

Programa de Estudios de Posgrado

**Análisis de los Impactos sobre los Componentes Bióticos
por los Proyectos de Generación y Transmisión de
Energía Eléctrica**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

**Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en: Ecología)**

P r e s e n t a

Guillermo Zúñiga Gutiérrez

La Paz, B. C. S., Diciembre 2003

Análisis de los Impactos sobre los Componentes Bióticos por los Proyectos de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica

CONTENIDO

A. PRESENTACIÓN

B. RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

2.2 Objetivos particulares

3. LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS ECOLÓGICOS EN LAS MANIFESTACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA

4. LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECOLÓGICO DE LAS DESCARGAS DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS EN LA COSTA DEL PACÍFICO MEXICANO

5. EL IMPACTO DE LA DESCARGA TÉRMICA DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA TUXPAN EN LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO

6. LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRAYECTORIAS DE UN GASODUCTO

7. DISCUSIÓN

8. CONCLUSIONES

9. PROPUESTA METODOLÓGICA

ANEXO 1. GUIA PARA LA ELABORACIÓN DE MANIFESTACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

BIBLIOGRAFÍA

A. ANTECEDENTES

El objetivo de esta investigación referente a la evaluación del impacto sobre los componentes bióticos por el desarrollo de centrales termoeléctricas, tiene un componente altamente pragmático: contribuir al desarrollo de una propuesta metodológica para la evaluación del impacto sobre los componentes bióticos por el desarrollo de proyectos termoeléctricos. La metodología que se aplique debe tener sustento científico, pero a la vez tiene que ser factible de ejecutarse en el tiempo programado para el desarrollo de los proyectos. Aunque no se descarta la posibilidad de incidir en la programación de los proyectos para tener los tiempos adecuados para el desarrollo de los estudios de impacto ambiental, todavía es necesario contar con procesos perfectamente estandarizados y probados para demostrar sin lugar a dudas las ventajas que implica el desarrollo de estudios con mayor sustento.

Por lo anterior, antes de comenzar la discusión y análisis acerca del impacto sobre los componentes bióticos, se plantean algunos aspectos de la actividad ambiental dentro la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y ubicar en ese contexto los planteamientos y propuestas que se presentan en este trabajo.

La CFE fue posiblemente la primera institución en México que inició de manera sistemática con el análisis formal de las posibles consecuencias ambientales de sus proyectos de infraestructura eléctrica. En la década de los años setenta del siglo XX se realizaron las evaluaciones del impacto esperado por la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde. Al final de los años setenta, antes de que apareciera la primera legislación en materia ambiental en México, se realizaron los primeros estudios del efecto potencial de la descarga térmica de una central termoeléctrica (Instituto de Ingeniería, 1979; CICTUS, 1980). Desde entonces a la fecha se ha realizado la evaluación de impacto ambiental para decenas de proyectos termoeléctricos y, a partir de los años noventa, más de un centenar de estudios para las líneas de transmisión. En la mayoría de estos estudios han participado instituciones de investigación o educación superior.

Sin embargo, como en la mayor parte de las organizaciones o compañías que tienen que someter sus proyectos a un proceso de evaluación de impacto ambiental, en la CFE ha prevalecido la visión de que la evaluación de impacto es tan sólo un trámite que debe ser resuelto y no como un elemento a ser considerado para la concepción y diseño de los proyectos y, aunque en los últimos años esta visión ha empezado a cambiar, todavía es una situación que dificulta el desarrollo adecuado y oportuno de las evaluaciones de impacto ambiental.

Hasta fechas muy recientes la mayoría de los consultores, tanto privados como públicos, que han colaborado en la preparación de las evaluaciones de impacto, han enfocado esta tarea de manera rutinaria, basándose en gran medida en la experiencia de los investigadores involucrados, pero con un uso limitado de herramientas estandarizadas y mucho menos de carácter predictivo, en gran parte debido a la inexistencia de las mismas, pero también al poco interés de la CFE y de los consultores para desarrollarlas.

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Otro aspecto relevante es que la CFE ha desarrollado el análisis de impacto de sus proyectos de manera parcial, analizando el proceso de generación de energía desligado del de los proyectos de transmisión y transformación, por lo que la elaboración de las Manifestaciones de Impacto Ambiental de las centrales termoeléctricas es independiente a las que se desarrollan para las líneas de transmisión y las subestaciones eléctricas. Sin embargo, no es posible desligar el proceso de generación del de transmisión de la energía.

En este contexto, para que el proceso de evaluación de impacto ambiental termine de aceptarse de manera total dentro de la CFE, los resultados y las propuestas deben facilitar la obtención de las autorizaciones y permitir que la sociedad tenga una mejor percepción de los proyectos por la sociedad y eliminar o reducir los riesgos e incertidumbres que sobre la ejecución del proyecto pueden representar la presencia de algún o algunos componentes ambientales relevantes. En otras palabras, las propuestas ambientales solo tendrán éxito y consideradas por los tomadores de decisiones de la CFE si, además de mejorar el proceso de evaluación de impacto, repercuten de manera favorable en el desarrollo del proyecto.

Para lo anterior fue menester considerar el proceso de desarrollo de los proyectos dentro de la Comisión Federal de Electricidad, lo cual también permitió ubicar las formas y procedimientos para lograr una mayor efectividad de la evaluación de impacto. Con estos elementos se ha planteado el reto de convertir las evaluaciones de impacto en elementos proactivos y superar la etapa en que son preparados solamente como la justificación de un proyecto elaborado exclusivamente con base en elementos técnicos y financieros.

El trabajo de investigación que se ha venido desarrollando ya ha empezado a ser aplicado, y el autor ha promovido y elaborado, en colaboración con personal de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación, una propuesta de guía específica para la elaboración de estudios de impacto ambiental por las líneas de transmisión (que son los proyectos del sector eléctrico en este momento representan la mayor amenaza potencial sobre los componentes bióticos, debido a que en el futuro mediano se pretende instalar más de 10 000 km de líneas y a que son obras donde se pueden realizar desmontes de superficies considerables), esperando que en un corto plazo se pueda llegar a un acuerdo sobre este punto.

B. RESUMEN

Con el objeto de mejorar el análisis del impacto ecológico que puede tener la construcción de los proyectos de generación transmisión de energía, se revisaron críticamente la metodología y los procedimientos empleados en treinta dos manifestaciones de impacto ambiental de proyectos eléctricos, 20 de centrales termoeléctricas y 12 de líneas de transmisión, preparadas por la Comisión Federal de Electricidad; se identificaron las deficiencias y problemas más relevantes en el proceso de evaluación de los impactos sobre la biodiversidad. Se desarrollaron modelos matemáticos para estimar la tolerancia de los organismos marinos a la contaminación térmica y una técnica cuantitativa para comparar las alternativas de desarrollo de un proyecto. Se proponen procedimientos y recomendaciones para desarrollar una evaluación de impacto ecológico objetiva e incorporar los resultados del análisis en proceso de toma de decisiones para la ubicación, diseño y construcción de los proyectos eléctricos.

B. ABSTRACT

For improving the ecological impact analysis of power plants and transmission line projects a critical review of the methodology and procedures used for assessing the ecological impacts of these projects in Mexico was done. A sample of thirty two of environmental impact statements, twenty of power plants and twelve of transmission lines, developed by Comisión Federal de Electricidad (National Power Company of Mexico) and the most relevant shortcomings in the process of assessing the effects on biodiversity were identified. Some mathematical models for estimating tolerance of sea organisms to thermal pollution and a quantitative technique for comparing project alternatives were developed. Procedures and recommendations for developing an objective ecological impact assessment and incorporating the results of this analysis into the making decision process for siting, designing and constructing the electric projects were elaborated.

1. INTRODUCCIÓN

No hay duda que la generación y transmisión de energía son actividades que pueden afectar significativamente los componentes bióticos de los ecosistemas, por lo que el objetivo de este trabajo es contribuir a elaborar una propuesta que permita darle mayor sustento científico a la evaluación del impacto que sobre los componentes bióticos de los ecosistemas pudiera ocasionar la ejecución (construcción y operación) de los proyectos eléctricos. Para este fin se decidió partir de la revisión de una muestra de los estudios de impacto ambiental que se han elaborado por la Comisión Federal de Electricidad en los más de 20 años que tiene de ejecutarse esta actividad.

En la Comisión Federal de Electricidad, debido a la organización que existe para el desarrollo de los proyectos, la evaluación ambiental de las centrales de generación se realiza de manera aislada de la evaluación de los proyectos de transmisión de energía. En este trabajo se ha decidido un enfoque global, incorporando el análisis de todos los componentes de un proyecto global de generación y transmisión de energía.

En este trabajo se presentan los resultados de la revisión y el análisis de la metodología y los procedimientos empleados para la evaluación de los impactos sobre los recursos bióticos, con la intención de puntualizar las principales deficiencias y problemas que se tienen durante la ejecución de esta actividad; se presentan y discuten algunas propuestas para superar estas deficiencias y en especial para incorporar plenamente la evaluación del impacto ecológico en el proceso de toma de decisiones sobre el desarrollo de un proyecto. El documento tiene como punto de partida la revisión crítica de publicaciones sobre el tema y las manifestaciones de impacto ambiental que se han desarrollado para evaluar los impactos ambientales que pueden ocasionar la construcción y la operación de centrales termoeléctricas y sus obras asociadas (suministro de combustible, caminos de acceso, líneas de transmisión, etc.).

1.1 Limitaciones en la evaluación del impacto sobre los componentes bióticos

La generación de energía en centrales termoeléctricas puede tener afectaciones sobre la diversidad biótica como consecuencia de diferentes acciones. Los impactos más importantes son la eliminación de hábitats por la construcción de las instalaciones, la afectación de las comunidades bióticas por el abastecimiento y la descarga de agua de enfriamiento y por la emisión a la atmósfera de gases producto de la combustión. También puede haber otros impactos asociados a la presencia y el movimiento humano, a la conformación de barreras y/o corredores por la construcción de los sistemas de transporte de combustible y a las descargas de aguas residuales de proceso, sanitarias y de residuos sólidos. Los impactos más relevantes asociados a la transmisión de energía están ligados a la modificación de la cubierta vegetal en el derecho de vía de las líneas.

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La emisión de contaminantes al aire, suelo y agua pueden modificar las condiciones físicas y químicas del entorno donde los organismos viven, pudiendo en casos extremos comprometer la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. Las actividades que se desarrollan dentro de los predios propiedad de las compañías generadoras (control de incendios, plantaciones ornamentales, cortes de vegetación, disposición de residuos, apertura de accesos, etc.) también pueden modificar las características de los ecosistemas (Coleman, 1996; Olmsted y Bolin, 1996). La importancia de evaluar los efectos de las actividades humanas sobre la biodiversidad no está en duda, y varios autores hacen hincapié en el que su fortalecimiento dentro del proceso de evaluación de impacto ambiental contribuirá a que se puedan desarrollar proyectos que se puedan considerar como sustentables (Bagri y Vorhies, 1997).

Le Maitre et al., (1998) indican como las principales deficiencias en la evaluación de impacto las siguientes: i) carencia de información (los autores enfatizan los aspectos funcionales de los ecosistemas); ii) la dificultad que existe para identificar los impactos indirectos; iii) cuando se analizan los aspectos funcionales del sistema solo se presta atención al proceso y no a las especies involucradas en él o los papeles que estas últimas desempeñan en los ecosistemas y; iv) la falta de participación de especialistas

Conforme a Treweek (1996), en la Gran Bretaña las limitaciones para el desarrollo de los análisis de impacto ecológico tienen su origen en restricciones de carácter legal, ya que las guías oficiales para la elaboración de manifestaciones o declaraciones de impacto ambientales, no especifican las metodologías que se deben seguir para la descripción y la caracterización del entorno, ni mucho menos para la identificación y la evaluación de impactos, ni las formas para determinar las medidas más convenientes para prevenir, controlar o mitigar los impactos ambientales. Atkinson et al (2000), indican, a partir del análisis de una muestra de 35 manifestaciones de impacto ambiental elaboradas en los Estados Unidos de América, que a pesar de que en 1993 se emitieron guía específicas para tratar el impacto sobre la biodiversidad, en general el análisis de este concepto es deficiente. Le Maitre et al., (1996) proponen que para superar las limitaciones detectadas, es primordial mejorar las guías para evaluar los impactos sobre la biodiversidad. En Malasia (Vun y Latiff, 1999), indican que la mayoría de los estudios de impacto ambiental por proyectos turísticos costeros presentan deficiencias importantes como son: i) la Sobredependencia en métodos subjetivos; ii) no proporcionan información específica del sitio del proyecto o la que se incluye no es actual y; iii) que hay un tendencia a caracterizar los grupos taxonómicos que son de fácil muestreo.

En las guías publicadas en México para la elaboración de manifestaciones de impacto ambiental tampoco hay una adecuada definición de las metodologías que deben ser empleadas para realizar la evaluación de impactos sobre la biodiversidad (SEMARNAT, 2002). Sin embargo, hay que tener cuidado que al incorporar este aspecto en las guías, no se vuelva un freno para el desarrollo de nuevas técnicas o metodologías para la evaluación de impactos, sobretodo porque el avance en la materia es aún insuficiente para evaluar todos los posibles impactos de cualquier proyecto.

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Una última limitación que establece Treweek (1996), es la carencia de información básica (bases de datos) acerca de las características bióticas para la mayor parte del territorio de la Gran Bretaña, situación que en México es aún más crítica, tanto por un menor desarrollo de la investigación como por la magnitud del territorio. Lo anterior se agrava por las limitaciones de tiempo y presupuestales que existen para la elaboración de los análisis de impacto ambiental. Como consecuencia de lo anterior, es común que las manifestaciones o declaraciones de Impacto Ambiental presenten diversas carencias en la evaluación de los posibles impactos ecológicos, las cuales se resumen en la Tabla 1 (Treweek, 1996). Un aspecto relevante es que la mayor parte de los análisis de impacto en general presentan descripciones de las posibles interacciones proyecto – ambiente, y sólo en contadas ocasiones se hacen predicciones cuantitativas de los efectos esperados. En esta última aseveración coinciden Blümer y Kyläkorp (1998), al mencionar que en las evaluaciones de ciclo de vida de los proyectos, raramente se cuantifican los efectos sobre la biodiversidad; indican que los impactos sobre la biodiversidad, los cuales se identifican y analizan al nivel de especies, han sido descritos sólo cualitativamente.

