RESOURCES DEVELOPMENT (AESRD)	BC OIL & GAS COMISSION	CANADIAN ASSOCIATION OF PETROLEUM PRODUCERS (CAAPP)	CANADIAN ASSOCIATION OF PETROLEUM PRODUCERS (CAAPP)
TEMATICA	PRÁCTICAS EN EXPLORACIÓN SÍSMICA	PREMIER EN EXPLORACIÓN SÍSMICA	OPERACIONES SÍSMICAS Y LOS DERECHOS DE LOS PROPIETARIOS DE TIERRAS	GUÍAS PARA LA EXPLORACIÓN SÍSMICA EN CERCANÍA DE INFRAESTRUCTURA VIAL	POLÍTICAS Y PROCEDIMIENTOS PARA REMITIR EL REPORTE GEOFÍSICO	MANUAL DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA	GUÍAS – PRÁCTICAS OPERACIONALES AMBIENTALES PARA LA EXPLORACIÓN PETROLERA - BRITISH COLUMBIA _ GEOFÍSICA. 2001	GUÍA – PRÁCTICAS OPERACIONALES AMBIENTALES PARA LA EXPLORACIÓN PETROLERA- SASKATCHEWAN- GEOFÍSICA- 2002
CONTENIDO DESTACADO	I. CAMBIOS EN LA PRÁCTICA DE LA EXPLORACIÓN GEOFÍSICA	• QUE ES EXPLORACIÓN SÍSMICA	•OPERACIONES SÍSMICAS Y LOS DERECHOS DE LOS PROPIETARIOS DE TIERRAS	GUÍAS A SEGUIR DURANTE PROGRAMAS SÍSMICOS CERCA DE LAS VÍAS QUE SON JURISDICCIÓN DEL MINISTERIO DE TRANSPORTE DE ALBERTA	2.REQUISITOS PARA LA REMISIÓN DEL REPORTE GEOFÍSICO	2. REQUISITOS DE PRE-APLICACIÓN	2. MANEJO AMBIENTAL	2. MANEJO AMBIENTAL
	II.DEFINICIONES	• IMPACTO AMBIENTAL	•OPERACIONES SÍSMICAS Y LOS POZOS DE AGUA		3.DILIGENCIAMIENTO DE LA FORMA PARA EL REPORTE GEOFÍSICO	3. PREPARACIÓN DE LA APLICACIÓN	3.PLANEAMIENTO Y DISEÑO AMBIENTAL	3.PLANEAMIENTO Y DISEÑO AMBIENTAL

PAIS	CANADA							
ESTADO	ALBERTA			BRITISH COLUMBIA			SASKATCHEWAN	
CONTENIDO DESTACADO	III. EQUIPO	• USO DE LAS MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO			3.4 ÁREAS DE MANEJO ESPECIAL	4. PROCESO DE REVISIÓN DE APLICACIONES	4. CONSTRUCCIÓN	4.CONSTRUCCIÓN
		• DERECHOS DE LOS CIUDADANOS			3.5 ZONAS DE PROTECCIÓN	5. FORMATOS DE APLICACIÓN PARA PERMISOS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA	5. OPERACIONES	5. OPERACIONES
					3.8 EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN CORRIENTES Y CUERPOS DE AGUA	8.OPERACION Y CONSTRUCCIÓN	5.1 USO DE EXPLOSIVOS	5.1 USO DE EXPLOSIVOS
					3.9 MÉTODOS OPERACIONALES Y CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS	9. REPORTE GEOFÍSICO	5.6 MANEJO DE RESIDUOS	5.6 MANEJO DE RESIDUOS
					3.11 MISCELÁNEOS	11. CUMPLIMIENTO	5.7 MONITOREO DE POZOS DE AGUA	5.7 MONITOREO DE POZOS DE AGUA
					3.11.1 CAMPAMENTOS		6. RECLAMACIÓN	6. RECLAMACIÓN
					3.11.2 MANEJO DE RESIDUOS			
				3.11.6 APLICACIÓN JURÍDICA DE LA GUÍA				

Tabla 11. Contenido destacado de las guías ambientales para la exploración sísmica en el ámbito internacional: OTROS PAÍSES

PAÍS	AUSTRALIA	ESTADOS UNIDOS		PERÚ	ALEMANIA	MÉXICO
ESTADO	SOUTH AUSTRALIA STATE	MISSISSIPPI	MONTANA	TERRITORIO NACIONAL	TERRITORIO NACIONAL	
AUTOR	DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES AND RESOURCES SOUTH AUSTRALIA	MISSISSIPPI MAJOR ECONOMIC IMPACT AUTHORITY (MMEIA)		MINISTERIO DE ENERGÍAS Y MINAS A TRAVÉS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES ENERGÉTICOS	INSTITUTO DE NORMALIZACIÓN ALEMANA.	NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-026-SESH-2007.
TEMÁTICA	PROCEDIMIENTOS AMBIÉNTALES EJEMPLO PARA LAS OPERACIONES SÍSMICAS EN LAS CUENCAS COBRE Y EROMANGA, SOUTH AUSTRALIA	REGLAS Y REGULACIONES QUE GOBIERNAN LA EXPLORACIÓN GEOFÍSICA SÍSMICA Y OTROS TIPOS DE EXPLORACIÓN EN TIERRAS PROPIEDAD DEL ESTADO DIFERENTES A LAS AGUAS MARINAS	ONSHORE OIL AND GAS GEOPHYSICAL EXPLORATION SURFACE MANAGEMENT REQUIREMENTS PUBLIC	REGLAMENTO PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES DE HIDROCARBUROS.	INSTRUCCIONES PARA LA DETERMINACIÓN Y LA ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS CAUSADAS POR VIBRACIONES	LEY ORGÁNICA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA FEDERAL ; LEY FEDERAL METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN; REGLAMENTO DE LA LEY REGLAMENTARIA DEL ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL EN EL RAMO DEL PETRÓLEO

PAÍS	AUSTRALIA	ESTADOS UNIDOS		PERÚ	ALEMANIA	MÉXICO
ESTADO	SOUTH AUSTRALIA STATE	MISSISSIPPI	MONTANA	TERRITORIO NACIONAL	TERRITORIO NACIONAL	
CONTENIDO DESTACADO	<ul style="list-style-type: none"> • MANEJO DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA • ACCESO • LEVANTAMIENTO SÍSMICO • LÍNEAS SÍSMICA/PREPARACIÓN DE LOS ACCESO DE EQUIPO • PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACIÓN DE LÍNEAS EN SISTEMAS DE TIERRAS ESPECIFICAS • RESTAURACIÓN DE LÍNEA SÍSMICAS • POZOS DE DISPARO • CAMPAMENTOS • RESTAURACIÓN • PREVENCIÓN DE INCENDIOS 	<p>REGLA 2 PERMISOS REQUERIDOS</p> <p>REGLA 7 OPERACIONES DE CAMPO</p> <p>REGLA 9 REPORTES</p> <p>REGLA 10 PROTECCIÓN DE AREAS DE MANEJO DE VIDA SALVAJE</p> <p>REGLA 13 VIOLACIONES</p>	<p>DEFINE LAS DISTANCIAS MÍNIMAS A CIERTOS OBJETOS BASADOS EN PESO DE LAS CARGAS EXPLOSIVAS</p>	<p>SE DEFINE UNA TABLA CON DISTANCIAS MÍNIMAS PERMITIDAS PARA PUNTOS DE DISPARO DE EXPLOSIVOS Y NO EXPLOSIVOS; PARA EXPLOSIVOS TENIENDO EN CUENTA RANGOS DE CANTIDAD DE EXPLOSIVO.</p>	<p>EN LA SECCIÓN 2.1 SE DESCRIBEN LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LAS VIBRACIONES Y SU ESTIMACIÓN. ESTABLECE UNA TABLA CON VALORES DE VELOCIDAD PICO DE PARTÍCULA, PARA ESTIMACIÓN DE EFECTOS DE VIBRACIONES DE CORTO DE PLAZO.</p>	

3.3 MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO

Las mejores prácticas de manejo –MPM- aparecen referenciadas bajo diferentes criterios, principalmente en las guías de Canadá. Se definen como el conjunto de procedimientos estandarizados y actualizados con los últimos adelantos tecnológicos en exploración sísmica que permiten desarrollar operaciones altamente eficientes minimizando al máximo los impactos ambientales. Las MPM son frecuentemente concertados entre las autoridades ambientales, la industria y los diferentes tipos de actores.

Un ejemplo de MPM lo constituye la sísmica de bajo impacto (SBI), la cual articula para su aplicación un conjunto de estrategias de operación que tienen como objetivo primario reducir al máximo el impacto o perturbación de las áreas objeto de exploración.

Ejemplos de SBI en Canadá se pueden encontrar en la *Sección II: Definiciones de la Guía Geophysical Exploration Practices* de la Asociación Canadiense de Productores de Petróleo (CAPP, 2002), la cual revisa los conceptos de sísmica convencional versus SBI.

Los lineamientos SBI dados por la CAPP están orientados primariamente a la construcción de líneas sísmicas y apertura de trocha. Una discusión más amplia de SBI se presenta en la *Guía Oil & Gas Best Management Practices-Seismic Exploration del Territorio de Yukón, Canadá*, la cual se extiende a la mayoría de fases operacionales de los programas sísmicos, incluyendo la fase de planeación. Otras guías, como la *Seismic Exploration, Environment & Energy in the North* (Pembine Institute, no fechada) refuerza la discusión de MPM en algunas fases del programa sísmico.

3.4 INFRAESTRUCTURA VIAL PRIMARIA

Alberta posee lineamientos que deben ser acogidos durante las operaciones sísmicas en cercanías o cruce de vías de comunicación en la provincia, los cuales están consignados en las “*Guidelines for Seismic Exploration in Highway Rights-of-way*” (Government of Alberta-Ministry of Transportation). Las guías proveen lineamientos específicos a observar cuando la exploración sísmica interactúe con vías principales. Estas cubren entre otros, periodos de notificación, identificación de riesgos de seguridad, estacionamiento de equipo sobre las vías, señalización y control de tráfico, operaciones en áreas inestables etc.

3.5 MONITOREO DE ACUÍFEROS

El monitoreo de acuíferos es un elemento no incluido hasta ahora en ninguna regulación aplicable a los programas de exploración sísmica.

Algunas guías ambientales para la exploración sísmica en Canadá incluyen el monitoreo de acuíferos como una manera de suplir la deficiencia legislativa existente. La sección 5.7 referida a Monitoreo de Pozos de agua de las guías “*Environmental Operating Practices for the Upstream Petroleum Industry British Columbia y Saskatchewan –Seismic*” incluyen lineamientos básicos para el monitoreo de acuíferos. Estas guías no son solo las únicas en incluir el tema, sino las más recientemente publicadas (2001 y 2002), lo que sugiere una respuesta efectiva a las preocupaciones y quejas de las comunidades.

3.6 ZONAS DE RESERVA FORESTAL O BOSQUES TROPICALES

Un caso particular, sobre ejecución de MPM aplicado a la exploración sísmica en ecosistemas de bosque tropical fue desarrollado por Westlund y Thurber (2010) durante el desarrollo de un programa exploratorio en la selva del Ecuador. Las principales MPM aplicadas incluyeron: no construir nuevas vías, limitación de ancho de líneas y capacidad de los campamentos, restricción en el uso de botes y rutas de helicóptero y veto en el acceso y operación en zonas biológicamente Sensibles. El modelo de mejores prácticas de manejo sirvió para mitigar significativamente los impactos directos sobre los ecosistemas y las comunidades en lugares remotas. El contenido comparativo de algunas MPM implementadas por esta iniciativa se presenta en la Tabla 12.