Lo anterior también se observa en las Manifestaciones de Impacto Ambiental de proyectos termoeléctricos, en especial en lo que se refiere a potenciales impactos sobre los componentes bióticos de los sistemas terrestres¹. Las herramientas predictivas no son usadas, no hay cuantificación del impacto y en la mayor parte de los casos solo se incluyen descripciones superficiales (CIBNOR, 2002, 2003, CIBNOR-UNISON, 1997, 1999).

Así, una tarea prioritaria es el desarrollo de metodologías y técnicas que permitan hacer la predicción objetiva y la cuantificación de los posibles impactos basadas en procedimientos objetivos, pero que además puedan ser aplicadas en tiempos cortos, con las limitaciones de información existentes y con el menor costo posible. Para alcanzar lo anterior, el proceso de evaluación de impacto no se debe limitar a la ejecución de los estudios de predicción de las posibles repercusiones de una actividad humana, sino que es fundamental desarrollar los programas de monitoreo para medir la magnitud de los impactos, así como los resultados obtenidos por la aplicación de las medidas de mitigación, prevención y control. Estos programas de monitoreo permitirán conocer los cambios que realmente ocurren a consecuencia de la implementación de los proyectos de desarrollo (Treweek, 1996; Morris, 1995).

¹ En lo que respecta a la evaluación de impacto de las descargas térmicas en medios acuáticos, tradicionalmente se han usado bioensayos para estimar el efecto de la temperatura y modelos matemáticos para predecir el alcance del campo térmico.

1.2 La definición de los alcances de los estudios de impacto ecológico

En la Guía para la elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental de proyectos del sector eléctrico (SEMARNAT, 2002)², y a diferencia de las guías anteriores, se establecen criterios para determinar la información que debe ser recopilada sobre los componentes bióticos. Sin embargo no hay precisión sobre el alcance que se le debe dar a este apartado, lo cual posiblemente se deba a que se pretende que esta guía se use para elaborar las manifestaciones de proyectos tan disímolos como las centrales termoeléctricas, las centrales hidroeléctricas, las centrales geotérmicas o las eólicas, las líneas de transmisión de energía y las subestaciones de transformación de energía. Sin embargo, la definición última de los alcances de los estudios de impacto para un proyecto específico debiera resultar del análisis de las características generales proyecto y del entorno donde se desarrollará (Glasson et al., 2002).

Al analizar diferentes manifestaciones de impacto ambiental preparadas por CFE para centrales termoeléctricas y líneas de transmisión, en la mayoría de ellas existe gran cantidad de información descriptiva de los componentes bióticos, pero de la cual muy poca es útil para la predicción y la evaluación de los impactos y en muchos casos la información de utilidad para ello no se incluye o se encuentra dispersa y sin sistematizar, por lo que su uso es muy limitado (CIBNOR, 2002, 2003; Instituto de Ingeniería, 2003; Instituto de Ecología, 1999, 2001, 2002; CIBNOR-UAT, 2000).

1.3 La toma de decisiones con el apoyo de la evaluación de impacto ecológico

Hasta ahora se ha planteado una problemática en torno a la evaluación del impacto ecológico, así como las perspectivas para el desarrollo de esta disciplina. Bajo este panorama se plantea un esquema para que la biodiversidad se tome en cuenta durante el proceso de selección del sitio y la definición del diseño y proceso constructivo de los proyectos de generación y transmisión de energía. Esto es fundamental para la conservación de los recursos bióticos, ya que en las etapas posteriores de desarrollo del proyecto sólo es posible realizar modificaciones menores al proyecto o implementar simplemente medidas compensatorias.

Para retroalimentar la toma de decisiones, la evaluación del impacto ecológico debe estimar los costos ambientales de la construcción y la operación del proyecto y los costos derivados de aplicar los programas y las medidas de protección ambiental en cada uno de los sitios (puede ser que sitios descartados por dificultades técnicas o costos elevados puedan ser retomados al incorporar la variable ambiental). Mason et al (1999), indican que el desarrollo de los negocios (proyectos) incorporando del análisis de impacto ambiental no solamente es benéfico para nuestro mundo, sino que también puede ser el enfoque más rentable para la ejecución de los proyectos. Magness (1984), al analizar la incertidumbre que se tiene con respecto a la evaluación de muchos de los posibles impactos ambientales que puede ocasionar el desarrollo de un proyecto, indica que la forma más

² Cabe hacer notar que la guía es muy confusa en cuanto a su redacción y estructura, por lo que algunas de las aseveraciones que se hacen parten de la interpretación del autor acerca de los requerimientos que hace la autoridad.

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

conveniente para reducir esta incertidumbre es analizar las diferentes alternativas que se tiene para el desarrollo de una obra o proyecto, ya que de esta forma es posible establecer de manera objetiva cual de las alternativas es la que representa el menor impacto ambiental (aunque se tenga incertidumbre de la magnitud precisa del impacto esperado). Andrews (1988), comenta que el análisis de alternativas convierte a la evaluación de impacto en una herramienta para la toma de decisiones y no simplemente una justificación del proyecto (lo cual ocurre cuando se evalúa ambientalmente un proyecto definido o terminado).

Glasson et al (2002), plantea que la evaluación de impacto ambiental se debe enfocar a proporcionar los elementos para modificar el diseño del proyecto y así encontrar la forma en que se puede desarrollar con la mínima afectación y no, como ocurre hasta ahora, a identificar y desarrollar las medidas de mitigación para los impactos que puede ocasionar la alternativa deseada (o seleccionada) para el desarrollo de un proyecto.

Conforme a lo que se solicita en las guías sectoriales para la elaboración de las Manifestaciones de Impacto Ambiental del Sector Eléctrico en México, en el la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (DOF, 1997) y en su Reglamento en Materia de Impacto Ambiental (DOF, 2000), así como la interpretación de la autoridad ambiental de esta reglamentación, el proceso de evaluación de impacto ambiental en México esta orientado a revisar y, en su caso autorizar, proyectos en los cuales ya se tienen las definiciones fundamentales para la construcción y operación, por lo que las Manifestaciones de Impacto Ambiental están orientadas a justificar el desarrollo de un proyecto, más que a incorporar la variable ambiental en la toma de decisiones con respecto a este (sitio, tecnología, combustibles a emplear, fuente de suministro de agua, cuerpos receptores de las descargas, etc.). En otros países donde se aplica la evaluación de impacto ambiental ocurre lo mismo (Bagri y Vorhies, 1997; Beanlands, 1992). Aunque recientemente la autoridad ambiental ha manifestado su intención de que los organismos promoventes incluyan en las Manifestaciones un análisis de las alternativas que fueron consideradas para el desarrollo del proyecto y que éste sea un sustento básico para la aprobación de las obras (M. Quijano, 2003, com. pers.), este análisis continúa siendo opcional.

Ignorar la variable ambiental puede ocasionar que las supuestas ventajas técnicas y económicas que se consideraron para decidir sobre aspectos medulares del proyecto no lo sean realmente debido a la problemática ambiental que puede generarse. Un ejemplo de esta situación son los cambios en el diseño y construcción de la Central Termoeléctrica (C.T.) Adolfo López Mateos, la cual se ubica en el Municipio de Tuxpan, Veracruz. El sitio seleccionado para la construcción esta central es una barra comprendida entre la Laguna de Tampamachoco y la costa del Golfo de México; la razón para escoger este sitio fueron las grandes ventajas técnica y económica, con respecto a las otras ubicaciones consideradas, que representaba el poder tomar el agua para enfriamiento del mar y descargarla en la laguna, ya que los canales serían de poca longitud, las obras en el mar se minimizaban y, en especial, porque se evitaba la recirculación del agua de enfriamiento, que ocurriría si el agua era regresada al mar. Sin embargo, el estudio de impacto (realizado cuando ya se había decidido el sitio para la construcción de la central) concluyó que la descarga del agua de enfriamiento cambiaría radicalmente las condiciones físicas y químicas de la laguna y la probabilidad de afectar

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

significativamente las poblaciones bióticas, y en especial las de importancia pesquera, era muy alta. Esto obligó a un rediseño de todo el sistema de agua de enfriamiento de la central y las supuestas ventajas por las que se había seleccionado el sitio desaparecieron, ya que hubo que regresar el agua de enfriamiento al mar, para lo que fue necesario construir un canal de más de 1 km de longitud y adquirir equipo de bombeo de mayor capacidad, además de que bajo ciertas condiciones de corrientes se presenta la recirculación de “agua caliente” en el sistema de enfriamiento (Ver capítulo 5).

Bagri y Vorhies (1997) hacen hincapié en que el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental debe ser reorientado o modificado, para influir en las decisiones tempranas de un proyecto, de tal forma que se establezca una liga más directa entre la evaluación ambiental y el proceso de planeación y toma de decisiones (de un proyecto). Ellos proponen la aplicación de un nuevo procedimiento que denominan Evaluación de Impacto sobre la Biodiversidad (Biodiversity Impact Assessment).

La evaluación de impacto ambiental tradicionalmente ha sido una herramienta reactiva, porque responde a los impactos a través de la mitigación en lugar de examinar la posibilidad de eliminar los impactos por medio de la consideración de alternativas (Bagri et al., 1998). Sin embargo, en la Unión Europea las directivas en la materia fallan en solicitar la consideración de alternativas (Brooke, 1998), y la misma situación se tiene en México, ya que en ambos casos se solicita que se indique si ha habido alternativas para el proyecto y las razones por las que fueron descartadas, pero no se obliga como elemento para la minimizar los impactos que ocasionará el proyecto.

Para conservar la biodiversidad se requiere algo más que mitigar los impactos que puede ocasionar un proyecto sobre los componentes bióticos del entorno; un enfoque proactivo es necesario para evitar los impactos e identificar oportunidades para fortalecer la biodiversidad (Brooke, 1998). En relación con este aspecto, Beanlands (1992), plantea que a lo largo de la concepción y el desarrollo de un proyecto, que la variable ambiental, además de las técnicas y económicas, se debe considerar para tomar decisiones fundamentales como las siguientes:

1. Decisión inicial sobre si el proyecto se llevará a cabo.
2. La ubicación del proyecto
3. Cómo será construido el proyecto (opciones de diseño) y como será operado (dependiente de la flexibilidad del diseño)

Por otro lado, Smythe et al., (1996) con base en entrevistas con los responsables de la toma de decisiones relacionados con el ambiente, indica que para que la conservación de la biodiversidad sea considerada, es necesario proporcionar la información que permita:

1. Decidir sobre cuándo y qué proteger
2. Definición de las mejores prácticas para reducir los impactos, como manejar el proyecto a nivel de paisaje y cuales serán las consecuencias futuras de las acciones de manejo actuales.

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

3. Tomar decisiones que van más allá de las responsabilidades orgánicas del directivo, para alcanzar los objetivos de conservación de la biodiversidad
4. Tomar decisiones relativas a la localización de las instalaciones, los caminos u otra infraestructura.
5. Determinar la forma en que deben ser interpretados y cumplidos los ordenamientos legales relativos a la biodiversidad

Minimizar el costo del proyecto, tanto en la fase constructiva como operativa, es un interés fundamental de toda persona o institución, que promueve un proyecto; frecuentemente las decisiones se toman con base en un análisis de costo – beneficio. Sin embargo, los efectos y costos ambientales (ya sea por los impactos que ocasiona o por los requerimientos en medidas o programas ambientales), no son tomados en cuenta.

Tabla 1. Deficiencias comunes en el contenido ecológico de las Declaraciones Ambientales (Traducido de Treweek, 1996)

1. No atención de asuntos clave
2. Falla en la mención de áreas y especies protegidas
3. Falla en la mención de áreas o recursos relevantes no protegidas
4. Falla en la caracterización de condiciones “base” (estado del medio antes del proyecto), o en la identificación de restricciones para conservación de la naturaleza
5. Carencia de información para identificar o predecir impactos
6. Carencia de medición de variables para entender el funcionamiento del sistema
7. Falla en la cuantificación de impactos ecológicos o en la medición de la magnitud (aún de impactos simples y directos como la pérdida de hábitats)
8. Predicción endeble
9. Sobredependencia en métodos descriptivos o subjetivos
10. Carencia de trabajos de campo
11. Fallas en la ejecución de los trabajos de campo y en la época de su ejecución
12. Sesgo en la selección de grupos taxonómicos que son más fáciles de trabajar o que son más carismáticos (SIC)
13. Sobredependencia en trabajos superficiales (“walkover surveys”)
14. Replicación inadecuada
15. Falla para estimar el significado ecológico
16. Omisión de la descripción de limitaciones o restricciones de la metodología
17. Recomendación de medidas de mitigación que no corresponden con los impactos identificados
18. Recomendación de medidas de mitigación que no están probadas y son irrealizables
19. No se indica la fuente de los datos (autor/consultor)

1.4 Metodología de trabajo

Este trabajo parte de la revisión crítica de los Estudios de Impacto Ambiental de proyectos de generación y de transmisión de energía eléctrica, realizada para identificar las fortalezas y las debilidades científicas del proceso de evaluación de impacto sobre los componentes bióticos. Lo anterior con el objetivo de plantear algunas propuestas para incrementar el sustento científico de las predicciones que se desarrollan. El número de manifestaciones de impacto ambiental de proyectos termoeléctricos y de líneas de transmisión que se han desarrollado hasta la fecha por Comisión Federal de Electricidad rebasa el centenar de documentos, razón por la cual se decidió hacer una selección de los documentos a revisar: 20 manifestaciones de proyectos termoeléctricos y 12 de líneas de transmisión, las cuales se seleccionaron considerando que se tuviera representado el intervalo de tiempo en el que se han desarrollado los estudios y las diferentes instituciones que han funcionado como consultores de la Comisión. También se analizaron las Manifestaciones de Impacto Ambiental del Gasoducto Cd. Pemex - Valladolid y del depósito de ceniza de la CT Plutarco Elías Calles. En el caso de las Centrales Termoeléctricas los estudios de impacto ambiental analizados incluyen desde 1980 hasta la fecha; los estudios de líneas de transmisión revisados se elaboraron en los últimos tres años, debido a que antes de la modificación del reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente en Materia de Impacto Ambiental realizado en el año 2000, la mayoría de estos proyectos no eran sometidos a un verdadero análisis de impacto ambiental (D.O.F. 2000). En la tabla 2 se presenta el listado de las Manifestaciones de Impacto Ambiental de Centrales Termoeléctricas y en la Tabla 3 se enlistan las correspondientes a los proyectos de líneas de transmisión que fueron revisadas.