Una aproximación de MPM en Colombia la constituye el registro en zonas cenagosas del Valle Medio del Magdalena (Ruiz, 2006) y el estudio denominado Compatibilidad de Mejores Prácticas aplicadas a la sísmica- COMPAS (Unitrópico, 2010) en áreas de cultivos. La metodología usada para la detonación de cargas dentro o en inmediaciones de humedales y cuerpos de agua superficial someras en este caso incluye la implementación de algunas consideraciones ambientales dentro del Plan de Manejo Ambiental (PMA) durante las etapas preliminares del ingreso al área, topografía, perforación, carga y tacado, registro y restauración del área afectada. El COMPAS establece que la aplicación de MPM en cada una de las etapas del programa de exploración permite reducir al mínimo el efecto causado por pisoteo en cultivos e incluye programar actividades en las primeras etapas del cultivo en donde es mayor la capacidad de resiliencia de las plantas.

Tabla 12. Mejores prácticas de manejo para operaciones sísmicas en Canadá

ALBERTA		TERRITORIO DE YUKÓN
CAPP	PEMBINA INSTITUTE	YUKÓN. MINES AND RESOURCES
PRÁCTICAS DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA, II DEFINICIONES	USO DE LAS MEJORES PRÁCTICAS DISPONIBLES	SÍSMICA DE BAJO IMPACTO (SIB)

ALBERTA		TERRITORIO DE YUKÓN
CAPP	PEMBINA INSTITUTE	YUKÓN. MINES AND RESOURCES
SÍSMICA CONVENCIONAL	<ul style="list-style-type: none"> PLANEACIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> SÍSMICA ASISTIDA POR HELICÓPTERO
SÍSMICA DE BAJO IMPACTO	<ul style="list-style-type: none"> TÉCNICAS DE COMPACTACIÓN DE BAJO GRADO 	<ul style="list-style-type: none"> CORTE MECÁNICO APERTURA DE LÍNEAS
	<ul style="list-style-type: none"> TÉCNICAS DE LEVANTAMIENTO DE BAJO IMPACTO 	<ul style="list-style-type: none"> CORTE MANUAL APERTURA DE LÍNEAS
	<ul style="list-style-type: none"> BAJO IMPACTO EN CRUCES DE CUERPOS DE AGUA 	<ul style="list-style-type: none"> MÍNIMO IMPACTO BAJO BOSQUE
	<ul style="list-style-type: none"> MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO 	<ul style="list-style-type: none"> CRUCE DE CORRIENTES
	<ul style="list-style-type: none"> MÍNIMA PERTURBACIÓN DE LA VIDA SILVESTRE 	<ul style="list-style-type: none"> LEVANTAMIENTO CON GPS
		<ul style="list-style-type: none"> LEVANTAMIENTO-SISTEMAS DE NAVEGACIÓN INERCIAL (INS)
		<ul style="list-style-type: none"> LEVANTAMIENTO CON LIDAR
		<ul style="list-style-type: none"> VEHÍCULOS TODO TERRENO
		<ul style="list-style-type: none"> POZOS DE DISPARO
		<ul style="list-style-type: none"> VIBRADORES
		<ul style="list-style-type: none"> USO DE ANTIGUAS LÍNEAS

Fuente. Estudio- Guías para exploración sísmica en Canadá

3.7 ZONAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (BUFFERS)

La importancia de las zonas de protección ambiental denominadas buffers, se reconoce en todas las guías ambientales. Sin embargo, los lineamientos operacionales son más completos en las guías canadienses.

Los buffers típicos son de dos tipos: acuáticos y de flora y fauna. Los buffers acuáticos constituyen las áreas ribereñas a los cursos o cuerpos de agua. En Alberta y Saskatchewan la actividad sísmica dentro de los buffer está restringida a SBI o está simplemente prohibida. En British Columbia las zonas de protección no merecen el mismo tratamiento; el manejo de programas sísmicos en zonas buffers

está frecuentemente referido a los procedimientos definidos en la Guía de Manejo y Protección Ambiental (BC Oil & Gas Commission, 2013); las secciones 2, 3 y 4 de estas guías establecen las MPM recomendadas para cualquier tipo de trabajo a ejecutarse en las vecindades inmediatas a los cuerpos de agua, zonas ribereñas y áreas de protección de la vida silvestre y su hábitat.

3.8 PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Similar al caso colombiano, el aporte de las guías internacionales con respecto a la participación ciudadana está consignado en la guía “Operaciones Sísmicas y los Derechos de los Ciudadanos” promulgada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Alberta, revisada en el 2012.

Esta guía consta de cuatro módulos, dos de los cuales describen las operaciones sísmicas frente a los derechos de los ciudadanos y la integridad de pozos de agua. Esta guía en particular, contiene lineamientos para evaluar daños a la propiedad y pozos de agua, así como los procedimientos para reportarlos ante la autoridad competente. El documento define además algunas formas de compensación y un programa de inspección sísmica, algo similar a la compensación ambiental contenida en las guías colombianas.

3.9 APERTURA DE TROCHA

Los requerimientos específicos para el ancho de trocha establecidos por cada provincia y estado del ámbito internacional dependen primordialmente del tipo de operación sísmica: convencional versus SBI y los tipos de ecosistemas a intervenir. Se puede deducir que el procedimiento de apertura manual de trocha es el más aceptado. El ancho típico de la franja para la apertura de línea manual es ≤ 1.5 m.

3.10 DISTANCIAS MÍNIMAS DE DISPARO

Las distancias mínimas de disparo se fijan frecuentemente de acuerdo con la cantidad de carga, la infraestructura, el riesgo de afectación y la vulnerabilidad ambiental de los ecosistemas objeto de intervención. Cada Estado, provincia o autoridad ambiental fija las distancias mínimas de disparo que deben ser respetadas por los operadores de programas sísmicos, las cuales son frecuentemente incluidas dentro de la legislación y en las guías ambientales. Las distancias de disparo requerida versus el tipo de infraestructura varían de una provincia a otra en los estados canadienses de Alberta, British Columbia y Saskatchewan y en el Estado de Montana en Estados Unidos.

3.11 PROFUNDIDAD DE LOS POZOS DE CARGA

Las guías y regulaciones revisadas, con excepción de las del Estado de Mississippi y la Provincia de Alberta, no ofrecen información pertinente acerca de la magnitud de la carga y profundidad de detonación. Mientras que el Código de Mississippi, Secciones 29-7-1 et sea., ofrece información detallada acerca de la profundidad ideal de detonación discriminada de acuerdo a magnitud de carga (desde menos de una libra a 50 libras de material fuente de energía), las regulaciones existentes en Alberta definen un máximo de 30 metros independiente de la carga (Tabla 13).

Tabla 13. Profundidad de disparo en el Estado de Mississippi (Estados Unidos) y la Provincia de Alberta (Canadá).

Mississippi		Alberta	
Mississippi Code		Regulation	
Sections 29-7-1 et. Seq.		284/2006	
Peso de Carga	Profundidad	Peso de Carga	Profundidad
(lb)	(m)	(lb)	(m)
< 1	3-7.6	No especificado	30
>1<2	7.6		
>2<5	12.2		
>2<20	18.3		
>20 -<30*	21.3		
>30 - <40*	30.48		
>40 - <50*	36.6		

4. ESTUDIOS TÉCNICOS

En esta sección se revisan los estudios e investigaciones realizadas sobre potenciales afectaciones ambientales adelantados en Colombia y en el exterior, respecto de la exploración sísmica agrupada por temas: hidrogeología, recursos hídricos superficiales, flora y fauna, cultivos, infraestructura y geotecnia.

4.1 HIDROGEOLOGÍA

Los impactos potenciales atribuidos a la detonación de cargas de material fuente de energía durante la exploración sísmica están relacionados con la integridad de pozos, nacimientos y acuíferos.

El primero se define como cualquier modificación relacionada con el estado mecánico de pozos anterior a la ejecución del programa de exploración sísmica. La integridad en nacimientos de agua y acuíferos consiste en cualquier modificación en la cantidad o calidad de agua subterránea durante o después de los programas sísmicos.

- Integridad de Pozo

La queja más frecuente relacionada con los programas de exploración sísmica, especialmente en lo relacionado con las detonaciones de carga, tiene que ver con los pozos de agua. A menudo se escuchan reclamos acerca de la pérdida de la integridad de pozo expresadas como la “disminución en la producción de agua”, el “agotamiento total del agua en el pozo”, “rompimiento de la tubería” o la “infiltración del agua hacia mayor profundidad”.

Aunque no se relaciona la magnitud de daño con la distancia de disparo, la mayoría de los reclamos son motivados por la cercanía de la detonación con el pozo de agua. No hay duda que la explosión libera una cantidad finita de energía que puede causar perturbación en el subsuelo, pero es la explosión la responsable directa de algún daño en la integridad del pozo?.

Varias investigaciones conducidas en aquellas áreas con mayor número de quejas fueron adelantadas en Estados Unidos y Canadá en un intento de correlacionar la cantidad de carga y la distancia con la integridad de pozos ya sea daño o cambio en las características de pozo (Ross, 1991). Las observaciones de campo estuvieron orientadas a evaluar el posible efecto de la energía sísmica liberada en diferentes litologías y condiciones hidrogeológicas locales. La conclusión general de estas investigaciones converge en asegurar la ausencia de daño significativo en la integridad de pozo atribuido a la detonación de cargas de material fuente de energía típicas de los programas de exploración sísmica (Beaver, 1984; Robertson, 1988).

Por su parte, Beaver (1984) en pozos de agua en Dakota del Norte determinó que la integridad de tubería de producción en PVC y aún acero altamente corroído no sufrió ninguna perturbación o falla estructural causada durante la detonación de 25 libras de Petrogel a una distancia de 10 pies (3 m) del pozo.

Otros estudios conducidos en Alberta, Canadá por Vogwill (1979), Goble (1980a), Goble (1980b) y Sneedon (1981) arrojaron resultados similares, no se presenta

daño en la integridad de pozo usando cargas de 22 kg a 6 m, 15 kg a 3.9 m y hasta de 50 kg a 8 m del pozo.

- Integridad de Nacimientos y Acuíferos

Woodward (1996) en un estudio único acerca del efecto de las detonaciones sísmicas cerca de los nacimientos de agua en Carter Creek, Wyoming; encontró que para una carga de 50 lb de material fuente de energía (22,68 kg), detonados a una profundidad de 150 pies (45,72 m) la distancia mínima para proteger los nacimientos de agua es 250 pies (76,2 m). Aunque concluyentes para este caso específico, la ausencia de estudios similares en su género sugiere que la aplicación de estos resultados no conviene ser extrapolada a otras regiones sin antes realizar investigaciones específicas a la zona objeto de exploración sísmica.

El efecto de la detonación de cargas de material fuente de energía sobre la integridad de los acuíferos ha sido evaluado a través de cuatro elementos; cambios en el comportamiento de nacimientos, cambios en permeabilidad, flujo cross-formacional¹ (cruzado entre formaciones) y alteración en la calidad de agua.