El primer punto en la revisión de las manifestaciones fue identificar las acciones de los proyectos que tienen las repercusiones de mayor relevancia sobre los componentes bióticos de los ecosistemas, así como analizar los procedimientos y las técnicas empleadas para llevar a cabo la identificación y la evaluación de estos impactos. También se analizó la caracterización de los componentes bióticos de los ecosistemas para determinar si la información recopilada o generada fue suficiente y adecuada para pronosticar los impactos. A partir de esta revisión se elaboraron las recomendaciones para la ejecución de las futuras evaluaciones de los impactos ecológicos. Así, los puntos que se documentaron durante la examen de las manifestaciones fueron los siguientes:

- La caracterización de los ecosistemas
- Evaluación de las condiciones iniciales de los recursos
- Identificación de los posibles impactos ambientales
- Evaluación de los posibles impactos ambientales

1.5 Estructura de este documento

En el capítulo 3 se presenta un resumen de los aspectos sobresalientes del análisis de los potenciales impactos ecológicos que contienen las manifestaciones de impacto ambiental de los proyectos de generación y de transmisión. En los capítulos subsecuentes (4, 5 y 6) se presentan elementos que contribuirán a darle mayor sustento al proceso de evaluación de impacto, así como mayor utilidad de sus resultados en la toma de decisiones. Estas propuestas, aunque hasta ahora con un uso restringido, han mostrado su validez y aceptación para incorporar la variable ambiental en la toma de decisiones.

En cada uno de los capítulos se presenta una discusión particular de los aspectos relevantes que en ellos se contienen. Como complemento en el capítulo 7 se presenta una discusión general de los resultados obtenidos y del aporte que se hace para la elaboración de las manifestaciones de impacto ambiental y en general para todo el proceso de evaluación de impacto dentro del desarrollo de los proyectos en la Comisión Federal de Electricidad.

Finalmente en el capítulo 8 se presentan las conclusiones del trabajo de investigación y en el capítulo 9 una propuesta general para llevar a cabo los estudios de impacto ambiental de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica.

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Tabla No. 2 Manifestaciones de impacto ambiental de proyectos termoeléctricos revisadas y comparación de las metodologías empleadas para evaluar algunos aspectos relevantes

Nombre de la central	Metodología para evaluar el impacto sobre los diferentes factores ambientales			
	Calidad del aire	Calidad de agua de cuerpos receptores	Flora y fauna terrestre	Flora y fauna marina
CT Petacalco	Modelación matemática	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Bioensayos
CT Rosarito II	Modelación matemática	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Bioensayos
CT Rosarito III	Modelación matemática	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Bioensayos
CT Topolobampo	Modelación matemática	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Bioensayos
CT San Carlos	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador
CT Gro. Negro	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	N/A
CT Tuxpan	Modelación matemática	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Bioensayos
CT Valladolid	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	N/A
CT Carbón II	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	N/A
CT Chihuahua	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	N/A
CT Monterrey	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	N/A
CT Río Bravo	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	N/A
CT Tuxpan II	Modelación matemática	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador
CT Bajío	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	N/A
CT Tuxpan 3 y 4	Modelación matemática	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador
CD B.C.S.	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador
CT Petacalco II	Modelación matemática	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador
Dep. Ceniza Petacalco	N/A	Modelación matemática	Experiencia evaluador	Experiencia evaluador
UTG San Lorenzo	Modelación matemática	Sin descarga	Experiencia evaluador	N/A
UTG Tuxpan	Modelación matemática	Sin descarga	Experiencia evaluador	N/A

CT Central Termoeléctrica CD Central Termoeléctrica con motores diesel

UTG Unidad turbogás

N/A Por las características del proyecto no hay efectos relevantes en este factor ambiental o los posibles

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Tabla No. 3 Manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de líneas de transmisión revisadas

1. LT Agustín Millán – Volcán Gordo
2. LT El Salto – Teotihuacan
3. LT Valladolid – Nizuc/Playa del Carmen
4. LT Aeropuerto – Villa García
5. LT Río Escondido – Arroyo el Coyote
6. LT Anáhuac Pot – El Potosi
7. LT Manuel Moreno Torres – Juile
8. LT Escarcega Potencia – Sabancuy
9. LT Cerro de Oro - Tecali
10. LT Fresnal - Nacozari
11. LT Moctezuma – Nuevo Casas Grandes
12. LT Pueblo Nuevo – Louisiana

2. OBJETIVOS

2.1 *Objetivo general*

Contribuir al desarrollo de una propuesta metodológica con mayor sustento científico para la evaluación del impacto sobre los componentes bióticos por la ejecución de proyectos de generación y transmisión de energía eléctrica

2.2 *Objetivos específicos*

Desarrollar técnicas que permitan elaborar pronósticos cuantitativos del impacto esperado sobre los organismos vivos como consecuencia del desarrollo de proyectos de generación y transmisión de energía

Desarrollar técnicas objetivas y cuantitativas para la evaluación comparada de los impactos esperados sobre los organismos vivos por las alternativas existentes para el desarrollo de proyectos de generación y transmisión de energía.

3. LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS ECOLÓGICOS EN LAS MANIFESTACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA

3.1 Caracterización de los elementos bióticos en el área de influencia de los proyectos

Como ya se indicó, los estudios de impacto ambiental revisados se enlistan en las Tablas 2 y 3. En la mayoría de las evaluaciones de impacto de los proyectos del sector eléctrico la información sobre los componentes bióticos es descriptiva y en muchas ocasiones incompleta. Aunque en casi en todas las evaluaciones se tiene una caracterización cuantitativa de los diferentes tipos de vegetación o asociaciones vegetales existentes en el área de influencia de los proyectos, no deja de ser descriptiva. Cuando los proyectos contemplan una interacción directa con sistemas acuáticos por la descarga del agua de enfriamiento en el mar, se tiene también una descripción cuantitativa de los componentes bióticos (necton, bentos y plancton) del cuerpo receptor.

Una parte importante de la descripción de los componentes bióticos, en especial de la fauna, lo conforman los listados de especies presentes en el área de influencia del proyecto. Sin embargo, no hay el análisis de aspectos como la presencia de especies indicadoras de ambientes o condiciones ambientales particulares o de las posibles correlaciones con los componentes abióticos de los ecosistemas. La descripción de la estructura o funcionamiento de los ecosistemas es prácticamente inexistente. Es hasta 1999 (INECOL, 1999), cuando empieza a desarrollarse un enfoque sistémico (Ver sección 3.2).

Una constante en los estudios de impacto ambiental es que la caracterización de los componentes bióticos no es adecuada y suficiente para llevar a cabo un programa de monitoreo durante la construcción u la operación de los proyectos: i) La información es descriptiva y poco se plasma acerca de las condiciones o el estado de los elementos bióticos; ii) no se identifican, de ser el caso, las causas del deterioro o la modificación de los elementos bióticos; iii) en muchos casos no hay precisión de la ubicación geográfica de los sitios de muestreo; iv) no se determinan las condiciones existentes en un área que pueda ser usada como testigo durante la construcción y operación del proyecto; y v) con excepción de los estudios realizados en los años ochenta y principios de los noventa para centrales costeras y para las cuales se había planeado descargar el agua de enfriamiento al mar, en las que se realizó un trabajo de campo durante un año para conocer las características bióticas de la zona marina, la variación temporal de los componentes bióticos no fue caracterizada.

En los estudios no se determinaron los requerimientos ambientales o ecológicos de las especies o poblaciones bióticas terrestres existentes en el área de influencia, y por lo tanto, no es factible determinar como los cambios en los componentes abióticos de los ecosistemas pueden afectar a los seres vivos. Estos elementos son relevantes para determinar los efectos indirectos sobre los seres vivos que pueden ocasionar los cambios en el aire, el agua o el suelo. La excepción son las centrales que cuentan con un sistema de enfriamiento abierto y cuya descarga va directamente al mar, en las cuales además de realizar trabajo de campo para

determinar las características bióticas del cuerpo receptor se usó la vía experimental para determinar el efecto de la temperatura sobre los organismos marinos, ya que desde hace más de veinte años se han utilizado bioensayos para evaluar el efecto del incremento de la temperatura y del vertimiento de cloro en el cuerpo receptor de la descarga (ENCB-IPN, 1986; UNISON, 1980; Instituto de Ingeniería, 1990; CIB, 1989; Bufete Industrial 1990; SISA, 1992; CIBNOR, 1997).

En algunas de las evaluaciones de impacto de centrales termoeléctricas más recientes (CIBNOR-Universidad de Sonora, 1997 y 1999; Instituto de Ecología A.C. 1998, 2001; Instituto de Ingeniería, 1999; CIBNOR-Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2000; Universidad Autónoma de Yucatán, 2003), se han incorporando al análisis de impacto ambiental las zonas o hábitats de relevancia biótica por ser áreas de reproducción, de resguardo, de alta abundancia o diversidad de especies, por tratarse de zonas con características únicas, etc. Aún faltan por considerar aspectos como la posibilidad de recuperación de los ecosistemas o hábitats que han sido afectados por acciones humanas previas. Asimismo, los métodos usados para evaluar tales impactos son todos descriptivos.

3.2 Metodología de identificación y evaluación

En todos los estudios de impacto ambiental de los proyectos del sector eléctrico la metodología utilizada para la identificación de los impactos está basada fundamentalmente en matrices de interacción ambiente – proyecto, comúnmente conocidas como Matrices de Leopold (Leopold, et al.,1971), las cuales permiten identificar de manera sistemática los impactos directos que ocasionarán las diferentes acciones del proyecto (Glasson, et al., 2002). Normalmente no se utilizan técnicas para la identificación de los impactos secundarios, como los diagramas de flujo y la sobreposición de planos, los cuales también permiten determinar los impactos sinérgicos o aditivos. Esta deficiencia metodológica es relevante cuando se trata de determinar los efectos sobre los componentes bióticos, ya que los cambios físicos en agua, suelo o aire, pueden afectar significativamente a los componentes bióticos de los ecosistemas. Esta situación lleva a carencias importantes en los estudios, lo cual se puede ilustrar con algunos casos: i) prácticamente en todas las manifestaciones de las centrales termoeléctricas se ha omitido el análisis del efecto de la lluvia ácida que puede ser producida por las emisiones de Óxidos de Azufre y de Nitrógeno y; ii) en las evaluaciones de líneas de transmisión no se analizan los efectos secundarios del desmonte del derecho de vía (la principal acción desde el punto de vista ambiental), como pueden ser los efectos de barrera o corredor para algunas especies o el fraccionamiento o aislamiento de hábitats, que pueden ocurrir cuando se construyen caminos de acceso o se trabaja en los derechos de vía de líneas de transmisión (CIBNOR,2002; Instituto de Ingeniería, 2003; CIBNOR, 2002; CIBNOR-UAT, 2000; Instituto de Ecología, 1998, 2001 y 2002; UMSNH, 2001).

En la Tabla 2 se presenta de manera resumida para el caso de las Centrales Termoeléctricas, las técnicas y los procedimientos que se han empleado para la evaluación del impacto sobre los diferentes componentes ambientales. Como se puede observar, la

evaluación de impacto sobre los recursos bióticos ha sido realizada con mucho menor rigurosidad que lo que ocurre, por ejemplo, con la modificación de la calidad del aire por efecto de la emisión de los gases producto de la combustión, ya que, con excepción de los posibles efectos de la descarga de agua del sistema de enfriamiento sobre la biota marina, la predicción de los efectos sobre los elementos bióticos se ha fundamentado casi exclusivamente en la experiencia del personal evaluador (Instituto de Ingeniería, 1989; SISA, 1992; CIBNOR, 1997; COMIMSA, 1999; CIBNOR-UNISON, 1999). La evaluación del impacto sobre la biota acuática por la descarga de agua del sistema de enfriamiento se ha sustentado en trabajos experimentales (bioensayos) para estimar el efecto de la temperatura y el cloro sobre los organismos acuáticos y se ha simulado el campo térmico que se generará por la descarga del agua de enfriamiento. Sin embargo, esta información, en general, no se ha integrado bajo algún procedimiento formal que permita la evaluación de manera sistemática y con carácter predictivo (CICTUS, 1980; CIB, 1989; Instituto de Ingeniería, 1990; Bufete Industrial, 1990; SISA, 1992; CIBNOR, 2000)

Uno de los elementos más utilizado para determinar la significancia de los impactos ambientales sobre la biodiversidad, es la existencia de especies legalmente protegidas en el área de influencia del proyecto. Sin embargo, en la mayoría de los estudios que se han elaborado hasta a la fecha no hay un análisis de las posibles repercusiones sobre las poblaciones de estos organismos y simplemente se considera que su sola presencia hace que el impacto se evalúe como significativo. Possingham et al., (2002) indican que en muchos estudios de impacto ambiental la determinación de la significancia de los impactos sobre la biodiversidad es altamente dependiente de la presencia de especies protegidas en el área de influencia del proyecto (si no hay especies protegidas o el impacto sobre de ellas es insignificante, el proyecto puede ser ejecutado). Los mismos autores indican que aunque el proyecto afecte de manera sustantiva sobre especies no protegidas, se puede desarrollar sin medidas de mitigación. Lo mismo ha ocurrido en México (a últimas fechas, la autoridad ambiental ha tratado de rectificar esta situación estableciendo acciones de protección sobre especies no listadas, pero esta decisión se da de manera discrecional, de nuevo sin tener un respaldo en la evaluación de impacto).

La incorporación de algoritmos, como el propuesto por Bojorquez et al. (1998)³ y otros desarrollados de manera específica en algunas manifestaciones de centrales termoeléctricas (COMIMSA, 1999; CIBNOR-UNISON, 1999) para determinar la significancia de los impactos que puede causar el desarrollo de un proyecto, permite estandarizar el procedimiento de evaluación de cada impacto; estos algoritmos no eliminan la subjetividad del análisis, pero posibilita que una vez caracterizado el impacto, su calificación será la misma con independencia de la experiencia o percepción del evaluador. Estos algoritmos no realizan una predicción o pronóstico del impacto pero permiten tener mayor certeza sobre cuales serán los efectos significativos que puede ocasionar la ejecución de un proyecto y por lo tanto para los

³ Los algoritmos usados permiten de una manera estandarizada realizar la evaluación de cada impacto siguiendo un procedimiento uniforme, el cual parte de establecer una calificación numérica a cada uno de los criterios usados para realizar la caracterización de los impactos; estos valores son incorporados a un algoritmo para calcular un índice de impacto. Se definen los intervalos de los valores q los que se asignará una categoría de la significancia del impacto.

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

cuales es necesario establecer medidas de mitigación o compensación para que el proyecto pueda ser ambientalmente viable.

En los últimos estudios se ha incorporado en las evaluaciones de impacto ambiental la visión sistémica para analizar las repercusiones ambientales de la ejecución de estos proyectos. Este enfoque se presentó por primera ocasión en 1999 (INECOL) y actualmente empieza a ser una herramienta comúnmente empleada por diferentes consultores (INECOL, 2001 y 2002; CIBNOR, 2003; UADY, 2003). El análisis sistémico posibilita identificar adecuadamente los efectos indirectos o secundarios, así como los impactos sinérgicos o acumulativos, permitiendo una mejor evaluación de los cambios en los componentes bióticos derivados de modificaciones en los elementos abióticos (calidad de agua, calidad de aire, cambios hidrodinámicos, modificaciones de suelo, etc.), además de permitir simular el comportamiento de los elementos bióticos. El análisis sistémico se basa en la construcción de modelos, al menos gráficos, de los sistemas ambientales (o ecosistemas), para explicar la estructura y funcionamiento de los mismos; a este modelo se incorporan las acciones relevantes del proyecto y así se puede ver objetivamente los cambios que ocasionan en el sistema (Costanza, et al., 1998)

En la actualidad, el enfoque sistémico, con el apoyo de herramientas informáticas para la simulación de sistemas complejos, se ha utilizado con un buen éxito para presentar de manera clara y precisa los esquemas que anteriormente se construían mentalmente y que era difícil de presentar "objetivamente" en las Manifestaciones de Impacto Ambiental. Las relaciones que se incluyen dentro del modelo son las que el personal evaluador considera que pueden ser las respuesta de los organismos ante una condición que se generará por el desarrollo. Solo en contadas ocasiones se han incluido en el modelo del ecosistema relaciones causales determinadas por medio del análisis científico o empírico. Esto implica que la subjetividad no ha sido eliminada, pero si se puede trabajar con un esquema estandarizado que facilita la evaluación y la comunicación de los resultados (CIBNOR, 2003; Perez-Maqueo, 2001; INECOL, 2001, 2000 y 1999).

Una deficiencia constante en los estudios de impacto ambiental revisados, es la evaluación global del impacto esperado por la ejecución del proyecto, sin tomar en cuenta las diferentes condiciones ambientales que existen dentro de su área de influencia y por lo tanto la variedad de posibles respuestas de los organismos vivos. Este aspecto es de mayor relevancia en proyectos lineales de gran magnitud (ya sea líneas de transmisión o ductos), ya que el proyecto puede desarrollarse en las más variadas condiciones ambientales, como, por ejemplo, la Línea de Transmisión (LT) Anáhuac Potencia – El Potosí (CFE, 2001), atraviesa zonas de bosques tropicales de diferentes alturas, bosques de encino, de pino piñonero, varios tipos de matorrales desérticos, zonas con vegetación riparia y pastizales, así como terrenos planos, zonas de lomeríos y áreas montañosas con fuertes pendientes. Adicionalmente hay que considerar que en el caso de las líneas de transmisión, el diseño y el proceso constructivo cambian sustancialmente con las condiciones del relieve y el tipo de vegetación, lo cual confirma la inconveniencia de realizar una evaluación global de todo el proyecto.

3.3 Los impactos principales

De acuerdo con los resultados que se presentan en las manifestaciones de proyectos de generación y transmisión, así como los resultados de la medición de impactos en la CT Plutarco Elías Calles (PUMA, 2001), en la mayoría de los casos, las principales interacciones de los proyectos con los componentes bióticos son las siguientes: i) la eliminación o la afectación de los hábitats por el desarrollo de las obras; ii) la modificación de las condiciones físicas y químicas que causan en el cuerpo receptor la descarga del agua de enfriamiento y; iii) en el caso de centrales de gran magnitud, las emisiones a la atmósfera de los gases (NO_x y SO_2) y las partículas producto de la combustión.

Como se indica en la sección anterior, la evaluación del efecto por la eliminación de hábitats o parte de ellos, se realiza de manera subjetiva sin el empleo de algún procedimiento o técnica que permita estimar su significancia con elementos científicos. Es hasta los estudios más recientes (INECOL, 1998, 2001, 2002), cuando comienzan a emplearse los elementos que permiten acercarse a una evaluación objetiva. La determinación de la "importancia" de los ambientes o hábitats que pueden ser afectados por el proyecto, que se ha determinado considerando aspectos como la riqueza específica, abundancia, presencia de especies protegidas y endémicas, grado de conservación, ser zonas de reproducción o refugio, etc. Si bien, la importancia de los hábitats no es un elemento que permita determinar la magnitud de los impactos, si permite contribuir a estimar la relevancia de los impactos. La determinación de la importancia de los hábitats que pueden ser afectados son un sustento básico para la selección de trayectorias de gasoductos y líneas de transmisión. Es importante destacar que en la Manifestación del proyecto de LT Valladolid - Nizuc / Playa del Carmen, ya se aplica un procedimiento formal para estimar la importancia de cada ambiente o zona (UADY, 2002).

El impacto de las descargas de agua de enfriamiento sobre los seres vivos de ambientes costeros, se ha basado en el desarrollo de bioensayos para determinar la tolerancia de los organismos al incremento de la temperatura y la presencia de cloro, así como la aplicación de modelos para estimar el campo térmico que se generará por la descarga de agua de enfriamiento. Sin embargo, no se utiliza algún procedimiento para integrar estas dos herramientas (CICTUS, 1980; CIB, 1989; Bufete Industrial, 1990; Instituto de Ingeniería, 1990; SISA, 1992; CIBNOR, 1997, 1999).

En cuanto a las emisiones a la atmósfera, su efecto sobre los componentes bióticos ha sido prácticamente ignorado, ya que si bien se utilizan modelos para estimar a nivel de piso las concentraciones esperadas de los contaminantes, estas concentraciones son tan sólo comparadas con los niveles máximos permisibles para evitar daños a la salud humana.

CAPÍTULO 4

**LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECOLÓGICO DE LAS DESCARGAS DE
AGUA DE ENFRIAMIENTO DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS EN LA
COSTA DEL PACÍFICO MEXICANO**

ECOLOGICAL IMPACT OF COOLING-WATER DISCHARGES

ECOLOGICAL IMPACT ASSESSMENT OF COOLING-WATER DISCHARGES FROM POWER PLANTS LOCATED ON THE PACIFIC COAST OF MEXICO

Guillermo Zúñiga-Gutiérrez¹, Salvador Sánchez-Colón², Carlos H. Lechuga-Devéze³ & Alfredo Ortega-Rubio³

1 Comisión Federal de Electricidad, México, DF, MEXICO

2 Departamento de Botánica, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Carpio y Plan de Ayala S/N, 11340 México, DF, MÉXICO

3 Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo 195, Apdo. Postal 128, La Paz 23000 B.C.S., MEXICO

ABSTRACT

For improving the environmental impact assessment of future electrical facilities we have examined the procedures and results of the environmental impact analyses of cooling-water discharges into the sea from power plants located on the Mexican Pacific Coast. We try to derive generalizations that can be used as elements or guidelines for future analyses. In this paper we review the results from bioassays conducted for determining the half lethal temperature of sea organisms from seven different localities and we integrated them into a simple statistical model relating the thermal resistance (as measured by the median lethal temperature) of the organisms to the average maximum temperature of the warmer month at their source location. Models like this may be useful both as a tool for roughly and quickly predicting the likely impact of a newly proposed plant (a prediction useful during the site selection process), and for designing more finely-tuned bioassays by choosing the more suitable temperature experimental ranges, as a function of the test organisms and their inherent thermal resistance.

KEY WORDS- Ecological impact; power plant; Mexico; cooling-water discharge, thermal effect.

Thermoelectric power plants use large volumes of water for cooling systems, especially in open-system power plants. Steam is used to power turbines that are connected to electric generators. Steam spent is recovered and condensed using water as cooling liquid and this water is discharged into water bodies. Depending upon the plant's design, this water can be as much as 10 - 12°C warmer than when it entered the plant. The ecological impact of increasing the temperature of a water body has been long known and it can particularly alter ecological processes

and decrease biodiversity (Olmsted and Bolin, 1996). According to Greenwood and Bennett (1981), temperature is one of the most important abiotic factors affecting the activity and metabolism of ectotherm organisms and can affect all stages of the life cycle of marine life. A temperature increase can directly affect marine organisms by modifying their physiological and biochemical processes and, indirectly, by the ensuing decrease in dissolved oxygen and/or the increase in salinity. Cole (1971) described various effects of thermal pollution on biotic communities: specific composition can be modified; reproduction of some fish species can be prevented and the life cycle of some arthropods interrupted. In some cases, diatoms can be displaced by blue green algae. Under special conditions, thermal discharges can increase fishery production, although conditions cannot be favourable for biodiversity conservation (Olmsted and Bolin, 1996). The growth rate of some marine organisms increases when exposed to thermal effluents, as in the seaweed *Gracilaria conferta* in Israel (Greenwood and Bennett, 1981). In freshwater habitats it was determined that growth rate of some species can be modified by thermal discharges and when the power plant stops, biological populations of the area influenced by discharge are affected (Wilson and Jones, 1974). There are some cases where it has been determined that a 0.5°C increment reduced phytoplanktonic production and specific richness of fishes and phytoplankton (Paine, 1993). In the warm discharged water of a power plant in Japan was observed a reduction of chlorophyll content (Kosaza and Anraku, 1981). Lasker and Sherman (1981) have described the impacts on fish community caused by thermal discharge of a power plant located on San Diego Bay, in USA. The US Environmental Protection Agency has established very strict limits for temperature increases in estuarine systems (1.5°F – 0.8°C – in the summer and 4°F – 2.2°C – in the winter), to protect reproduction areas of fish species (Cole, 1971)..

However, the ecological impact caused by thermal discharges from power plants into the sea has not been adequately analyzed, specially in tropical areas. For these areas is particularly critic because the effects of increasing temperature on biological organisms, can be more relevant in warm habitats. There are only few papers or technical reports available about this topic; in Mexico, only the thermal discharge from Petacalco Power Plant has been monitored for assessing

its ecological effects (CIBNOR, 1994; PUMA, 2002). These studies have concluded that the ecological effects are evident only in the immediate vicinity of the discharge point.

In the last twenty years, the Comisión Federal de Electricidad (CFE) has carried out several ecological assessments for many power plants to be constructed on the coast and methodology used for assessing the effects of the thermal discharges is similar in all the cases. It is based on three fundamental elements: i) estimation of thermal field using mathematical modelling, ii) determination of physical and biological features in the area which will be affected by the thermal effluent and, iii) static bioassays for determining the effects of temperature on sea organisms (Bufete Industrial, 1989; CIB, 1990; CIBNOR, 1997 and 1999; Instituto de Ingeniería, 1989; SISA, 1989; UNISON, 1982).

However, during sitting process for a new power plant, to develop a complete environmental assessment for each potential site can be cost and time demanding. Therefore the authors consider relevant to analyze the experience and information accumulated during the studies developed by CFE in the last years to improve the ecological impact assessment of the thermal discharges. Since most of the ecological analysis of thermal discharges were carried out for places located on the Pacific Coast of Mexico, this paper is focused in these assessments. The authors analyse the results of bioassays done for seven power plants, in order to identify general relationships that could be applied for assessing the ecological impact in the different sites where a new power plant could be constructed. In addition, this analysis could help to improve the design of a complete and detailed environmental impact assessment for the selected site.

METHODOLOGY USED FOR ECOLOGICAL IMPACT ANALYSIS OF THERMAL DISCHARGES IN MEXICO.

At present, there is available information on seven studies developed for predicting the ecological effect of thermal discharges in different locations on the Mexican Pacific Coast (see figure 1). The southern site is in Petacalco (Guerrero State). The northern site is in Rosarito (Baja California State), near the border with the U.S.A. Although, only five of the seven power plants

were built, in all the cases the preliminary design of the power plant considered that cooling water would be disposed into the sea. The main characteristics of the power plants are described in table 1.

There are some methodological differences between the ecological impact analysis developed for each power plant, but all of them were based on: i) ecological conditions of the area where thermal discharge would be disposed ii) bioassay for evaluating temperature effect on mortality of some sea organisms in the surroundings of thermal discharge, and iii) mathematical modelling for determining the thermal field that will be generated by cooling water discharge. In most of the studies, bioassays were designed for determining half (50%) lethal temperature (LT) for a 96 hour exposure, although in some cases the LT was estimated for a shorter time. Thermal tolerance of sea organisms was determined by exposing groups of them to different temperatures and the death rate of the organisms was registered. The results of the different bioassays are shown in table 2. In all the cases the bioassays were developed in the sites where the power plants would be constructed and the acclimation temperature of the organisms was the annual mean temperature of the sea in the study area. In some cases, the maximal mean temperature of the warmer month were also used. The acclimation period was at least 5 days long. The bioassays developed were static. A control group, which was not subjected to thermal increase, was maintained during the test period. Dissolved oxygen and pH were controlled and maintained constant during test period. For this paper we considered only the results of bioassays which determined LT for 96 hour exposure.