A nivel general, se ha confirmado que las ondas sísmicas generadas durante sismos naturales mejoran la permeabilidad de los medios porosos (Elkhory et al, 2006). Se esperaría entonces un efecto similar de la energía sísmica liberada durante la detonación de cargas en exploración geofísica (microsísmicidad). Mientras que algunos autores establecen que la modificación de las propiedades de los acuíferos debido a la detonación de cargas de material fuente de energía en pozos de disparo fue mínima o nula, Vogwill (1979), Goble (1980a), Bond (1975); otros como Sneddon (1981), el mismo Goble (1980b), Berger (1980) y Beaver (1984), Siskinf and Kopp (1987) sugieren todo lo contrario. En Colombia, Molano (2012) señala que algunos tipos de manantiales pueden incrementar su caudal debido a las detonaciones, siendo esta una forma de estimular el caudal en pozos (Sterrett, 2008), sin embargo, los resultados a este respecto no son concluyentes.

Sneddon observó un ligero mejoramiento en el rendimiento de los acuíferos cuando la carga detonante fue colocada en el fondo del pozo de disparo y describió además pequeños cambios en permeabilidad como respuesta a la detonación. Sugirió además que los dos mecanismos más probables para la alteración de la permeabilidad son el cambio de volumen en respuesta a los esfuerzos cortantes y el cierre o dilatación de fracturas en respuesta a la modificación de los esfuerzos normales.

¹ <http://water.usgs.gov/wid/images/pa.figure.id.4.gif>

Goble por su parte, observó efectos contrarios en algunos de sus investigaciones – reducción de la descarga específica del acuífero y el incremento inesperado en la producción de agua durante la detonación de cargas grandes muy cerca de los pozos de agua.

La magnitud de los impactos atribuidos a las detonaciones en la capacidad de almacenamiento de los acuíferos fue observada además por Beaver (1984) mediante la medición de ascenso/descenso irreversible del nivel del agua en pozos. Este trabajo, que fue ejecutado en acuíferos asociados a arena y carbón, determinó que los disparos a distancias mayores de $\frac{1}{4}$ de milla (0,4 km), no causaron cambios significativos en los niveles de agua. Disparos a 500 pies (152,4 m) causaron ascensos o caídas en el nivel del agua de aproximadamente 0.1-pie (3,05 cm) con efecto residual mínimo. Disparos localizados a 100 pies (30.48 m) causaron cambios en el nivel del agua de aproximadamente 1-pie (0,3048 m), el cual permaneció como un efecto residual en el acuífero.

Aunque las conclusiones de Beaver sugieren que la generación de impactos sobre la integridad del acuífero parece atenuarse con la distancia a partir del punto de disparo, su magnitud no puede prescribirse para todo tipo de material o condición hidrodinámica. El impacto, positivo (ascenso) o negativo (descenso) del nivel de agua en el acuífero, solo podrá determinarse mediante la medición de los niveles piezométricos en los pozos localizados en el área objeto de exploración sísmica.

En el caso de acuíferos con doble porosidad (fracturados) las observaciones tampoco son contundentes. Berger (1980) observó un patrón de cambios en las características de producción de agua en acuíferos fracturados asociados con fases de voladura en minería de carbón en los Apalaches.

Al igual que las observaciones de Beaver, Berger en las pruebas asociadas a las voladuras en minería, observó desde los efectos reversibles v.g. ascenso y descenso del nivel del agua, hasta irreversibles (no recuperación de los niveles iniciales) que sugieren incremento o pérdida en la capacidad de almacenamiento y permeabilidad del acuífero.

Beaver también estudió los cambios de permeabilidad de medios porosos fracturados atribuyéndolos a modificaciones en el sistema local de esfuerzos por la energía liberada durante la detonación.

La Universidad Autónoma de México-UNAM, 2006, concluye que las actividades de exploración sísmica no causaron impacto negativo en el acuífero dentro de la zona de estudio, como tampoco deformación en la red de flujo de agua subterránea, en el nivel de saturación o en caudales de extracción instantáneos.

En Colombia, Sarria (1996) concluye que la posibilidad de afectación a un cuerpo de agua (deterioro o extinción) es remota, a menos que la carga se coloque directamente en él. Sarria (2001), señala que la posibilidad de daño sobre los nacederos es remota para cargas de sismigel inferiores a 10 kg disparadas a distancias mayores de 6 m. Igualmente, Occidental Inc-Grant Geophysical (citada en Sarria, 2001) concluye que los niveles de aceleración y velocidad de las partículas del medio excitado por los disparos son insignificantes a distancias superiores a 10 m de la fuente. A similar conclusión llegó Molano (1996), quien indica que para cargas de 2,7 kg de sismigel, es ambientalmente segura una distancia de 10 m para cualquier tipo de cuerpo de agua (nacedero, acuífero, quebrada, río o lago) y no observó ningún cambio en el cauce de aguas superficiales localizado a 10 m del punto de detonación.

Tropical Ingeniería, 2013, concluye que no se observaron variaciones significativas en los niveles freáticos; las pequeñas oscilaciones se consideran normales asociadas con las variaciones climáticas del área. En algunos piezómetros se observó incremento local de agua explicado por interconexión hidráulica local con cuerpos de agua cercanos, que en época de estiaje recargan al acuífero.

Respecto a la modificación de las propiedades geohidráulicas de acuíferos monitoreados no se observó ninguna alteración (Molano, 1996) ni siquiera a distancias de 2 m desde el punto de disparo (BP-Hidrogeocol, 1997). La variación en las características hidráulicas (conductividad hidráulica, Trasmisividad y coeficiente de Almacenamiento) es despreciable (Martínez, 2002). Igualmente, es despreciable el cambio en los patrones de flujo subsuperficial por efecto de las detonaciones a profundidades someras, basado en modelos numéricos de los estados de pre y post detonación (Martínez, 2002).

Molano señala además que algunas variables como el cambio climático, la deforestación o el cambio en el uso del suelo pueden desencadenar impactos más directos (afectación de manantiales, disminución del flujo base, entre otros) que aquellos atribuidos a la perforación y detonación de cargas durante la exploración sísmica.

Los impactos potenciales sobre calidad de agua asociados con la detonación de cargas de material fuente de energía han sido también objeto de estudio intensivo; estos concluyen generalmente que la calidad del agua no parece verse significativamente afectada por las detonaciones.

Beaver (1984), Bond (1975), Bogwill (1979), Berger (1980), BP-Hidrogeocol (1997), Martínez (2002), Ruiz (2006 y 2010), y Tropical Ingeniería (2013), coinciden en concluir que los cambios observados durante y después de las detonaciones son insignificantes, de carácter reversibles y corta duración.

La característica comúnmente observada es el cambio en turbidez del agua, la cual ha sido reportada frecuentemente a distancias de disparo menores a 500 pies (152,4 m). Sin embargo, el origen de este incremento no ha sido claramente establecido siendo atribuido ya sea a la vibración de ondas explosivas o inducido por el método de muestreo. En cualquier caso, el efecto de turbidez parece ser de corta duración (Beaver, 1984; Hawkins, 2000; Ruiz, 2010), v.g. dentro de los 10 minutos iniciales de las pruebas de bombeo.

4.2 FLORA Y FAUNA

La protección de hábitats y micro-hábitats vitales para el sostenimiento de la fauna deben ser objeto de suficiente atención durante la planeación y desarrollo de programas de exploración sísmica. Los impactos más relevantes están ligados con la apertura de la trocha, la generación de ruido y la destrucción hábitats y micro-hábitats clave para el sostenimiento de la fauna no solo en regiones de conservación v.g. bosque tropical, selvas del putumayo, Caquetá y Amazonas, sino en ecosistemas con fauna prolifera como los Llanos Orientales.

Ruiz (2006) desarrolló una investigación con el fin de medir el impacto ambiental y social de un proyecto de prospección sísmica en cuerpos de agua (humedales) dentro del marco del programa sísmico Perdices-2D-2006 en el Departamento de Magdalena. La metodología usada en este caso, constituye un ejemplo de MPM para la detonación de cargas dentro o en inmediaciones de humedales y cuerpos de agua superficial someras. Las MPM incluyeron la implementación de algunas consideraciones ambientales dentro del Plan de Manejo Ambiental (PMA) durante las etapas preliminares del ingreso al área, topografía, perforación, carga y tacado, registro y restauración del área afectada. La fase de perforación, carga y tacado se considera como la más crítica puesto que su manejo determina el grado de afectación del cuerpo de agua. Los resultados óptimos en términos de calidad del registro e inocuidad ambiental se obtuvieron al utilizar 1800 gr (1,8 kg) de sismigel a una profundidad de 11 m, con 10 m de material de tacado, para los cuales no se registró muerte de peces ni cambios estructurales en la hidrofauna a corto, mediano y largo plazo.

Ruiz (2010) en el estudio sobre efectos de la actividad de registro sísmico en macrófitas, organismos bentónicos, fitoplancton, peces y avifauna en las ciénagas de Cantagallo (sur de Bolívar), San Silvestre (Santander) y La Popa y Las Cruces en el valle medio del Magdalena-VMM- concluye que no hubo diferencias significativas en el número de estas especies y la siembra de peces en la Ciénega de San Silvestre no sufrió ningún tipo de afectación durante las operaciones de registro, realizado con el protocolo establecido por ellos de MPM.

Prácticas ejemplares de la actividad sísmica realizadas en la Selva del Ecuador, donde la actividad demanda retos de tipo logístico, cultural y ambiental sirven para

ilustrar algunas de las metodologías con las cuales se buscan minimizar los impactos de la exploración sísmica sobre la fauna y la flora.

Hurber et al, (2008) describe las estrategias usadas para proteger algunos de los micro-hábitats vitales en la preservación de la fauna identificados y manejados durante la ejecución de un programa sísmico en la selva Ecuatoriana. Los micro hábitats requeridos para la alimentación, hidratación y reproducción de especies incluidos en este trabajo son: “Clay Licks” o áreas de arcilla expuestas, libres de vegetación donde la fauna se concentra en búsqueda de sales y minerales necesarios para el metabolismo; áreas de reproducción y cría de especies; plataformas de observación usadas por la fauna; zonas de relajamiento y baño; huecos o trincheras refugio y finalmente árboles frutales, zonas de trituración de hoja y nidos de termitas.

Las MPM establecidas en este caso se circunscriben al reconocimiento y delimitación de micro-hábitats, denominados áreas biológicamente Sensibles (BSA), las cuales fueron prohibidas de cualquier intervención humana.

Una metodología similar fue desarrollada y ejecutada por Westlund et al. (2010), enfocada a minimizar la perturbación en los ecosistemas durante los programas sísmicos en bosques tropicales. Además de la no intervención de BSA, el programa se enfocó en la prevención de impactos directos sobre la flora y fauna evitando la construcción de nuevas carreteras, limitando el ancho y tamaño de campamentos, restringiendo el uso de botes e imponiendo restricciones en la ruta de vuelos de helicóptero. Las medidas fueron complementadas con restricciones en el uso de la madera; casería, pesca y captura de mascotas; recolección de residuos no biodegradables y proyectos de educación ambiental y procesos transparentes de negociación de accesos y empleo de la comunidad.

Los beneficios de las MPM adoptadas para la exploración sísmica se reflejaron en este caso en la reducción substancial en la cantidad de impactos sobre la flora y fauna y en la mejora de las relaciones con las comunidades para futuros programas de exploración sísmica.

Algunas de las preocupaciones más notorias derivadas de la exploración sísmica en cercanía o dentro de zonas de protección de flora y fauna lo constituyen los niveles de ruido generado principalmente por la utilización de helicópteros y equipo pesado. Esto es particularmente notorio en áreas remotas donde se carece de vías de comunicación y las cuales adicionalmente tienen una fauna silvestre prolifera. Este tipo de impactos fue analizado entre otros por Burke and Foch (1984) concluyendo que las principales especies se ven inicialmente afectadas con la introducción de ruido, pero la mayoría de ellas experimenta efectos reversibles una vez que las fuentes perturbadoras desaparecen.

Burke and Foch derivaron su conclusión de un estudio de comunidades de renos, envueltas en operaciones sísmicas utilizando vibradores y detonaciones de cargas fuente de energía por más de tres años, los cuales no sufrieron deterioro significativo en el tamaño y comportamiento de sus rebaños. Aunque el ruido de vibradores, detonaciones y helicópteros causó migración de los rebaños de renos, éstos siempre regresaron a su territorio después de un tiempo de haber cesado las operaciones. Conclusiones similares fueron alcanzadas por Lenz (1982) en un estudio de comunidades de alces, estableciendo que a pesar de que estos pudieron verse afectados por el ruido causado por la actividad sísmica, el impacto no permaneció por largo tiempo como tampoco pareció afectar la distribución, migración o comportamiento de los alces.

Por su parte, Welz (2006) dedicó sus investigaciones a determinar el impacto de las detonaciones en la incubación de los huevos de pescados expuestos a velocidades pico de partículas (PPVs) mayores a los valores establecidos por las guías relacionadas con la materia. La mortalidad registrada en huevos de peces fue ligada con altas PPVs en experimentos de laboratorio y campo para los cuales se utilizaron muestras de huevos en periodo de incubación recolectadas en un lago bajo la influencia de esquemas periódicos de detonaciones para minería. A pesar de estos resultados, otros estudios han determinado que el conocimiento al respecto de los efectos del ruido antropogénico en las comunidades de peces se desconoce y que no es posible extrapolar las señales de un experimento a otro con el mismo sonido, a otros tipos de efectos o a otras especies (Popper and Hastings, 2009).

4.3 INFRAESTRUCTURA

Respecto a revisión de impactos en infraestructura física, las quejas más frecuentes de la comunidad en Colombia son acerca de la ruptura de tuberías de conducción de agua, afectación a vías y la presencia de grietas en casas de habitación, generalmente en el área rural.

La relación entre la exploración sísmica y la ruptura de tuberías de conducción de agua es compleja de determinar, debido a que en este caso influye la edad y estado de las tuberías. Lo que sí es claro, es que el nerviosismo que genera la exploración sísmica en las comunidades tiende a asociarla directamente con cualquier daño que se presente en la infraestructura en la zona en exploración.

Los estudios de investigación están enfocados a determinar las distancias mínimas de disparo para establecer no daño a la infraestructura física del área.

La distancia mínima de disparo se obtiene mediante relación de la Velocidad Pico de las Partículas expresada por relación de peso del material fuente de energía y la distancia a la cual se coloca la carga. La relación más usada en Alberta para

determinar la distancia segura de disparo se conoce como el factor de escala de Eduards y Northwood (1960), citado en Ross (1991).

$$\frac{E^{2/3}}{D} = 0.19$$

Donde E es el peso del material fuente de energía, D es la distancia entre el punto de disparo y el objetivo y 0.19 el factor requerido para alcanzar una velocidad segura de partículas de 50 mm/s.

Ross, estudió el efecto de las vibraciones en relación con la distancia aplicando el factor de Eduards y Northwood a la destrucción de ciertos materiales frágiles como huevos, botellas de cerveza, adornos de navidad y tubos fluorescentes. Los experimentos tuvieron como objetivo determinar la distancia de falla de los materiales cuando son sometidos a detonaciones de diferente magnitud. Las cargas utilizadas fueron 1 o 2 kg, similares a las usadas en los programas de exploración sísmica.

Ross encontró que la detonación de cargas de 1 kg no causo daño a los materiales a distancias mayores de 5 m. Los huevos fueron aplastados a 1 m y tan solo fracturados a 2 m. Los tubos fluorescentes se fracturaron verticalmente a 2 m, pero permanecieron intactos a 3 m. Así, la distancia segura de detonación para cargas de 1 kg esta entre 2 y 3 m. Cuando la carga fue 2 Kg ningún elemento sufrió daño por detonaciones del material fuente de energía a distancias mayores a 5 m. En este caso, los tubos fluorescentes se fracturaron a 3 m y los adornos de navidad a 4 m. Ross concluyó entonces que la distancia segura de detonación para cargas de 2 kg es de 4 a 5 m. Con cargas mayores, v. g. 10 kg, la distancia segura de no daño, fue mayor a 24 m.

Algunos estudios relacionados con la vibración causada por ondas sísmicas generadas a partir de detonaciones o vibradores para evaluar los potenciales impactos de las ondas en zonas urbanas e infraestructura están indicados en Ross (1985), Oriard (1994), Nagethi et al (2008), Seible et al (2008), and Rappin et al, (sin fecha).

De estos estudios se destacan los resultados obtenidos por Ross en su evaluación acerca de la seguridad de tuberías frente a la actividad sísmica generada por la detonación de cargas de material fuente de energía. La ausencia de daño significativo sobre tuberías presionadas hasta 600 kPa disminuyó en este caso la preocupación percibida por el público en general.

Oriard por su parte, condujo estudios para evaluar los posibles impactos por el uso de vibradores durante una campaña sísmica en zonas urbanas. La principal

conclusión en este caso fue la ausencia de daños de consideración sobre la estructura urbana, con excepción de un único caso de daño menor consistente en el aumento de una grieta observada en una viga vieja de madera.

Rappin por su parte, revaluó el concepto de distancias seguras durante la adquisición sísmica bajo la perspectiva del impacto industrial. Este trabajo propone el uso de gráficos de correlación de la PPV contra la distancia desarrollados por Chapot (1981) para extrapolar las distancias óptimas de las fuentes receptoras. El método es principalmente aplicado cuando se usan vibradores y ofrece la oportunidad de optimizar los trabajos de campo no solo para una mejor recepción de la onda sísmica, sino la prevención de daños mediante adecuada planeación de las detonaciones de acuerdo con las condiciones ambientales del área objeto de estudio.

WesternGeco, determinó una curva base, en la cual no habrán daños a estructuras, tomando el estándar Americano USBM RI 8507 & OSMRE, como base investigativa. La curva propuesta se compara con las normas más exigentes como DIN 4150 y UNE 22381. Finalmente WesternGeco toma como curva definitiva a ser utilizada una combinación de la DIN 4150 y UNE 22381 y las condiciones más desfavorables, y así determinar la curva favorable, para considerar cualquier construcción como frágil (Concetti, 2003). Después de las pruebas realizadas, se recomienda, utilizar frecuencias menores de 10 Hz como el nivel máximo de vibración para edificaciones frágiles utilizando las condiciones más desfavorables, por las cuales la posibilidad de afectación por vibraciones sería mínima.

La UNAM (2006), concluye que los daños (grietas) encontrados en casas de habitación en la zona en donde se realizaron actividades de exploración sísmica, no están asociados a las actividades de microsismicidad inducida artificialmente por la exploración y no fue el factor causante de los daños en las estructuras.

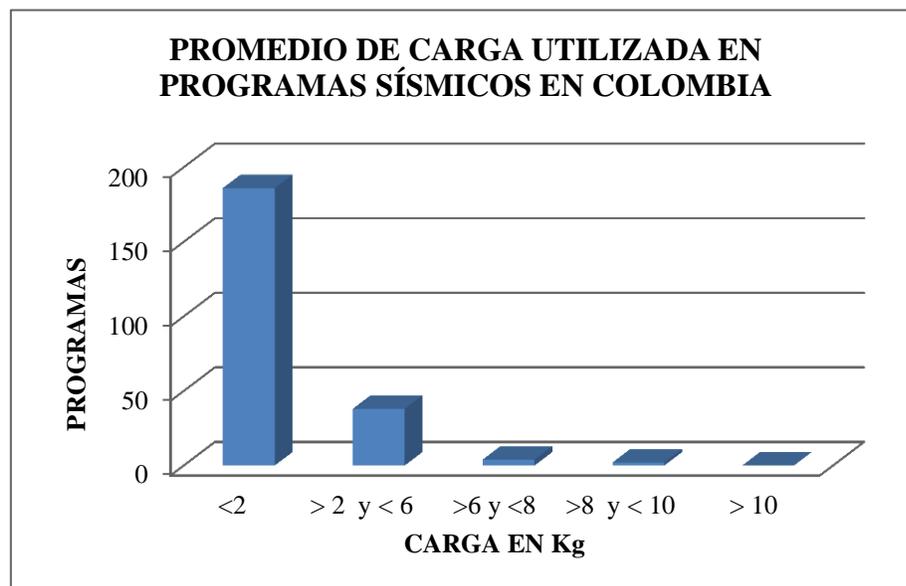
Sarria (1998, 2001), señala que la cantidad de sismigel empleada como fuente de energía en la exploración geofísica a nivel nacional e internacional es generalmente 3,5 kg, rara vez 5 kg, y ocasionalmente 10 kg; estos valores se sustentan con los promedios de carga y profundidad de los pozos de detonación señalados por ACGGP (2010) (Tabla 14, Figura 1), en donde se observa que la carga utilizada frecuentemente es inferior a 2 kg y raramente supera los 8 kg. Sarria, concluye que para cargas de hasta 10 kg, la distancia dentro de la cual se pulveriza y calcina el material, está dentro de un radio máximo de 1 m y aunque la posibilidad de daño para cargas inferiores a 10 kg es remota a distancias mayores a 6 m, no es recomendable realizar las detonaciones a distancias menores de 10 m. En el caso de nacederos o construcciones recomienda una distancia mínima de 40 m.

Tabla 14. Estadística de carga utilizada y profundidad del pozo de detonación en programas de exploración sísmica desarrollados en Colombia.

PROGRAMAS	CARGA (Kg)	PROGRAMAS	Profundidad (m)
185	<2	75	<10
38	> 2 y < 6	153	>10 y < 20
4	>6 y < 8	2	>20
3	>8 y < 10		
0	> 10		
230			

TIPO DE PROGRAMA	PROGRAMAS	PROFUNDIDAD (m)	CARGA (Kg)
SISMICA 3D	115	10,32	1,60
SISMICA 2D	115	9,56	1,87
PROMEDIO		9,94	1,73

Fuente: ACGGP, 2010



Fuente: ACGGP, 2010

Figura 1. Promedio de carga utilizada en los programas sísmicos en Colombia.

4.4 GEOTECNIA

Las quejas de las comunidades acerca de las actividades de exploración sísmica y la estabilidad del terreno están estrechamente asociadas, entre otros, con la vibración inducida por las detonaciones o el uso de vibradores, la erosión causada por deforestación y/o la apertura de la trocha e infiltración de aguas a través de los pozos de disparo.