METHODS FOR ANALYSING BIOASSAYS RESULTS

A linear model was built in order to examine the relationship between thermal tolerance (as measured by the LT for a 96h exposure) of test organisms belonging to different taxonomic groups and the different thermal conditions that they had been exposed to. This model aimed to predict the thermal tolerance (i.e., the LT) of the test organisms as a function of their taxonomic group (GROUP, a categorical predictive variable), the thermal conditions at their native habitat (as described by the mean, T_{md} , maximum, T_{mx} , and minimum, T_{mn} , temperature of sea water at the

organism's collection location), the mean temperature (T_{accl}) during the acclimation period previous to the bioassay, and the interactions $GROUPXT_{md}$, $GROUPXT_{mx}$, $GROUPXT_{mn}$ y $GROUPXT_{accl}$.

In order to include in the final model only those dependent variables significantly contributing to account for the differences in the organisms' thermal tolerance, a step-wise variable selection strategy was followed, as suggested by Draper & Smith (1981). The model was built only for LT's after a 96 hour exposure, as not enough data exist for shorter time periods.

RESULTS

The results of the different bioassays, for plankton, nekton, and benthos, are shown in table 2. As can be seen in Table 3, the variable selection procedure showed that the only variables significantly contributing to explain the differences in LT values, were the organism's taxonomic group (GROUP), the maximum temperature (T_{mx}) at their native habitat, and the interaction $GROUPXT_{mx}$. These variables account for 87.8% of the total variance in the LT values.

These results show, first, the general positive relationship existing between the organism's thermal tolerance (i.e., their L_t) and the maximum temperature at their native habitats (T_{mx}): Overall, organisms exposed to higher T_{mx} are better able to tolerate higher test temperatures. Secondly, the significance of the taxonomic GROUP factor denotes inherent, significant differences among taxonomic groups as to their average LT. Finally, the significant interaction term indicates that the relationship between LT and T_{mx} significantly differs among taxonomic groups. As can be seen in Fig. 2 and Table 4, the thermal tolerance of crustaceans sharply increases with the maximum temperature at their natural habitat. For fish and other organisms, thermal tolerance increases only moderately with the maximum temperature at their source locations. Finally, the thermal tolerance of molluscs is almost constant, independently of the thermal conditions at their native habitats.

Another way to examine the effect of water warming on the organisms is in terms of the magnitude of the temperature increment that they can tolerate. The relationship between the lethal median temperature increment ($LMI = LT - T_{mx}$) and T_{mx} can be easily derived from the linear

model fitted to the LT values (Table 5 and Fig. 2). These results mostly show a substantial difference among crustaceans and the other organisms. The temperature increment that crustaceans are able to tolerate (LMI) increases with the maximum temperature at their native habitat. By contrast, in other organisms, the LMI actually seems to decrease as the maximum temperature at their native habitats increases.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The design of the bioassays for each site was not the same, and therefore there are some limitations for using the data. Bioassays developed for estimating LT for different period is the most relevant difference between them and we could not include the results of LT for 24 hours exposure. Therefore the confidence of the statistical model is lower than if all the bioassays had been carried out for the same time test. However, the statistical analysis of bioassays results suggests a relation between the natural temperature of the habitat, particularly the maximal one, where the sea organisms live and their tolerance to temperature increases

The effect of the temperature is not the same for the different groups of organisms; in the case of molluscs it is clear that these organisms can tolerate higher temperature increases if they live in temperate conditions than in tropical weather. For fishes, the response pattern to temperature increase is similar to molluscs but the slope is less sharp. For both groups of organisms this pattern is congruent to general assumption that in temperate regions the sea organisms tolerate higher temperature increases than in tropical areas. According to the results of statistic analysis, molluscs are more tolerant in temperate regions to thermal pollution than fishes, but in tropical areas fishes would be more resistant to temperature increases than molluscs.

However, the pattern response of crustacean to temperature is very different: the organisms from warmer regions tolerate more temperature increases. This can be explained by the fact that the tested organisms belonging to this taxonomic group considered in this analysis were taken only

from the warmest sites. It is possible that tendencies of thermal tolerance will be different when we incorporate data from the temperate region.

The statistic models developed using the data accumulated by CFE only can be valid for the geographical interval where they were generated, therefore these models only can be used assessing thermal discharges in this area.

We think that critical reviews of the environmental impact statements of previous projects are a fundamental point for improving the environmental impact analysis of future developments. In this case, a statistical analysis of the results of bioassays developed for assessing the ecological impact of thermal discharges from the power plants, has allowed us to purpose models for estimating thermal tolerance of sea organisms with limited information about the biological components of the environment. These models may be used during the site selection process of a power plant that would be located on the area of the Mexican Pacific Coast included in this analysis. Nowadays it is possible to predict the thermal field that could be generated by a thermal effluent using bibliographic information or considering critical conditions for thermal dispersion and to obtain a general biological characterization using a rapid field survey. The statistic models may be a complementary tool for a rapid impact assessment because at present it is time and cost demanding to develop the bioassays for estimating thermal tolerance of the sea organisms. Methodologies for developing a rapid environmental or ecological assessment are very important for incorporating environmental aspects during sitting process for a new power facility. It is important to remark that the models purposed only can be used for the geographical area where the bioassays were carried out.

The models developed must be tested comparing the predictions of the models with results of new bioassays but especially with results of ecological monitoring programmes in areas affected by thermal discharges. In addition, the models should be strengthened incorporating, in the future, more bioassay results. The ecological impact analysis would be more sound if, in addition the results of bioassays carried out with four or five species inhabitants of the area where a power plant will be located, we use validated models

Although the total available data used for elaborating the models is limited, the authors think that it is better to use these models for a preliminary or rapid ecological assessment (particularly during the sitting process) than support the assessment on professional experience only. These models will allow us to make quantitative predictions that could be evaluated objectively using monitoring programmes. In addition, these models are statistically significant and therefore we think that they are good predictors of thermal tolerance of the organisms for the range of natural temperature of the natural habitats where the tested organisms were collected. Nowadays, we consider that the models cannot substitute bioassays, they are tools that can help to make better predictions of the ecological effect due to thermal discharges.

The statistical models developed can help to design future bioassays. These models allow predicting thermal tolerance of the organisms and also show that the thermal tolerance of sea organisms is more related to maximum temperature than media temperature of the organisms' habitat. This information is useful for making a better selection of the temperature increments to be used for determining a lethal temperature. When we designed the bioassays for estimating thermal effect we wanted to estimate LT96, this objective was not reached due to a bad selection of the temperatures to be used during the test and time restrictions avoided to repeat the test.

Acknowledgements

This work was carried out thanks to the financial support from the Comisión Federal de Electricidad, México.

BIBLIOGRAPHY

- Alm, A. 1991. Washington watch: New directions for EPA. *BioScience* 41:451
- Bufete Industrial S.A. 1989. Estudio del impacto ambiental de la descarga del sistema de agua de enfriamiento de la C.T. Petacalco. Realizado para Comisión Federal de Electricidad.
- Cole, L.C. 1971. Thermal Pollution. In Detwyler, T.R Man's Impact on Environment, 1st Edition. McGraw Hill Inc.
- CIB (Centro de Investigaciones Biológicas) de la Paz, 1990. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Topolobampo II. Realizado para Comisión Federal de Electricidad
- CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste) 1994, Evaluación del impacto Ambiental Marino por la Descarga Térmica de la C.T. Petacalco.
- CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste) 1997. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Rosarito III. Realizado para Comisión Federal de Electricidad
- CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste) 1999. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Rosarito IV. Realizado para Comisión Federal de Electricidad
- Draper, & Smith. 1981. Applied regression analysis. J.Wiley, USA.
- Greenwood, P.J. and T Bennett (1981) Some effects of temperature-salinity combinations on the early development of the sea urchin *Parechinus angulosus* (Leske). Fertilization. Journal of experimental marine Biology and Ecology
- Instituto de Ingeniería UNAM 1989 Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Rosarito II. Realizado para Comisión Federal de Electricidad
- Koszasa, E. And M. Anraku, 1981. The effects of heated effluents on the production of marine plankton. Bulletin of the Plankton Society of Japan. 28 (1) 25-32.
- Lasker, R. and K. Sherman, 1981. Composition, distribution, and seasonality of ichthyoplankton populations near an electricity generating station in South San Diego Bay, California. Rapports et process-verbaux des reunions conseil international pour l'exploration de la mer 178 – 112-114.
- Olmsted, L.L. & Bolin J.W. 1996. Aquatic biodiversity and the electric utility industry. *Environmental Management* Vol. 20 (5) 805-814.
- PUMA (Programa Universitario del Medio Ambiente) 2002. Diagnóstico Ambiental de la CT Petacalco.
- SISA (Sistemas de Ingeniería Sanitaria) 1989. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Colmi. Realizado para Comisión Federal de Electricidad
- UNISON (Universidad de Sonora), 1980. Estudios de localización, ingeniería básica e impacto ambiental de las obras de toma y descarga de agua marina utilizada para enfriamiento de una planta termoeléctrica en Puerto Libertad, Sonora, México. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. Realizado para Comisión Federal de Electricidad. 171 pp.
- Verlaque, M. G. Giraud, C.F. Boudouresque, 1981. Le phytobenthos de la zone de decollement de la tache thermique d'une centrale électrique mediterraneenne. Botánica Maruna, 1981, 24(2) 69 – 87.
- Wilson, R & W. J. Jones, 1974. Energy, Ecology and Environment. 1st Edition Academic Press

Table 1 Main characteristics of the power plant projects located on the Mexican Pacific Coast for which information on the ecological impact analysis of the thermal discharge is available.

Name of the Plant	State	Geographical coordinates	Capacity	Cooling System	
				Flow ¹	Maximum Temperature of discharge
C.T. P. Elías Calles	Guerrero		2100 MW	99 m ³ /s	36.4 ° C
C.T. Colmi	Michoacán	18°35'06" LN 103°42'00" LW	2200 MW	88 m ³ /s	37° C
C. T. Topolobampo	Sinaloa	25°36" LN 109°03' LW	320 MW	12.3 m ³ /s	38 ° C
C. T. Pto. Libertad	Sonora	29°64'30" LN 112°34'30" LW	320 MW	22 m ³ /s	39.58 ° C
C. T. Rosarito II	Baja California	32°22" LN 117°03'55" LW	320 MW	10 m ³ /s	27.4 ° C
C.T. Rosarito III	Baja California	32°22' LN 117°03'55" LW	450 MW	5 m ³ /s	26.4 ° C
C.T. Rosarito IV	Baja California	31°59'36" LN 116°51'02" LW	450 MW	6 m ³ /s	23.4 ° C

¹ Flow considered in the environmental impact analysis

Sources: Bufete Industrial (1989); SISA (1992); CIB de La Paz (1990); UNISON (1980); Instituto de Ingeniería UNAM (1988); CIBNOR (1997); CIBNOR (2000).

Table 2 Results of the bioassays carried out for assessing the potential impacts on sea organisms of the thermal discharges from power plants

TEST ORGANISMS		T_{md}	T_{min}	T_{max}	T_{accl}	LT	LMI
PLANKTON	Mixed population of fitoplankton	27,93	30	21	28	31,03	3,10
NECTON	<i>Lutjanus guttatus</i>	27,93	21	30	28	30,86	2,93
(Fish)	<i>Mugil curema</i>	27,28	19.3	32.83	32	36,8	9,52
	<i>Mugil curema</i>	27,28	19.3	32.83	25	36,8	9,52
	<i>Galeichthys sp</i>	27,28	19.3	32.83	32	36,4	9,52
	<i>Galeichthys sp</i>	27,28	19.3	32.83	25	36,4	9,52
	<i>Engraulix mordax</i>	14,54	12.3	16.4	18	24	9,46
	<i>Sardinops sargax caerulea</i>	14,54	12.3	16.4	18	22	7,46
	<i>Abudefduf saxatilis</i>	29,5	27	31.4	27	35,54	6,04
	<i>Abudefduf saxatilis</i>	29,5	27	31.4	32	34,01	4,49
BENTHOS							
Molluscs	<i>Crassostrea gigas</i>	27,93	21	30	28	36	8,07
	<i>Dosinia dunkeri</i>	27,28	19.3	32.83	25	30	2,72
	<i>Dosinia dunkeri</i>	27,28	19.3	32.83	32	34	6,72
	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	14,54	12.3	16.4	18	32,1	17,56
	<i>Neritina cassiculum</i>	27,93	21	30	28	36,61	8,68
	<i>Calyptraea (trochita) spirata</i>	29,5	27	31.4	32	34	4,50
	<i>Calyptraea (trochita) spirata</i>	29,5	27	31.4	25	34	4,50
Crustacean	<i>Penaeus vannamei</i>	27,28	19.3	32.83	25	36,7	9,42
	<i>Penaeus vannamei</i>	27,28	19.3	32.83	32	39,1	11,82
	<i>Balanus amphitrite</i>	27,93	21	30	28	30	2,07
	<i>Emerita sp</i>	29,5	27	31.4	27	33,65	4,15
	<i>Emerita sp</i>	29,5	27	31.4	32	36,42	6,92
	<i>Trachinotus rodophus</i>	29,5	27	31.4	27	36	9
	<i>Trachinotus rodophus</i>	29,5	27	31.4	32	36	4

T_{md} = Mean annual temperature of the sea surface water

T_{accl} = Acclimation temperature

LT = Half lethal temperature at 96 h exposure

LMI = Lethal median temperature increment = LT - T_{mx}

Table 3. Analysis of variance of the final linear model fitted to the thermal tolerance (as measured by the LT for a 96h exposure) of test organisms belonging to different taxonomic groups. LT was the response variable; predictor variables initially considered were taxonomic group (GROUP, a categorical predictive variable), mean, T_{md}, maximum, T_{mx}, and minimum, T_{mn}, temperature of sea water at the organism's collection location, the mean temperature (T_{accl}) during the acclimation period previous to the bioassay, and the interactions GROUPXT_{md}, GROUPXT_{mx}, GROUPXT_{mn} y GROUPXT_{accl}. A step-wise variable selection strategy was applied to include, in the final model, only those dependent variables significantly contributing to account for the variations in the organisms' LT values

Source of variation	Sum of squares	d.f.	Mean square	F	P(F)
Taxonomic group	33.6	3	11.2	3.97	.027
T _{mx}	194.44	1	194.44	68.88	<0.0001
Group X T _{mx}	98.34	2	49.17	17.42	0.0001
Error	45.16	16	2.823		
Total	371.54	22			

$$R^2 = 0.878$$

Table 4 Statistical model fitted for analysing the relation between lethal temperature at 96h and the maximum temperature of habitat of sea organisms.