Estas quejas son más frecuentes durante el desarrollo de programas de exploración sísmica en áreas de cordillera y piedemonte. Allí, las comunidades han atribuido directamente a estas actividades, la generación de grietas y/o coronas de deslizamiento, movimientos en masa, y en general la conformación de zonas inestables. Los estudios de investigación realizados para establecer relaciones de causalidad se han enfocado a determinar las condiciones bajo las cuales no es conveniente realizar detonaciones v.g, pendiente mínima, tipo de material, drenaje, intervención antrópica, y al monitoreo puntual de áreas inestables antes, durante y después de la exploración más que a establecer la relación entre la sísmica y los fenómenos de inestabilidad.

En general, los estudios, pruebas experimentales y monitoreos realizados hasta el momento desvirtúan la relación directa o causal entre los programas de exploración sísmica con fenómenos de inestabilidad del terreno, o su aumento en las áreas de influencia e indican que no son generadores de grandes movimientos en masa.

Sarria (2001), argumenta que es posible que bajo condiciones de equilibrio similar al crítico, una perturbación puramente local como el disparo de una carga, genere un pequeño deslizamiento en laderas muy empinadas con suelos mal consolidados y húmedos, pero lo que definitivamente no debe presuponerse es que el disparo sirva de generador a un deslizamiento de grandes proporciones.

Dentro del Proyecto Sísmico Acevedo 2D-2001, en Huila (Giraldo, 2002), se realizaron pruebas experimentales, en las cuales no se evidenciaron cambios en las laderas después de la detonación, como tampoco desplazamientos de masas de material ni superficies de ruptura; los cuerpos inestables producto de antiguos deslizamientos no mostraron ninguna afectación. A conclusiones similares llega la investigación sobre seguimiento geoambiental de líneas sísmicas de proyectos exploratorios en Boyacá (Martínez y Mendoza, 2012).

4.5 CULTIVOS

En la mayoría de países no existen estudios documentados sobre la realización de pruebas o investigaciones acerca de los impactos de la exploración sísmica sobre cultivos; los únicos estudios conocidos se realizaron en México y Colombia.

En Colombia, el estudio fue realizado en el Municipio de Aguazul, Casanare durante la ejecución del programa sísmico 3D, Llanos 22, (Unitrónico, 2011). El objetivo del estudio consistió en determinar el impacto de las actividades de exploración sísmica en dos predios arroceros; llevando un seguimiento y evaluación de las actividades culturales asociadas al cultivo, herramientas y tecnologías, rendimientos y producción del cereal. El seguimiento se realizó desde antes, durante y hasta un mes después de la campaña en periodos de lluvia y estiaje. Los parámetros de investigación del suelo estuvieron relacionados con la medición de la capacidad de campo, porosidad, conductividad hidráulica, densidad aparente, resistencia a la penetración, velocidad de infiltración, contenido de humedad y profundidad del nivel freático.

La investigación concluyó que no existe variación significativa en los parámetros medidos (cambio de las propiedades del suelo, compactación, disminución/aumento en la infiltración del suelo) y no se observó ningún cambio en los rendimientos o en la producción del cereal. Las variaciones en productividad entre uno y otro predio están directamente relacionadas con la preparación del terreno, el paquete tecnológico, el exceso de laboreo y la rigurosidad en el manejo agronómico dado a cada predio.

El pisoteo del cultivo es mínimo, calculado entre 2% y 3% por hectárea, porcentaje que se puede reducir si se realiza en etapas iniciales del cultivo, aprovechando la capacidad de resiliencia de las plantas.

En México, el estudio realizado por la UNAM (2006) para 120 cultivos de maíz en un área de 1,934 Ha, determinó que no hubo afectación por la intervención de las actividades de exploración sísmica que constituyera limitante para productividad o causa directa de disminución de la capacidad productiva.

4.6 SÍNTESIS

El resumen de los resultados de las investigaciones realizadas sobre afectación ambiental atribuida a la exploración sísmica, se presentan agrupados por categoría así:

- Distancias de disparo: Tabla 15

- Hidrogeología: Tabla 16
- Flora y fauna: Tabla 17
- Infraestructura física: Tabla 18
- Geotecnia: Tabla 18
- Cultivos: Tabla 18

Tabla 15. DISTANCIAS MINIMAS DE DISPARO: Resumen de resultados de investigaciones sobre afectación ambiental Atribuida a la Exploración sísmica.

AFECTACIÓN ATRIBUIDA	DESCRIPCIÓN DE LA AFECTACIÓN	DISTANCIA DE DISPARO				REFERENCIA	
		CARGA (Kg)	DISTANCIA DE AFECTACIÓN	DISTANCIA SEGURA	PROFUNDIDAD		
DAÑO ESTRUCTURAL O FUNCIONAL DE INFRAESTRUCTURA Y/O ECOSISTEMAS	· ESTIMACIÓN DE LA DISTANCIA VS. DAÑO	1	2-3 m	> 5 m		ROSS (1991)	
		2	4 -5 m	> 5 m			
		10		>24			
		10		> 12 m		SARRIA, 1997	
		<20			>5 m en roca	10 m	SARRIA, 1998
					>12 m en suelo para nacaderos de agua		
		<10		6 m	30 m;	10 m	SARRIA, 1998;
		<10		6m	40 m; Recomienda ampliar la distancia por considerar cambios en las propiedades rocosas	10 m	SARRIA, 2001
			30 m con cruces de agua;		MOLANO, 2012		

DISTANCIA DE DISPARO						
AFECTACIÓN ATRIBUIDA	DESCRIPCIÓN DE LA AFECTACIÓN	CARGA (Kg)	DISTANCIA DE AFECTACIÓN	DISTANCIA SEGURA	PROFUNDIDAD	REFERENCIA
				100 m para nacederos de agua		
		<1,8		- Inocuidad ambiental para ecosistemas de ciénaga	>11 m	RUIZ, MT, 2006
		La cantidad de carga generalmente < 3,5 kg, ocasionalmente 5 kg y excepcionalmente 10 kg.				SARRIA 1998,2001; ACGGP (2010)

Tabla 16. HIDROGEOLOGÍA: Resumen de resultados de investigaciones sobre afectación ambiental Atribuida a la Exploración sísmica

HIDROGEOLOGÍA						
AFECTACIÓN ATRIBUIDA	CAUSA	DESCRIPCIÓN DE LA AFECTACIÓN	CARGA (KG)	DISTANCIAS (m) NO DAÑO	OBSERVACIONES	REFERENCIA
ALTERACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE POZOS	MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE ESFUERZOS DURANTE Y DESPUÉS DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA	· DAÑO MECÁNICO DE CASING Y/O FILTRO DE POZOS	11.33	3,05	PRUEBA REALIZADA CON TUBERÍA PVC Y ACERO CORROÍDO.	BEAVER (1984)
		· MODIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA DE POZO (ALTERACIÓN DE LA PRODUCCIÓN)	15	3,9		VOGWILL (1979),GOBLE (1980A), GOBLE (1980B) Y SNEEDON (1981)
			22	6		
			<50 KG	8		
ALTERACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE NACIMIENTOS DE AGUA:	MODIFICACIÓN DEL PATRÓN DE FLUJO DURANTE Y DESPUÉS DEL PROGRAMA DE EXPLORACIÓN SÍSMICA	MODIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA EN LOS NACIMIENTOS	22,8	76,2	PROFUNDIDAD DE DETONACIÓN: 150 Pies (45,72 m) · REMOTA POSIBILIDAD DE IMPACTO	VOGWILL (1979),GOBLE (1980A), GOBLE (1980B) Y SNEEDON (1981) SARRIA, 1996
		· MODIFICACIÓN EN LAS CONDICIONES DE RECARGA	NO REPORTA	>2	NO SE OBSERVÓ NINGUNA ALTERACIÓN	BP-HIDROGEOCOL, 1997
					NO SE OBSERVARON VARIACIONES SIGNIFICATIVAS EN LOS NIVELES FREÁTICOS	TROPICAL, 2013
MODIFICACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE ACUÍFERO:	MODIFICACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS DE ALMACENAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DURANTE	· MODIFICACIÓN DE LA PERMEABILIDAD	NO REPORTA		NO SE OBSERVÓ NINGUNA ALTERACIÓN EN LAS PROPIEDADES GEOHIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS	MOLANO, 1996

HIDROGEOLOGÍA						
AFECTACIÓN ATRIBUIDA	CAUSA	DESCRIPCIÓN DE LA AFECTACIÓN	CARGA (KG)	DISTANCIAS (m) NO DAÑO	OBSERVACIONES	REFERENCIA
	Y DESPUÉS DE LOS PROGRAMAS DE EXPLORACIÓN SÍSMICA				MONITOREADOS	
			NO REPORTA		NO SE OBSERVÓ NINGUNA ALTERACIÓN	BP-HIDROGEOCOL, 1997
			NO REPORTA		· POSITIVO O NEGATIVO- DEPENDE DE LAS PROPIEDADES DE LOS ACUÍFEROS. (EXPERIMENTOS PARA ZONAS DE VOLADURAS MINERAS).	
		· MODIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	NO REPORTA		· POSITIVO O NEGATIVO; POSITIVO ÚNICAMENTE BAJO CONDICIONES DE RECARGA.	BEAVER(1984);BERGER (1980);BOND (1980B);ELKHORY ET AL, (2006);GOBBLE (1980B); GOBBLE (1980B); SNEDDON (1981)
		· INDUCCIÓN/MEJORAMIENTO DE FLUJO CROS-FORMACIONAL (CRUZADO)	NO REPORTA		· NEGATIVO – FAVORECE PROCESOS DE CONTAMINACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA. SE CONTROLA CON ADECUADO PROTOCOLO DE PERFORACIÓN Y ABANDONO DE POZOS.	

HIDROGEOLOGÍA						
AFECTACIÓN ATRIBUIDA	CAUSA	DESCRIPCIÓN DE LA AFECTACIÓN	CARGA (KG)	DISTANCIAS (m) NO DAÑO	OBSERVACIONES	REFERENCIA
MODIFICACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE ACUÍFERO		· MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA			· INSIGNIFICANTES LOS CAMBIOS OBSERVADOS DURANTE Y DESPUÉS DE LAS DETONACIONES, DE CARÁCTER REVERSIBLES Y CORTA DURACIÓN.	BEAVER (1984), BOND (1975), BOGWILL (1979), BERGER (1980)
					· NO SE EVIDENCIA DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA: LOS IMPACTOS SON INSIGNIFICANTES, DE CARÁCTER REVERSIBLES Y DE CORTA DURACIÓN. DE ACUERDO A LOS RESULTADOS ESPECÍFICOS DEL MONITOREO PARA EXPLORACIÓN SÍSMICA	UNAM, 2006; BP-HIDROGEOCOL, 1997; TROPICAL INGENIERÍA, 2013; MARTÍNEZ, 2002.

Tabla 17. FLORA Y FAUNA: Resumen de resultados de investigaciones sobre afectación ambiental atribuida a la Exploración sísmica

FLORA Y FAUNA					
IMPACTO ATRIBUIDO	CAUSA	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO	RESULTADOS	OBSERVACIONES	REFERENCIA
PRESIÓN AMBIENTAL SOBRE FAUNA Y FLORA	· RUIDO PROVENIENTE DE DETONACIONES Y EQUIPO PESADO	· MIGRACIÓN DE FAUNA	AFECTACIÓN POR RUIDO: TEMPORAL Y REVERSIBLE	· LAS ESPECIES SE VEN INICIALMENTE AFECTADAS CON LA INTRODUCCIÓN DE RUIDO, PERO LA MAYORÍA DE ELLAS EXPERIMENTA EFECTOS REVERSIBLES UNA VEZ QUE LAS FUENTES PERTURBADORAS DESAPARECEN. EN REBAÑOS DE RENOS: EL RUIDO DE VIBRADORES, DETONACIONES Y HELICÓPTEROS CAUSÓ MIGRACIÓN PERO ESTOS SIEMPRE REGRESARON A SU TERRITORIO DESPUÉS DE UN TIEMPO DE HABER CESADO LAS OPERACIONES	HUBBER ET AL. (2009); THURBER ET AL. (2008); BURKE FOCH (1984); LENZ (1982); WELZ (2006); WESTLUND (2010)
	· INVASIÓN DE TERRITORIO	· CAMBIOS EN COMPORTAMIENTO ANIMAL	NO AFECTACIÓN Y TAMAÑO Y COMPORTAMIENTO	COMUNIDAD DE RENOS ANALIZADA EN OPERACIONES SÍSMICAS POR MÁS DE 3 AÑOS: NO SUFRIERON DETERIORO SIGNIFICANTE EN EL TAMAÑO Y COMPORTAMIENTO DE SUS REBAÑOS	
DEGRADACIÓN ECOSISTÉMICA	· APERTURA DE VÍAS, CONSTRUCCIÓN DE CAMPAMENTOS, HELIPUERTOS	· CAMBIOS EN TAMAÑO DE POBLACIÓN: REPRODUCCIÓN, CRÍA Y MORTANDAD	MORTALIDAD EN HUEVOS DE PECES-DETONACIONES MINERÍA	· MORTALIDAD REGISTRADA EN HUEVOS DE PECES LIGADA CON ALTAS PPVS EN EXPERIMENTOS DE LABORATORIO Y CAMPO PARA LOS CUALES SE UTILIZARON MUESTRAS DE HUEVOS EN PERIODO DE INCUBACIÓN RECOLECTADAS EN UN LAGO BAJO LA INFLUENCIA DE ESQUEMAS PERIÓDICOS DE DETONACIONES PARA MINERÍA	

FLORA Y FAUNA						
IMPACTO ATRIBUIDO	CAUSA	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO	RESULTADOS	OBSERVACIONES	REFERENCIA	
	· APERTURA DE TROCHA			· IMPORTANTE UTILIZACIÓN DE MPM PARA DISMINUIR POSIBLE IMPACTO	POPPER AND HASTINGS, 2009	
				· FALTA AMPLIAR INVESTIGACIÓN SOBRE RUIDO ANTROPOGÉNICO EN LAS COMUNIDADES DE PECES		
	ETAPA DE CARGA Y DETONACIÓN	CAMBIOS EN TAMAÑO DE POBLACIÓN: REPRODUCCIÓN, CRÍA Y MORTANDAD	NO SIGNIFICATIVOS-REVERSIBLES	NO SE REPORTAN ESPECÍMENES MUERTOS	· NO ES SIGNIFICATIVO EL IMPACTO. CAMBIOS NO ACUMULATIVOS; EL ECOSISTEMA RECUPERA LAS CONDICIONES INICIALES EN CORTO TIEMPO EN SISTEMAS CENAGOSOS. IMPORTANTE INTRODUCIR MPM PARA DISMINUIR POSIBLE IMPACTO	RUIZ, MT, 2006 Y 2010
					· AUSENCIA TOTAL DE ESPECÍMENES MUERTOS DURANTE LAS FASES MONITOREADAS Y EN LA FASE DE RESTAURACIÓN. SIEMBRA DE PECES PARA MONITOREO, SIN PÉRDIDA DE INDIVIDUOS.	RUIZ, MT,2010
	· DEGRADACIÓN Y FRAGMENTACIÓN DE ECOSISTEMAS Y MICRO-HÁBITATS	NO ES SIGNIFICATIVO	EN MACRÓFITOS, ORGANISMOS BENTÓNICOS, FITOPLANCTON, PECES Y AVIFAUNA EN LAS CIÉNAGAS: NO ES SIGNIFICATIVO. IMPORTANTE INTRODUCIR MPM PARA DISMINUIR POSIBLE IMPACTO			

Tabla 18. INFRAESTRUCTURA, GEOTECNIA Y CULTIVOS: Resumen de resultados de investigaciones sobre afectación ambiental Atribuida a la Exploración sísmica

CATEGORÍA	IMPACTO ATRIBUIDO	CAUSA	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO	CARGA (Kg)	Distancia	RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN	REFERENCIA
INFRAESTRUCTURA	DETERIORO EN INTEGRIDAD DE PUENTES, EDIFICACIONES, OLEODUCTOS ETC.	DISMINUCIÓN DEL FACTOR SE SEGURIDAD DE INFRAESTRUCTURA POR VIBRACIÓN PROVENIENTE DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA	· DAÑO EN TUBERÍAS			· NO DAÑOS EN TUBERÍAS PRESIONADAS HASTA 600 KPA	ROSS (1985); ORIARD (1994); NAGETHI ET AL.(1008) SIEBLE ET AL. (2008); NAGETHI ET AL. (1008) SIEBLE ET AL. (2008); RAPPING ET AL. (NO DATE)
			· FRACTURAMIENTO DE CIMENTACIONES			· NO DAÑOS EN ZONAS URBANAS CUANDO SE USAN VIBRADORES	
			· FALLA Y COLAPSO DE ESTRUCTURAS	<10	>6	· NO DAÑOS EN ESTRUCTURAS	UNAM,2006
GEOTECNIA-INESTABILIDAD	MODIFICACIÓN EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO	DETONACIÓN DE CARGAS COMO GENERADORES DE INESTABILIDAD DEL TERRENO	· ZONAS DE INESTABILIDAD, PRESENCIA DE CORONAS DE DESLIZAMIENTO, GRIETAS, ETC	<2,7		· LA DETONACIÓN NO ES GENERADOR DE DESLIZAMIENTOS	SARRIA, 2001
	ACTIVACIÓN DE PROCESOS DE INESTABILIDAD					NO HAY EVIDENCIA DE AFECTACIÓN	GIRALDO, 2001; MARTÍNEZ Y MENDOZA, 2012)

CATEGORÍA	IMPACTO ATRIBUIDO	CAUSA	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO	CARGA (Kg)	Distancia	RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN	REFERENCIA
CULTIVOS	ALTERACIÓN DE ACTIVIDADES AGRÍCOLAS	INTERVENCIÓN ANTRÓPICA; DETONACIÓN DE CARGAS.	· PISOTEO DEL CULTIVO			· AFECTACIÓN MÍNIMA; 2 A 3% POR HECTÁREA; DISMINUYE SI SE REALIZA EN ETAPAS INICIALES DEL CULTIVO	UNITRÓPICO, 2011
			· DISMINUCIÓN EN EL RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN			· NO SE PRESENTA IMPACTO	UNAM, 2006; UNITRÓPICO, 2011
			· CAMBIO EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO, COMPACTACIÓN			· INSIGNIFICANTE	UNITRÓPICO, 2011
			· DISMINUCIÓN Y/O AUMENTO EN LA INFILTRACIÓN DEL SUELO			· INSIGNIFICANTE	UNITRÓPICO, 2011

5. CONCLUSIONES

El manejo de la exploración sísmica terrestre no tiene el mismo grado de atención en los países con tradición petrolera investigados (Canadá, Estados Unidos, México, Perú, Australia, Alemania), investigación basada en criterios de tradición petrolera y disponibilidad de información. Se destaca el caso de Canadá donde las provincias petroleras del oeste cuentan con marcos legales exclusivos para el manejo del tema

El desarrollo del marco jurídico aplicable a la exploración sísmica se instrumenta comúnmente a través de guías ambientales cuyo objetivo es facilitar y armonizar los procesos de planeación, operación y cierre de programas sísmicos procurando mínimo impacto sobre las áreas intervenidas. Donde existen, las guías son de diversa índole, preparadas por organismos no gubernamentales (ONG), institutos de normas técnicas, asociaciones de la industria del petróleo o las mismas instituciones del gobierno. Con excepción de Colombia y Canadá, ningún otro país o estado investigado ha desarrollado y adoptado guías ambientales para la armonización de las operaciones de exploración sísmica.

Respecto a los estudios de investigación adelantados tanto en Colombia como en el ámbito internacional sobre los posibles impactos de la exploración sísmica en la integridad de pozos, nacimientos de agua y acuíferos; presión ambiental sobre la flora y fauna; degradación ecosistémica, deterioro de la infraestructura y alteración en productividad de los cultivos, estos son frecuentemente calificados como nulos, insignificantes y en algunos casos hasta positivos.

De igual manera, las investigaciones realizadas a nivel internacional y nacional, establecen en general ausencia de daño sobre infraestructura física causado por las detonaciones de exploración sísmica, siempre que se conserven distancias mínimas de seguridad, planteadas ya sea en la normatividad o guías ambientales correspondientes.

Los estudios tendientes a precisar distancias mínimas para detonación de cargas utilizan la relación entre las PPV, la cantidad de energía empleada y la distancia a la cual ésta se coloca para establecer las distancias seguras de no daño. En Colombia se cuentan con estudios realizados para evaluar los efectos de las detonaciones para exploración geofísica en relación a diferentes elementos ambientales; indican las distancias mínimas desde las cuales no hay daño y/o presentan resultados sobre monitoreo realizados durante la ejecución de programas sísmicos, calificándolos en general como insignificantes a nulos.

En relación con las distancias a elementos ambientalmente sensibles establecidas en la normatividad o legislación, estas difieren en cada país, estado o en el caso de Colombia en cada jurisdicción de la autoridad ambiental de acuerdo con el factor de seguridad asignado al tipo de infraestructura, el riesgo de afectación o sensibilidad ambiental de los ecosistemas. La revisión documental realizada no encontró evidencia sobre los criterios

técnicos mediante los cuales se fijan las distancias mínimas a elementos ambientalmente sensibles en la normatividad vigente.

Resultados de las investigaciones sobre la flora y fauna, referidas a migración de fauna, cambios en comportamiento animal, cambios en tamaño de la población, reproducción o cría, califican los impactos de la exploración sísmica como poco significativos y no acumulativos debido a que en la mayoría de los casos, son de carácter temporal, y pueden ser atenuados con la implementación de MPM. Respecto a la protección de hábitats y micro hábitats, los resultados advierten acerca de la importancia de los procesos de planeación de cada programa sísmico y la identificación adecuada de áreas biológicamente sensibles (BSA) sujetas o no a limitada intervención.

La relación entre la exploración sísmica y fenómenos de inestabilidad no ha sido demostrada evidenciando la importancia de incorporar el comportamiento histórico de los factores críticos como: clima, hidrología, propiedades de los suelos, pendiente y procesos hidrogeológicos.

Una de las preocupaciones con mayor arraigo en las comunidades es la integridad de acuíferos (preservación de la calidad y cantidad de agua subterránea) y pozos de agua bajo la influencia de programas de exploración sísmica. Sin embargo, no existen estudios que demuestren el vínculo directo entre la exploración sísmica y los impactos sobre la integridad de acuíferos. Varias investigaciones determinan que los acuíferos y pozos no sufren modificaciones severas en sus propiedades hidráulicas o mecánicas. Respecto a la calidad del agua concluyen que su afectación es insignificante.