Taxonomic group	Fitted model
Fishes	$LT = 9.505 + 0.8074 \cdot T_{mx}$
Molluscs	$LT = 31.845 + 0.0624 \cdot T_{mx}$
Crustaceans	$LT = -48.395 + 2.6394 \cdot T_{mx}$
Other organisms	$LT = 10.547 + 0.8074 \cdot T_{mx}$

LT = Half lethal temperature at 96 h exposure

Tmx = Maximum temperature of sea water at the organism's collection location

Table 5 Statistical model describing the relation between the Median lethal temperature increment (MLI) and the maximum temperature of the habitat of four different groups of marine test organisms.

Taxonomic group	Fitted model
Fish	$ILM = TL_{96} - T_{mx} = 9.505 + 0.8074 * T_{mx} - T_{mx} = 9.505 - 0.1926 * T_{mx}$
Molluscs	$ILM = TL_{96} - T_{mx} = 31.845 + 0.0624 * T_{mx} - T_{mx} = 31.845 - 0.9376 * T_{mx}$
Crustaceans	$ILM = TL_{96} - T_{mx} = -48.395 + 2.6394 * T_{mx} - T_{mx} = -48.395 + 1.6394 * T_{mx}$
Other organisms	$ILM = TL_{96} - T_{mx} = 10.547 + 0.8074 * T_{mx} - T_{mx} = 10.547 - 0.1926 * T_{mx}$

LT = Half lethal temperature at 96 h exposure

Tmx = Maximum temperature of sea water at the organism's collection location

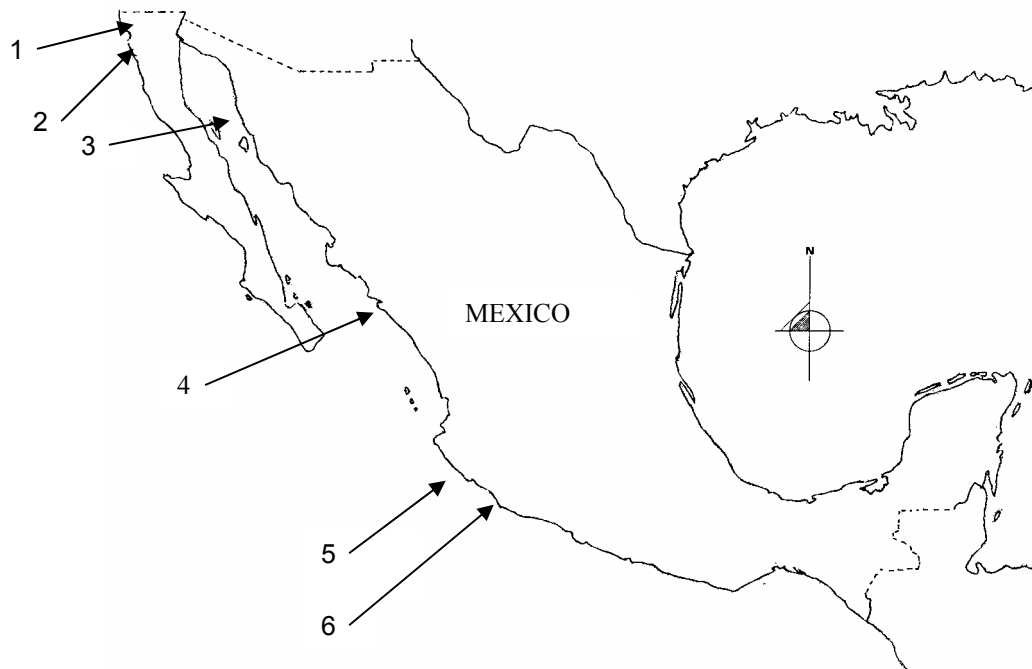


Figure 1. Location of Power Plants on the Mexican Pacific Coast for which information on the ecological impact analysis of the thermal discharge is available: 1 - Rosarito II y III; 2 - Rosarito IV; 3 - Puerto Libertad; 4 - Topolobampo; 5 - Colmi; 6 - Petacalco

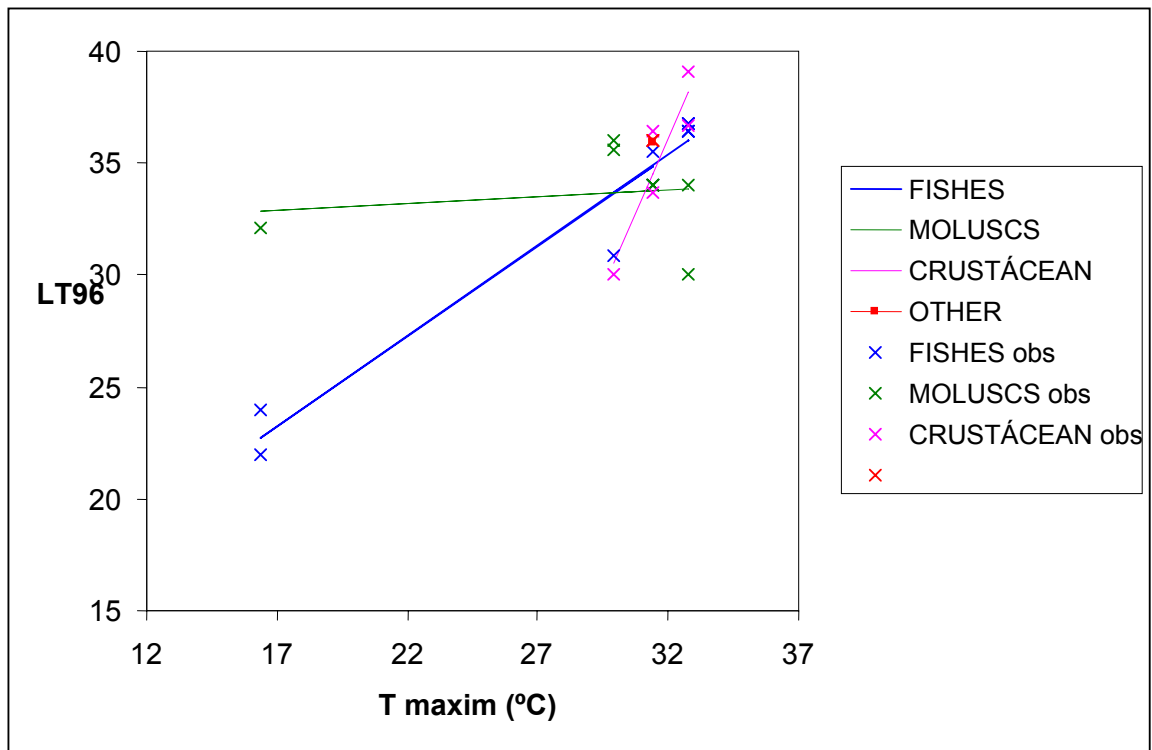


Figure 2 Relation between half lethal temperature at 96h exposure and the maximum temperature of the habitat of four different groups of marine test organisms.

OTHER obs

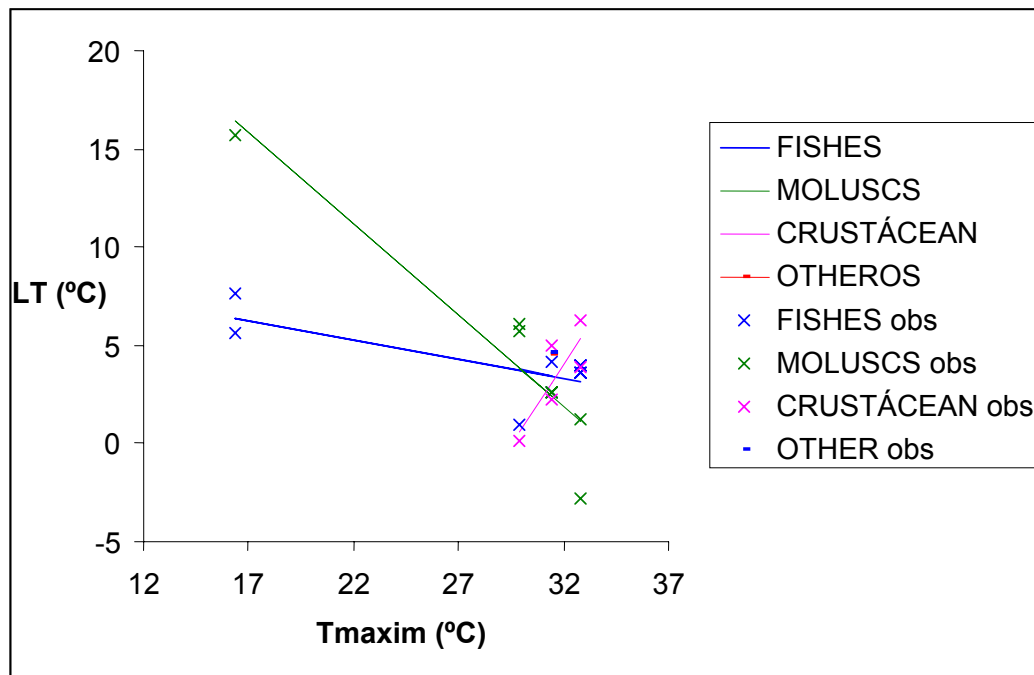


Figure 3 Relation between the Median lethal increment (MLI) and the maximum temperature of the habitat of four different groups of marine test organisms.

CAPÍTULO 5

**EL IMPACTO DE LA DESCARGA TÉRMICA DE LA CENTRAL
TERMOELÉCTRICA TUXPAN EN LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO**

AVOIDING THE IMPACT OF THE THERMAL DISCHARGE FROM THE MEXICAN TUXPAN
POWER PLANT ON THE TAMPAMACHOCO LAGOON FISHERIES

Guillermo Zúñiga-Gutiérrez¹, Juan Olvera-Sanmiguel², Alfredo Ortega-Rubio³

1 Subdirección de Construcción, Comisión Federal de Electricidad

2 Gerencia de Protección Ambiental, Comisión Federal de Electricidad. Boulevard Adolfo Ruiz
Cortines 4156, 4° Piso, CP 01900, México, D.F.

3 Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Programa

Short title: Avoiding impact of thermal discharge

ABSTRACT

The ecological impact analysis of the thermal discharge of Tuxpan Power Plant in Mexico, enabled us to suggest the modification of its water-cooling system. According to the results of this analysis, the fisheries in Tampamachoco Lagoon would have been severely affected, possibly destroyed, if the cooling system water had been discharged into the Lagoon. Its thermal and salinity patterns would be disrupted by the discharge, therefore the environmental conditions would not be adequate for several organisms living in the lagoon. We determined that cooling water discharge should be diverted to sea for assuring fisheries conservation in Tampamachoco Lagoon. The design changes of cooling system implied costs and technical problems: a channel for returning water to sea was constructed and water pumps were changed. Despite these costs, the design changes were accomplished. For reducing negative technical and economic implications we strongly recommend that environmental impact studies must be carried out at the beginning of future Projects.

KEY WORDS: Tampamachoco Lagoon; Power Plants; Cooling Systems; Environmental Assessment; Fisheries; Thermal discharge; Mexico.

INTRODUCTION

The National Power Company (Comisión Federal de Electricidad – CFE) of Mexico has developed impact assessments for new projects since several years ago. One of the first ecological assessments prepared by this company was the impact analysis of the thermal discharge from Tuxpan Power Plant (TPP), located on the coast of Gulf of Mexico near the city of Tuxpan, in the State of Veracruz, Mexico. TPP is located between the sea and the Tampamachoco Lagoon. The Tampamachoco Lagoon is connected to Tuxpan River near the mouth of this river; it is an estuarine system and therefore sea and fresh water contributions into it determine its characteristics. Fishery is an important human activity in Tampamachoco Lagoon and it is an important income for many families living near it. Furthermore, as occur in most of the estuarine systems, several sea organisms grow or reproduce into the Tampamachoco Lagoon and some of them are economically important. Therefore, an ecological impact on the lagoon may cause a very significant social impact. When this site was selected for constructing TPP, the plant had been designed for taking cooling water from Gulf of Mexico and discharging it into Tampamachoco Lagoon (See figure 1).

The potential effects of the water cooling discharge into the lagoon would be due to physical changes that could be caused by the different features of the discharge in comparison to the water of the lagoon. Salinity of seawater is higher than water in the lagoon; in addition, the temperature of the water would be raised in the cooling system of the power plant.

The ecological effects of a thermal discharge from power plants into water bodies have been documented in different cases. A temperature increment of a water body can alter the ecological processes and decrease biodiversity (Olmsted and Bolin, 1996). According to Greenwood and Bennett (1981), temperature is one of the most important abiotic factors affecting the activity and well-being of ectotherm organisms and can affect all stages of the life cycle of marine organisms. A temperature increase can modify directly the physiological and biochemical processes of aquatic organisms and, indirectly, by the ensuing decrease in oxygen concentration and/or the increase in

salt concentration. Cole (1971) described various effects of thermal pollution on biotic communities: specific composition can be modified; reproduction of some fish species can be prevented and the life cycle of some arthropods interrupted. In some cases, diatoms can be displaced by blue green algae. Under special conditions, thermal discharges can increase fishery production, although conditions cannot be favourable for biodiversity conservation (Olmsted and Bolin, 1996). The growth rate of some marine organisms increases when exposed to thermal effluents, as in the seaweed *Gracilaria conferta* in Israel (Greenwood and Bennett, 1981). In freshwater habitats it was determined that growth rate of some species can be modified by thermal discharges and when the power plant stops generating biological populations of the area influenced by discharge are affected (Wilson and Jones, 1974). In some cases a temperature rise of 0.5°C reduced phytoplanktonic production and specific richness of fishes and phytoplankton (Paine, 1993). As a consequence of these potential effects due to thermal discharges on biological elements, the US Environmental Protection Agency has established very strict limits for temperature increases in estuarine systems (1.5°F – 0.8°C – in the summer and 4°F – 2.2°C – in the winter), because they are reproduction areas of a lot fish species (Cole, 1971).