El abandono de pozos de disparo constituye uno de los aspectos críticos en el desarrollo de flujo de agua subterránea cros-formacional o cruzado entre acuíferos. Los pozos no detonados o pobremente abandonados favorecen el flujo vertical tanto ascendente como descendente del agua subterránea alterando no solo su cantidad sino la calidad de ésta en cada acuífero. De la misma manera los pozos de detonación conforman trayectorias de flujo preferencial incrementando la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación por el transporte de contaminantes desde la superficie a la tabla de agua. El flujo preferencial inducido puede incrementar también la susceptibilidad de erosión e inestabilidad geotécnica. Sin embargo, este aspecto puede ser controlado con un adecuado protocolo de perforación y abandono de pozos.

Los estudios realizados sobre impactos ambientales en cultivos de arroz indican que de haber afectación ésta es poco significativa o nula y señalan la importancia de utilizar MPM para reducir la posibilidad de impactos. Es conveniente reproducir experiencias en otros

tipos de cultivos y otras regiones para consolidar resultados que puedan ser aplicados en exploración sísmica a nivel nacional.

Es frecuente la implementación de Mejores Prácticas de Manejo, las cuales armonizan los procedimientos estandarizados y estrategias de operación actualizadas con los adelantos tecnológicos más recientes para desarrollar operaciones altamente eficientes y el beneficio de reducir el impacto o perturbación de las áreas objeto de exploración. La implementación de MPM ha demostrado ser eficaz en áreas ambientalmente sensibles en Ecuador, Canadá y Colombia.

6. RECOMENDACIONES GENERALES

Se recomienda fijar las distancias mínimas a elementos ambientalmente sensibles a partir de fundamentos científicos apropiados. Únicamente el desarrollo de investigaciones juiciosas en escenarios de alta, media y baja sensibilidad ambiental, cuyos resultados permitan la correlación estadística y la concordancia entre la aproximación analítica y las mediciones de campo para definir las distancias óptimas, presentan un soporte sólido para la comunidad en general y todas las partes interesadas.

La inclusión en la normatividad de los elementos ambientalmente sensibles también debe estar respaldada en estudios técnicos; la precisión en su definición evitará ambigüedades al momento de su aplicación respecto a las distancias mínimas de seguridad.

Utilizar criterios técnicos provenientes de investigaciones para la inclusión de elementos ambientalmente sensibles; estos deben ser precisos en su definición para evitar ambigüedades al momento de su interpretación y aplicación.

El monitoreo debe ser entendido como un sistema continuo de observación, de mediciones y evaluaciones sobre el comportamiento de un proceso para determinar su estabilidad o variabilidad a través del tiempo. Por tanto, no es recomendable la cuantificación de impactos de la exploración sísmica sobre la integridad de los acuíferos soportados en actividades de mediciones puntuales, es decir de corta duración. Este tipo de mediciones pueden resultar en interpretaciones sesgadas acerca del comportamiento del acuífero con respecto a las actividades de exploración sísmica, ya que no son suficientemente representativas para eliminar efectos ligados con cambios estacionales, climáticos, consumo de agua subterránea en la región, factor humano y deriva instrumental, entre otros.

7. RECOMENDACIONES - FASE II

La Fase II tiene como objetivo realizar mediciones de campo, monitoreo y modelaciones con el fin de profundizar las investigaciones acerca de los efectos ambientales atribuidos a la exploración sísmica terrestre que redunde en la conservación del ambiente y aporte criterios técnicos confiables a las autoridades y adecuado conocimiento a la comunidad en general.

El desarrollo de la Fase II se plantea en dos etapas:

La primera etapa, consiste en la compilación de información sobre mediciones, registros y/o monitoreo de aspectos hídricos, hidrogeológicos, geotécnicos, ecológicos y/o ambientales realizados por las empresas titulares de contratos de exploración, explotación, evaluación técnica, asociación y similares en el sector de hidrocarburos en Colombia. Se busca establecer líneas base utilizando información recolectada en diferentes épocas y áreas del país, e implica establecer un mecanismo para su integración, análisis y validación con el objetivo de utilizarla como referencia en futuros programas sísmicos.

La segunda etapa, consiste en una Investigación de Campo orientada a realizar pruebas piloto acerca de la integridad de acuíferos, relación entre PPVs y las distancias mínimas a elementos ambientalmente sensibles, monitoreo de zonas potencialmente inestables e investigación de cultivos. Para esto se requiere primero calificar y evaluar la información recopilada y el desarrollo de una metodología de investigación de campo ampliamente discutida y concertada que incluya además la instrumentación adecuada para alcanzar los objetivos propuestos. La planeación de esta etapa requiere de la participación activa de las instituciones reguladoras (MADS, ANH), las ONG (SGC, ACGGP, SCG, ACIPET, ACH etc.) y la industria (ACP) bajo la orientación de un grupo de expertos en las diferentes temáticas.

Se plantea desarrollar las investigaciones bajo los siguientes lineamientos metodológicos:

- Identificación de proyectos de exploración sísmica por ejecutar a corto plazo
- Selección de áreas dentro de los proyectos de exploración sísmica identificados, que reúnan diferentes criterios de sensibilidad ambiental con el fin de obtener escenarios convenientes para el desarrollo de las investigaciones
- Recopilación de información histórica sobre las áreas seleccionadas

- Planificación de la instrumentación congruente con las condiciones a evaluar, aplicando tecnologías de última generación
- Realización de las investigaciones en las áreas seleccionadas de forma simultánea con la ejecución de las campañas de exploración sísmica, y en algunas extenderlas más allá de la duración de la campaña.

Se recomienda que la investigación respecto a la integridad de los acuíferos, abarque monitoreo en diferentes tipos de acuíferos (libres, confinados, semiconfinados), seleccionados en zonas con diversos criterios de sensibilidad a la exploración sísmica, que permita establecer líneas bases para su correlación con observaciones, durante y después de la ejecución de los programas de exploración sísmica. La propuesta debe incluir el monitoreo de la calidad y cantidad de agua subterránea en concordancia con la naturaleza del régimen hidrogeológico local, intermedio y regional, por tanto, no debe limitarse al desarrollo del programa de exploración, para evitar incertidumbre en el establecimiento de la línea base. Para ser representativo, el monitoreo debe incluir como mínimo:

- Inventario de pozos y su estado mecánico
- Tres periodos de observación consecutivos de lluvia-sequia de acuerdo con las condiciones de precipitación de la región
- Corrección de los niveles piezométricos por variaciones atmosféricas diarias
- Modelos de precipitación local y regional para el mismo periodo de observación
- Correlación hidrológica de niveles de pozo con hidrogramas de ríos y cuerpos de agua
- Registros de producción de agua local y regional
- Determinación de las propiedades de los acuíferos antes y después de las operaciones sísmicas.
- Determinación del comportamiento y la eficiencia de pozos existentes en el área, antes y después de los programas de exploración sísmica
- Ejecución de pruebas bombeo de interferencia y radio de influencia antes y después de los programas sísmicos
- Muestreo de calidad del agua.

De forma similar, puesto que las distancias a elementos ambientalmente sensibles se determinan por medio de la PPV la investigación acerca del factor de seguridad debe plantearse en ecosistemas de alta, media y baja sensibilidad ambiental, en distintas zonas del país y bajo condiciones variadas, cuya correlación y resultados permitan definir las distancias mínimas y reducir o eliminar la subjetividad.

Igualmente, es conveniente realizar estudios en varios tipos de cultivos y diferentes zonas del país, para correlacionar los resultados con los que ya se tiene en cultivos de arroz.

Se recomienda realizar campañas de divulgación sobre el estado actual del conocimiento, el resultado de los estudios adelantados y la normativa aplicada para la exploración sísmica, y con la intención de aportar criterios técnicos de referencia a las autoridades y comunidad en general.

8. BIBLIOGRAFÍA

ALCUDIA, Alejandro, et.al. Vibration and air pressure monitoring of Seismic sources. University Calgary. Canada. 2007. 14p.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS-ANH. Manual de adquisición y procesamiento de sísmica terrestre y su aplicación en Colombia. Agencia Nacional de Hidrocarburos. Colombia. 2010. 124p.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS-ANH. Sísmica y Medio Ambiente. 2014

ALEMANIA. GERMAN STANDARD. Standard DIN 4150. Vibrations in Building: Effects on Structures. 2001. 8p.

ARGENTINA. Control de vibraciones inducidas por tareas de Prospección Geofísica en áreas urbanas. SF.

ASOCIACION COLOMBIANA DE GEOLOGOS Y GEOFISICOS DEL PETROLEO. ACGGP. Estadística de tamaño de carga utilizada en programas sísmicos en Colombia. Colombia. 1p.

ASOCIACION COLOMBIANA DE GEOLOGOS Y GEOFISICOS DEL PETROLEO. Mitos y realidades. Colombia. 2014. 34p.

BANGS, Eduard y BAILEY, Theodore. Moose movement and distribution in response to winter seismological exploration on the Kenai national wildlife refuge, Alaska . IAGC. Alaska. 1982. 50p.

BEAVER, Frank. The effects of seismic blasting on shallow water wells and aquifers in western north Dakota. IAGC. Dakota. 1984. 52p.

BERGER, Philip. Survey of blasting effects on ground water supplies in Appalachia. United States Department Of Interior Bureau Of Mines. Appalachia. 1980. 153p.

BOND, Ernest. A study of the influence of seismic shot holes on ground water and aquifers in Eastern Montana. Montana College of mineral science and technology. Montana. 1975. 97p.

BRITISH COLUMBIA. QUICKSCRIBE SERVICES LTD. Geophysical exploration regulation 280/2010. 2010. 10p.

BURKE, Richard y FOCH, James. Sound levels from oil and gas exploration activities. IAGC. Denver. 1984. 10p.

CAHILL, Dennis. Vibraciones causadas por voladura. Minera Aratirí. Uruguay. 2011. 13p.

CALDERON, Herlinda. Topografía y manejo ambiental en proyectos de exploración sísmica terrestre. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia. 2011. 7p.

CANADA. ALBERTA STATE. Forests Act, Mines And Minerals Act, Public Highways Development Act, Public Lands Act. Exploration regulation 284/2006. With amendments up to and including Alberta Regulation 170/2012. 2006. 52p.

CANADA. Minimizing the impact of Geophysical (Seismic) Activity. Alberta. 2011. 38p.

CASTELLANOS, Karina, etal. Monitoreo Biológico y evaluación de impacto ambiental en las Ciénegas del programa sísmico VMM2D. MTR CONSULTORIA E INTERVENTORIA. Colombia. 2011. 141p.

COLOMBIA. CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ÁREA DE MANEJO ESPECIAL DE LA MACARENA-CORMACARENA. Medidas de manejo ambiental para la ejecución de programas sísmicos en el departamento del Meta (6, agosto, 2013). 2013. 33p.

COLOMBIA. CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE BOYACA-CORPOBOYACA. Resolución 3831 (20, diciembre, 2012). Por medio de la cual se adoptan los lineamientos para la ejecución de proyectos de prospección sísmica terrestre en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá. 2012. 25p.