However, TPP is located in a tropical region and most of the documented cases are related to facilities installed in temperate region, therefore it is not possible to establish direct correlations between these results and expected changes in Tampamachoco Lagoon.

Although there are information about the physiological effects of salinity changes in the water, there is no available information about the effect of a change as big as the expected modification by the water cooling discharge of TPP.

FEATURES OF THE THERMAL DISCHARGE

When the ecological impact assessment was carried out, CFE considered to install four power units of 350 MW capacity each one. An open cooling system (water would pass through the condenser

and it would be immediately discharged) would be installed and water would be taken from the sea and discharged into the Tampamachoco Lagoon for avoiding cooling system suck warmer water. Water flow would be 58 m³/s and temperature increment of water would be around 8°C. Along the year, the temperature of water cooling discharge would oscillate between 29.4°C and 38.5°C. Salinity in the coast, near the TPP, varies between 25.4 ‰ and 33.8‰.

GENERAL CHARACTERISTICS OF TAMPAMACHOCO LAGOON

Tampamachoco Lagoon has an extension of 1500 ha. It can content about 20.5 x 10⁶ m³ of water and its average depth is 0.75 m, although there is a navigation channel where depth reach more than four meters. Along the year, the lagoon temperature oscillates between 21.5 and 30.7°C and salinity between 9.3 ‰ and 32.7 ‰. The natural salinity and temperature patterns of the lagoon are shown in figure 2 and 3. Shrimp and several species of fishes are caught in the Tampamachoco Lagoon although the oyster is the most important fishery. In 1985 the total fishery catch was 1054 ton and about 90% of this figure was the oyster catch.

METHODOLOGY

For the ecological impact assessment we collect bibliographic information about morphologic, thermal, salinity and hydrodynamic features of the lagoon (Contreras, 1983). In addition, temperature, salinity and streams were monitored during one year using a 15 points monitoring net in the lagoon (CFE, 1986). We obtained information about ecological requirements of Oyster (Pesca,-D6A, 1978). We use the expected effects on this specie, as indicator of the relevance of the biological impact of the salinity and thermal changes due to cooling water discharge of the Power Plant. Static bioassays were carried out for determining half lethal temperature for 96 hours exposure (LT) of Oyster and other two species (CFE, 1982). The bioassays were static and dissolved oxygen and pH were controlled and a control group was maintained during bioassay

period. Acclimation temperature was approximately annual average temperature of the lagoon. Finally, we compared the environmental conditions expected in the lagoon due to the water-cooling discharge with the ecological requirements and thermal tolerance of aquatic organisms, particularly oyster.

RESULTS

Salinity pattern

Figure 2 shows the salinity pattern of sea and Tampachoco Lagoon; sea salinity would correspond to salinity of thermal discharge from TPP, the salinity differences and magnitude of thermal discharge would cause a drastic modification of salinity in the lagoon. Natural daily salinity pattern of the Tampamachoco Lagoon and expected daily modified pattern by the cooling system discharge are shown in the figure 4. As we can see, the salinity pattern would be drastically modified by the discharge; nowadays salinity varies along the day according to tidal influence in the lagoon. These variations occur along the year, too; salinity of the lagoon increases during dry season and it decreases during rainy season because there is a greater flow of fresh water, particularly in Tuxpan River. However, if the water-cooling is discharged into the lagoon the salinity oscillations would be minimal and salinity concentration would be similar to the sea. Under these conditions Tampamachoco Lagoon would not be considered as estuarine system yet.

Temperature Pattern

In figure 5 is shown the daily thermal pattern of the lagoon during the warmer period of the year, and the modified thermal pattern in the area most affected by the water cooling discharge is shown in figure 6. The areas most affected would be about 4°C warmer than at present.

Salinity Pattern And Life Cycle Of Oyster

Figure 7 shows the annual pattern of salinity and fixation of oyster larvae. The larvae fixation rise sharply after a three months period of low salinity in the lagoon (less than 15‰). According to Ministry of Fishery (Pesca-DGA, 1978), this occurs because oyster spawning is favoured by low salinity. Then, if salinity pattern of Tampamachoco Lagoon is modified as we show in the figure 2, oyster population could be severely affected, and this fishery could disappear from this lagoon

Thermal Tolerance

Some repercussions on the oyster would occur because during the warmest period of the year this organisms would be exposed, at least in a part of the lagoon, to higher temperature than LT. As we can see in the figure 6 the water temperature would be higher than oyster LT during 6 hours along the day, and although it is not possible to asseverate the magnitude of the affectation, we would expect a physiological injury on the oyster.

DISCUSSION AND CONCLUSSIONS

The modification of temperature and salinity patterns by discharging cooling water into Tampamachoco Lagoon may cause severe repercussions on the oyster, and probably on most of the fisheries, because physical conditions of the lagoon would be drastically modified. We could not find any measure to assure oyster, and other fisheries, surviving in long term. Therefore, we determined that cooling water discharge into the lagoon should be avoided for assuring fisheries conservation in Tampamachoco Lagoon. This recommendation guaranteed fisheries existence in Tampamachoco Lagoon.

This recommendation involved modifying the design of the water cooling system of TPP; water should be diverted to another place. Sea was the only water body where cooling water could be discharged. Although, we do not have elements for a detailed ecological assessment of discharging into the sea, there are several important aspects for determining that ecological impact would be lower on the marine ecosystem than on Tampamachoco Lagoon. These aspects are: i) Salinity of cooling water would be similar to sea salinity; ii) waves and streams favour heat diffusion and therefore thermal field generated by the discharge would be shorter than in the lagoon iii) ecological relevance of coastal ecosystem is lower than lagoon ecosystem iv) Fisheries in the lagoon are more relevant than in the coast; and v) sea is an unlimited water body.

The design changes of cooling system of TPP implied additional investments, operative costs and technical problems. It was necessary to construct a 1 km long channel for returning water to sea and water pumps had to be changed. It is highly gratifying that, despite the economic cost, these changes proposed by us, concerning the original design of the Power Plant were accomplished.

However, we can not avoid in the new design that, because of predominant marine streams during part of the year move the water discharged towards the intake channel, warmer water is incorporated to the cooling system and efficiency of this system is not the optimum.

These technical and economical implications could be avoided, or at least reduced, if the environmental impact analyses were developed in earlier stages of this project. For this reason we strongly recommend that environmental impact studies must be carried out at the beginning of future Projects, for determining the best option (location, cooling system, fuel, etc.) for developing a new project, because technical or economical advantages of a site or a design project can be nullified by their environmental repercussions.

Bibliography

Alm, A. 1991. Washington watch: New directions for EPA. *BioScience* 41:451

Cole, L.C. 1971. Thermal Pollution. In Detwyler, T.R Man's Impact on Environment, 1st Edition. McGraw Hill Inc.

CFE 1982. Estudio de la calidad fisico-química, microbiológica y biológica del agua para la localización de las obras de toma y descarga de la nueva planta termoeléctrica en Tuxpan, Ver.

CFE 1985. Estudio de protección al ambiente y a la planta termoeléctrica Tuxpan, Sitio Tampamachoco, Ver.

Contreras F. 1983. Variaciones en la hidrología y concentración de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpan Tampamachoco. Ver. México Biótica, Vol. 8 No. 2 1983.

Greenwood, P.J. and T Bennett (1981) Some effects of temperature-salinity combinations on the early development of the sea urchin *Parechinus angulosus* (Leske). Fertilization. Journal of experimental marine Biology and Ecology

Koszasa, E. And M. Anraku, 1981. The effects of heated effluents on the production of marine plankton. Bulletin of the Plankton Society of Japan. 28 (1) 25-32.

Lasker, R. and K. Sherman, 1981. Composition, distribution, and seasonality of ichthyoplankton populations near an electricity generating station in South San Diego Bay, California. Rapports et process-verbaux des reunions conseil international pour l'exploration de la mer 178 – 112-114.

Nichols, S.J.1981. Effect of thermal effluents on Oligochaetes in Keowee. Hydrobiologia 79 (2) 19-

Olmsted, L.L. & Bolin J.W. 1996. Aquatic biodiversity and the electric utility industry. *Environmental Management* Vol. 20 (5) 805-814.

Verlaque, M. G. Giraud, C.F. Boudouresque, 1981. Le phytobenthos de la zone de decollement de la tache thermique d'une centrale elctrique mediterraneenne. *Botánica Maruna*, 1981, 24(2) 69 – 87.

Wilson, R & W. J. Jones, 1974. *Energy, Ecology and Environment*. 1st Edition Academic Press

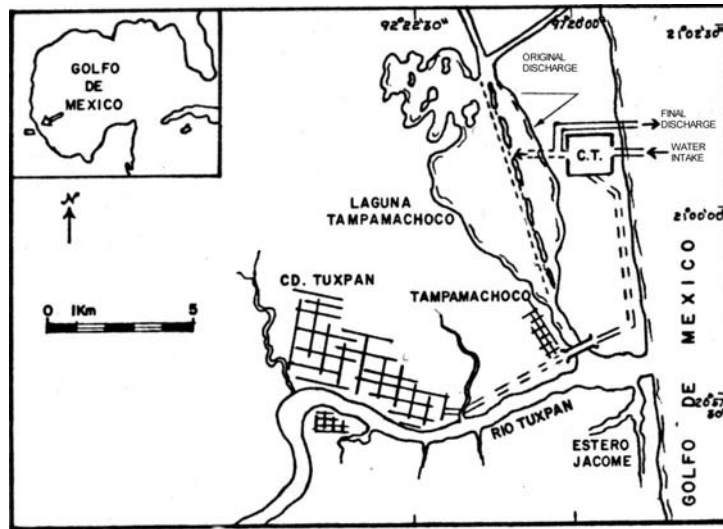


Figure 1 Location of Tuxpan Power Plant between Golfo de Mexico and Tampamachoco Lagoon

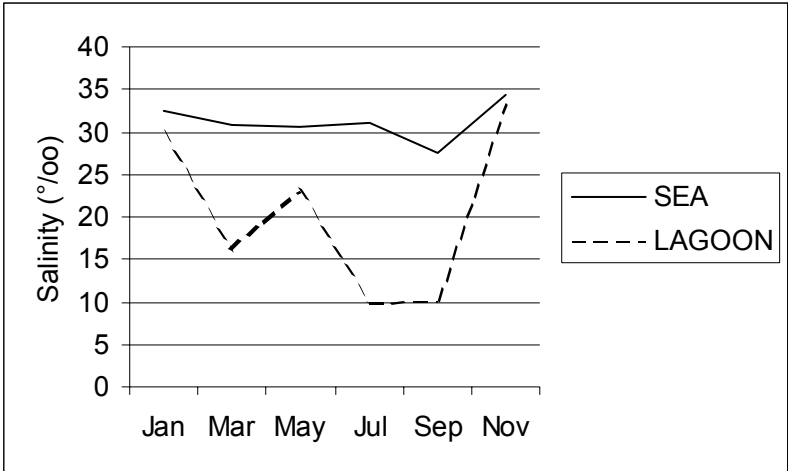


Figure 2 Salinity Pattern in the sea and Tampamachoco Lagoon

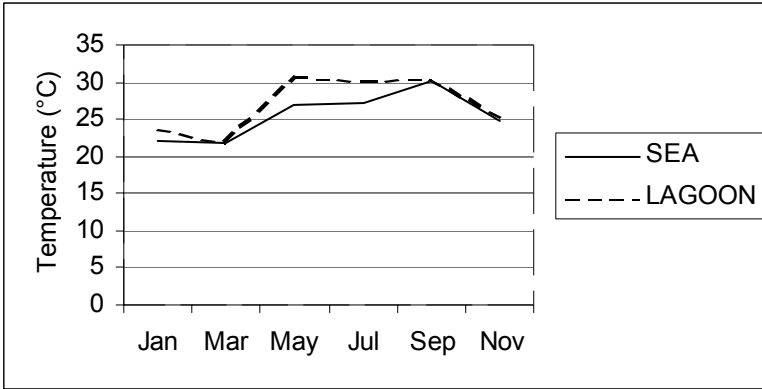


Figure 3 Thermal pattern of sea and Tampamachoco Lagoon

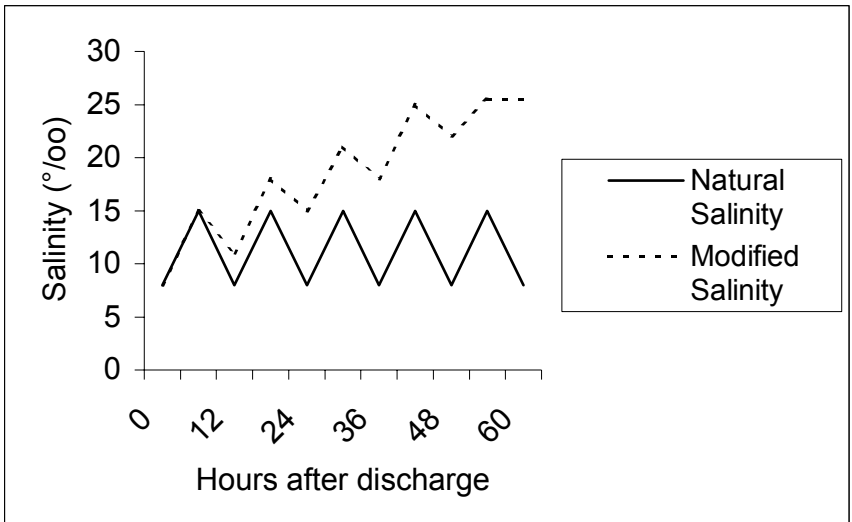


Figure 4 Natural and modified daily salinity pattern of the Tampamachoco Lagoon

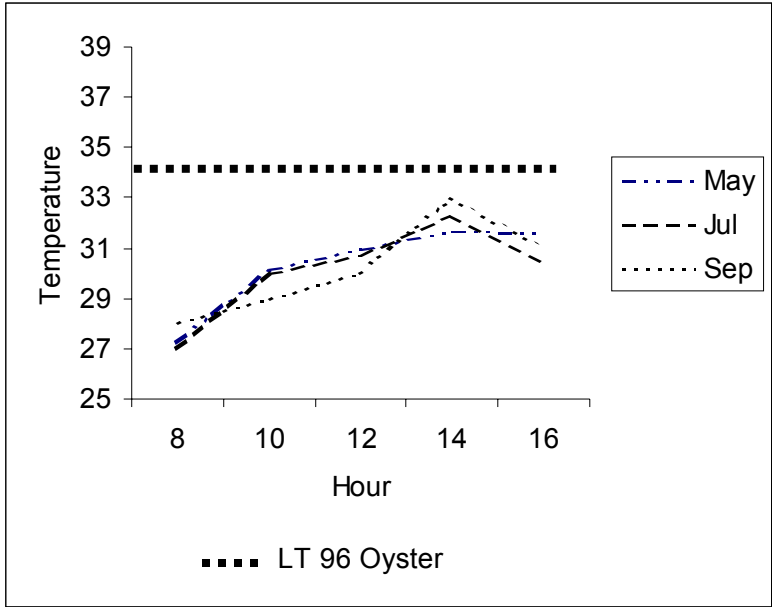


Figure 5 Natural daily thermal pattern in Tampachoco Lagoon compared with Half Lethal Temperature for 96 hours exposure of Oyster.