COLOMBIA. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE ORINOQUIA CORPORINOQUIA. Resolución 200.41.10-0440 (18, marzo, 2010). Por medio de la cual se integran lineamientos ambientales para ejecución de programas de prospección sísmica terrestre en la jurisdicción de CORPORINOQUIA. 2010. 23p.

COLOMBIA. ICONTEC. Planificación y gestión ambiental de proyectos de exploración sísmica terrestre, Directrices. 2002. 93p.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL INTERIOR. Decreto 1320 (13, julio, 1998). Por el cual se reglamenta la consulta previa con las comunidades indígenas y negras para la explotación de los recursos naturales dentro de su territorio. 1998. 11p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 1220 (21, abril, 2005). Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 2005. 23p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2820 (5, agosto, 2010). Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. 2010. 32p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 883 (31, marzo, 1997). Por el cual se regulan de manera general algunas actividades y se define un instrumento administrativo para la prevención o el control de los factores de deterioro ambiental. 1997. 10p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Guía básica ambiental para programas de exploración Sísmica Terrestre. 1997. 105p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 443 (3, junio, 1997). Por la cual se establecen los términos de referencia genéricos para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para programas de exploración sísmica en el sector de hidrocarburos, que no estén cobijados por lo dispuesto en el Decreto 883 de 1997. 1997. 2p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 444 (3, junio, 1997). Por la cual se establecen términos de referencia específicos para la elaboración del documento de evaluación y manejo ambiental para programas de exploración sísmica en el sector de hidrocarburos. 1997. 3p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1023 (28, julio, 2005). Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. 2005. 4p.

CONCETTI, Pacifico. Ensayo de movimiento de partículas debido a vibración sísmica. WesternGeco. Buenos Aires. 14p.

Control de vibraciones inducidas por tareas de prospección geofísica en áreas urbanas. Rivadavia. 23p.

ELKHOURY, Jean; BRODSKY, Emily y AGNEW, Duncan. Seismic waves increase permeability. Nature. 2006. 4p.

EXPLORATION INC. Estadística de carga. Colombia. 1p.

FERRARY, Katherine D. Rural communities: How do individuals perceive change when industry enters the area?. University of south Florida. Pennsylvania. 2013. 185p.

GARBER, M y WOLLITZ, L. Measuring underground-Explosion effects on water level in Surrounding aquifers. 1967. 5p.

GILLIN, Colin y IRWIN, Larry. Response of elk to seismograph exploration in the bridger-teton national forest, wyoming. University of Wyoming. Wyoming. 1985. 60p.

GIRALDO, Alejandro. Interventoría de estabilidad de taludes e inversión social del proyecto sísmico Acevedo 2 D. Trabajo de Grado Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Colombia. Manizales. 2001. 134p.

GLOBAL GEOPHYSICAL SERVICES. Experiencia de la empresa. Colombia. 1p.

GUZMAN, Francisco. Protección al medio ambiente. Instituto Mexicano del Petróleo. Mexico. 2013. 26p.

HAWKINS, Jay. Impacts of blasting on domestic water wells. 2000. 10p.

HIATT ,Gregory y BAKER, David. Efects of oil/gas drilling on elk and mule deer winter distributions on crooks mountain, Wyoming. IAGC. Wyoming. 1981. 24p.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOPHYSICAL CONTRACTORS -IAGC. A seismic poulter demostration at diferent locations near muddy gap. Wyoming. 1984. 9p.

- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOPHYSICAL CONTRACTORS -IAGC. Environmental assessment geophysical exploration nonwilderness lands. Montana. 36p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOPHYSICAL CONTRACTORS -IAGC. Geophysical operations, providing needed information on the geology of the nacional forest system. 1996. 19p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOPHYSICAL CONTRACTORS-IAGC. Minimum offset guidelines for land seismic sources. 2007. 21p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEOPHYSICAL CONTRACTORS IAGC. Vibration study. Utah. 1983. 212p.
- KOEMANS, Robin, et.al. Peak particle velocity measurements: a tool to limit loss of fold in areas with dense oilfield infrastructure, Murzuq Basin, Sw Libya. North African Mediterranean Petroleum and Geosciences Conference & Exhibition Tripoli, Libya. Africa. 2011. 5p.
- LYTLE, JEFF .Responsibilities opportunities and challenges in geophysical exploration. Lawrence Livermore National Laboratory. California. 8p.
- MARTINEZ, Carlos. Evaluación del impacto producido en medios porosos por efecto de los métodos de exploración sísmica. Colombia. 2002. 11p.
- MARTINEZ, Kenia y MENDOZA, Keyla. Seguimiento geoambiental en líneas sísmicas de proyectos exploratorios de petróleo en el Departamento de Boyacá. Proyecto de Grado Ingeniero Geólogo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia. 2012. 129p.
- MEG ENERGY CORPORATION. Study to evaluate flowing shot hole risk northeast Alberta. Alberta. 2008. 115p.
- MEXICO. CAMARA DE DIPUTADOS DEL HONORABLE CONGRESO DE LA UNIÓN. Reglamento de la ley federal sobre metrología y normalización (28, noviembre, 2012). 2012. 36.
- MEXICO. NOM 026 SESH 2007. 2007. 10p.
- MEXICO. SECRETARIA DE GOBIERNO. Ley orgánica de la administración pública federal (29, diciembre, 1992). 1992. 15p.
- MOLANO, Carlos. Exploración sísmica y aspectos hidrogeológicos. Universidad de los Andes. Bogotá. 2012. 27p.
- MOLANO, Carlos. Plan Piloto de pozos de monitoreo para programas sísmicos. BP-Hidrogeocol. Colombia. 1997. 273p.
- NATEGHI, R; KIANY, M y GHOLIPOURI, O. Control negative effects of blasting waves on concrete of the structures by analyzing of parameters of ground vibration. 2009. 9p.
- NORTHWEST TERRITORIES. Northern land use guidelines. Canada. 1980. 48p.

OPERATIONS GEOPHYSICS SANTOS LTD. Environmental impact report: geophysical operations. Adelaide. South Australian.2006. 77p.

ORIARD, Lewis. Vibroseis operations in an urban environment. Association of Engineering Geologist. Los Angeles. 1994. 24p.

PERU. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS PERU. TdR - HC - 01. Estudio de impacto ambiental (EIA). 34p.

PERU. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. Decreto supremo N° 032-2004-EM (21, agosto, 2004). Reglamento de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos. 2004. 57p.

PERU. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. Ley 26221 (20, agosto, 1993). Ley orgánica de hidrocarburos. 1993. 19p.

PERU. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. Ley 28245 (8, junio, 2004). Marco del sistema nacional de gestión ambiental. 2004. 7p.

PERU. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental y su reglamento (diciembre, 2009). 2009. 64p.

PERU. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental y su reglamento (diciembre, 2011). 2011. 160p.

PERU. PERUPETRO. D.S 015 - 2006 EM. Reglamento para la protección ambiental de las actividades de hidrocarburos. 2006. 42p.

POPPER, A y HASTINGS, M. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. University of Maryland. 2009. 35p.

RAPPIN, D; FAURE, C y ARTZT, C. Determination of safety distances and source monitoring during land seismic acquisition. Total exploration and production, Geophysical Operations and technology. France. 4p.

ROSS, Ian. Eggs, beer bottles, and light tubes a perspective on the damage potential of seismic detonations. Technical manager, seismic operations. 1991. 25p.

ROSS, Ian. Summary of previous studies of the effect of the seismic shooting on water well in Alberta. ICI Canadá INC. Alberta. 1995. 7p.

RUIZ, María, etal. Informe de actividades de cumplimiento del artículo 1, numeral 7 de la resolución N° 130 ZF-1109-5168 del 13 de septiembre de 2011 expedida por CorAntioquia. MTR CONSULTORIA E INTERVENTORIA. Colombia. 2012. 121p.

RUIZ, María. Manejo técnico ambiental de procesos de adquisición sísmica en cuerpos de agua y zonas inundables. Ecopetrol. Colombia. 2006. 12p.

RUIZ, María. Resultados del estudio de los efectos de la actividad de registro en macrophytas, organismos bentónicos, peces y aves en la Ciénaga de Cantagallo y San silvestre. Ecopetrol. Colombia. 2007. 94p.

- SASKATCHEWAN. The Seismic Exploration Regulation M- 16.1 1999. 1999. 28p.
- SARRIA, Alberto. Bases de normas para evitar daños producidos por efectos de explosiones de exploración geofísica en fuentes de agua y edificios cercanos. Universidad de los Andes. Bogotá. 1998. 60p.
- SARRIA, Alberto. Distancias mínimas de explosiones de exploración geofísica a nacederos de agua y construcciones convencionales. Universidad de los Andes. Colombia. 1997. 41p.
- SARRIA, Alberto. Estudio de posibles efectos de carga de dinamita para exploración geofísica, sobre nacederos de agua cercanos a las explosiones en la región de Palermo, Huila. Universidad de los Andes. Bogotá. 1996. 37p.
- SARRIA, Alberto. Exploración geofísica y medio ambiente. Universidad de los Andes. Colombia. 2001. 7p.
- SEIBLE, Frieder, et.al. Protection of our bridge infrastructure against man-made and natural hazards. Taylor & Francis . USA. 2014. 16p.
- SEISMIC EXPLORATION. Best management practices. Yukon. 2006. 38p.
- SNEDDON, Douglas. The effects of seismic blasting on shallow water wells. Department of civil engineering. Alberta. 1981. 275p.
- TEVES, L. Seismic behaviour estimation of thin alluviom layers using microtremor recordings. Centro de geoffisica da Universidade de Lisboa. Lisboa. 1995. 9p.
- THURBER, Mark, etal. Microhabitat protection during geophysical exploration in high diversity tropical rainforest. SPE International. France.2008. 7p.
- TROPICAL INGENIERIA Y CONSULTORIA. Evaluación hidrogeológica y modelo matemático hidrogeológico para el área del programa sísmico Peguita 3D. Bogotá. 2013. 196p.
- UNITROPICO. Compatibilidad de mejoras, Área de influencia directa del programa de prospección sísmica llanos 22 3D. Aguazul. 2011. 19p.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. Estudio para determinar posible impacto por los trabajos de exploración sísmica dentro del estudio sismológico denominado Zafiro - Perdiz 3D. Mexico.2006. 1376p.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Impacto de exploración sísmica para hidrocarburos en ecosistemas inundables: Ciénaga El Pajalal, Sur de Bolívar. Colombia. 11p.
- VOGWILL, Richard. The evaluation of the effects of seismic detonations on water wells. Groundwater Division. Alberta. 1979. 165p.
- WARD, Lorin. The response of elk seismograph activity in the little snake river known recoverable coal resource area of Southcentral Wyoming. IAGC. Wyoming. 2004. 34p.

WELZ, Marek. Blast monitoring at diavik diamond mines Inc. To protect fish habitat. University of Alberta. Alberta. 2006. 123p.

WESTLUND, David y THURBER, Mark. Best environmental practices for seismic exploration in tropical rainforest. SPE International. Rio de Janeiro. 2010. 14p.

WOODWARD, Rick. The effects of seismic shot hole detonations near springs in the carter creek area of Southwestern Wyoming. CGG American services, INC. Wyoming. 1996. 4.

WRIGHT, Dennis. Proposed guidelines to assist the geophysical exploration industry in meeting the requirements of Canada's Fisheries Act. Canadá. 2002. 4p.