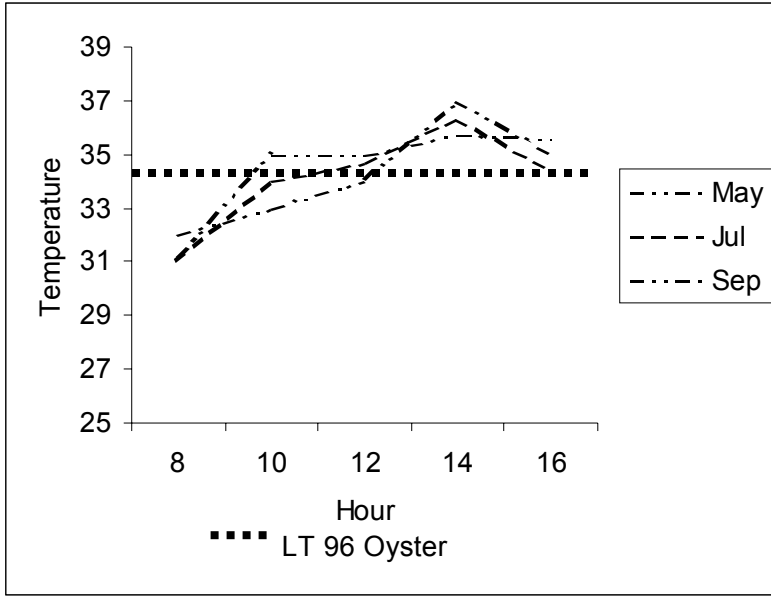


Figure 6 Modified daily thermal pattern in Tampachoco Lagoon compared with Half Lethal Temperatur for 96 hours exposure of Oyster.

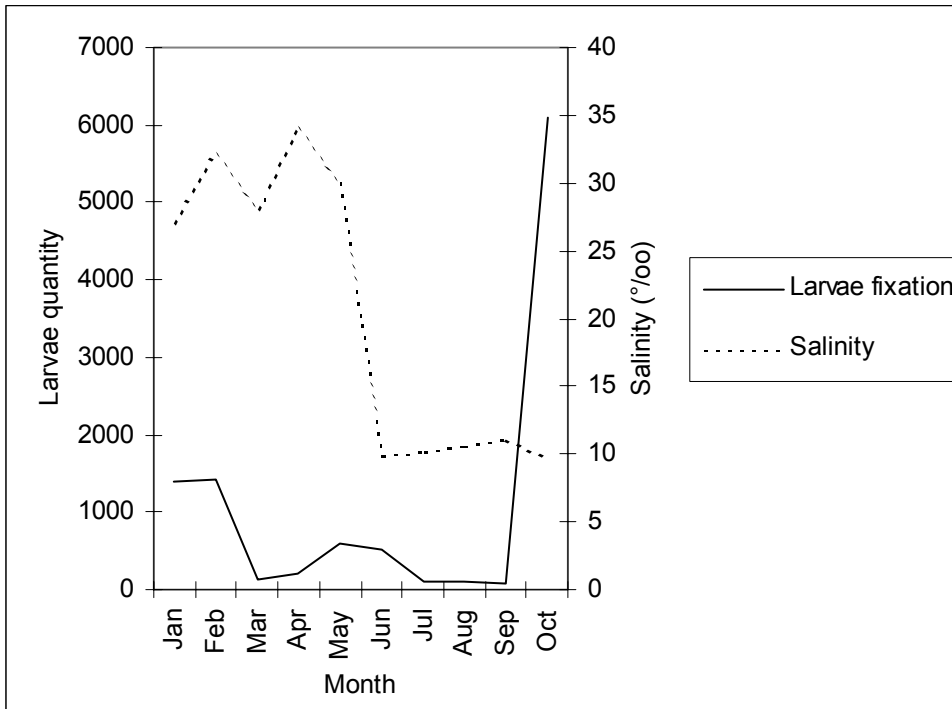


Figure 7 Correlation between salinity level and fixation of oyster larvae

QUANTITATIVE ASSESSMENT FOR SELECTING THE ROUTE FOR A GAS PIPELINE IN YUCATAN, MEXICO

Guillermo Zúñiga-Gutiérrez¹ and Alfredo Ortega-Rubio²

¹ Asesoría Ambiental de la Subdirección de Construcción. Comisión Federal de Electricidad. Río Mississippi piso 9, Mex. 02080 DF.

² Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Apartado Postal No. 128, La Paz, 23000, B.C.S Mexico.

Editor: Please send further communications and proofs to:

Alfredo Ortega-Rubio

Centro de Investigaciones Biológicas.

Apartado Postal No 128

La Paz, 23000, Baja California Sur

México

Phone (612) 123 84 26. Fax (112) 536 25

E-mail: aortega@cibnor.mx

Suggested Running Head:

Risk Assessment for Selecting a Gas Pipeline Route

ABSTRACT

A quantitative comparative assessment was used to decide the best route for constructing a gas pipeline in the state of Yucatan, Mexico. Two alternative routes were assessed. The focus of the analysis was to develop an integrated assessment that would help to minimize land degradation by economic development activities, taking into account the impact on physical and biological resources, and on human population. The ecological impact, the potential risk of an accident, and the cost for both alternatives were considered. The significance of the impact depends on the relative importance and quantity of components to be affected by the pipeline along both routes. In this work, a method for the ecological assessment of the alternative routes was used and an index was used for risk assessment considering the possibilities of pipeline damage by local people, the amount of agricultural activities, inflexion points, and topography along the route. The analysis indicated that the ecological impact, risk of accident, and cost are lower constructing the pipeline along the recommended route. Population density along the alternative route was higher than on the recommended one. The results of the analysis were submitted to the Mexican Environmental Ministry and the pipeline project was approved in 1997.

Keywords: Project alternatives; Quantitative Assessment; Pipeline; Land Conservation; Risk Assessment; Mexico.

INTRODUCTION

Land degradation caused by deforestation is one of the most important environmental issues in Mexico. Biodiversity should be preserved to ensure long term conservation of the land and ecosystems. Therefore, economic development must strive to minimize any potential effect on biological resources. A relevant issue for preventing or minimizing land degradation caused by new development projects is to assess the different options for the development, taking into consideration the environmental issues. To evaluate alternative locations for a project is often one of the most important options to achieve this objective. Environmental assessment during the site selection process can prevent or minimize land degradation caused by project construction. After the site for a development project has been selected, it is not possible to avoid this effect and one can only compensate for any adverse impacts for the vegetation or soil.

Selecting the site for a development project must consider different social and environmental aspects through an integrated analysis. Therefore, we need to use techniques for assessing the social and environmental concerns related to a particular project. The trajectory for constructing the section of the pipeline that would convey natural gas from Kantunil to the Valladolid Power Plant in the State of Yucatan, Mexico was selected taking into consideration vegetation and social factors to reduce impacts on society and the environment. In this study, an integrated analysis was prepared for assessing alternative routes for the Kantunil – Valladolid pipeline and determining the best option for constructing it. This case report is one of the first environmental evaluations of alternative routes for a major development in Mexico.

Evaluation of project alternatives is one of the most important issues of any Environmental Impact Assessment (EIA) because it maximizes the benefits and minimizes the environmental costs of a project. Magness (1984) asserts that “alternatives are the heart of EIA” because they are key elements in the management of uncertainty. Because standards are usually not available for many environmental variables and impacts, the reduction of uncertainty can be found only by comparison of alternatives (De Jongh 1988). Andrews (1988) established that if the assessment is designed to compare alternative courses of action, it provides, in effect, the framework for a decision more than a mere justification of a proposal. In several countries, environmental impact statements for a project must include the main alternatives that have been assessed (Wathern 1988). However, this is not true for Mexico.

Environmentally, the use of natural gas in power stations is better than fuel oil, because the SO₂ and particle emissions generated by gas combustion are much lower than those generated by burning fuel oil. From the beginning, environmental and social criteria were considered for selecting the pipeline route, placing most of it alongside other linear infrastructures such as transmission lines, roads, or other pipes to avoid environmental effects on unmodified areas, and trying not to cross forests, habitats of endangered species, towns, and cities.

This study was done in 1996 with the financial support of the National Power Company and the collaboration of Corporación Mexicana en Investigación de Materiales (COMIMSA), a Mexican public institution. The analysis was submitted to the Ministry of Ecology in 1996, and the project was approved in 1997 (COMIMSA 1996).

LOCATION OF ALTERNATIVE ROUTES

The location of the alternative routes analyzed for pipeline construction (shown in figure 1) is in the State of Yucatan, Mexico, and extends from the town of Kantunil to the Valladolid Power Plant. The Original Route (OR) was located along Highway 180 and the end section across “natural areas”. Along this route there were a tropical forest, secondary tropical forest vegetation, grassland, and agricultural land. The Alternative Route (AR) was placed along an existing transmission line, which is parallel to the federal highway that connects Kantunil to Valladolid. Along this route the main vegetation types are grasslands, tropical forest, secondary vegetation of tropical forest, and agricultural land. The lengths of the OR and AR are about 72 and 101.9 km. The AR was suggested initially because it seemed an environmentally better option because it crossed more disturbed areas than the OR.

METHODOLOGY

Environmental Assessment

The magnitude of an environmental impact of the two pipeline trajectories depends on the relative importance and quantity of the potentially affected components along their routes. An important objective was to minimize the degradation of land that had already been preserved. For the ecological assessment of the alternative routes, the methodology of Yapp (Spellerberg 1992) was modified for determining the extent of damage along proposed pipelines routes. The different types of vegetation and habitats existing

along each route were identified. An interdisciplinary group assigned a “significance value” for each existing habitat along each route, taking into account their naturalness (conservation degree), which was estimated by considering their species richness and vegetation structure (strata quantity in the vegetation). An Ecological Relative Importance (ERI) value for each habitat was estimated by multiplying its significance value by the distance it covered. The ecological impact index (EII) for each route was obtained by adding all ERI values for each habitat or vegetation type.

$$ERI_i = \sum(HIV_i \cdot LCH_i)$$

where HIV_i is the significance value of habitat i and LCH_i is the length covered by habitat i .

$$EII_i = \sum ERI_i$$

where EII is the ecological impact index for route i

Ecologically, the pipeline route with the lower EII value was assumed to be the preferable route.

Risk Assessment

The method used for comparing the risk of an accident along each pipeline trajectory (because there was no statistical information available) took into account these criteria: a) the possibility of local people damaging the pipeline, intentionally or unintentionally, is greater when population density is higher, b) agricultural activities along the route increase the risk probability, c) the risk of an accident is greater when the pipeline is longer and there are more inflexion points, and d) the probability of an accident is greater when the topography undulates rather than is flat or almost flat.

Taking into account the preceding characteristics, the following equation was used to calculate an index of Comparative Risk of Accident (CRA):

$$CRA_n = LR_n + WRP_n + TR_n,$$

where LR_n is the risk associated with pipeline length and land use of alternative n , WRP_n is the risk associated with population density and number of towns along alternative n , and TR_n is the risk associated with topography of the terrain and inflexion points along alternative n . The quantities LR_n , WRP_n and TR_n are further defined as

$$LR_n = ((L_n/L_L)(1+LA_n/L_n))/2$$

where L_n is the length of the alternative n , L_L is the length of the longest alternative, LA_n is the length of the alternative n covered by agricultural land;

$$WRP_n = RP_n/RP_H$$

where RP_n is the risk associated with population density along alternative n and RP_H is the higher risk associated with population density considering both alternatives;

$$RP_n = (PD_n)(NT_n)$$

where PD_n is the population density along alternative n and NT_n is the number of towns along alternative n ;

$$TR_n = T_n/T_h$$

where TR_n is the risk associated with topography and inflexions points of alternative n and T_h is the higher risk associated with topography and inflexions points between both alternatives; and

$$T_n = (t_n)(IP_n),$$

where t_n is the predominant topography along alternative n (flat or almost flat = 1 ; slightly undulating = 2; undulating = 3), and IP_n is the number of inflexion points along alternative n . This index assumes length and land use have values for risk assessment similar to population density (including number of towns), topography, and inflexion points. Therefore the maximum value of each principal component of the index is equal to one. For other development projects to be developed under different environmental or social conditions, other components could be considered in this index (e.g. streams, land stability).

RESULTS

Environmental conditions

The Carso of Yucatan is the region where the alternative trajectories were assessed. This area is almost flat with cavities and holes produced by dissolution locally known as dolinas and cenotes; limestone is the predominant substrate. In this region there are no streams or rivers because of the high permeability of substrate. Along the original pipeline route, there are compact patches of medium semievergreen tropical forest covering 39% of the route. In these patches, the trees are up to 18 meters high, and 25% of them lose their leaves during the dry season. Typical species of this community are *Alseisis yucatanensis*, *Bursera simaruba*, *Crysophylla argentea*, *Lysiloma bahamensis*, *Lonchocarpus castilloi*, *Metopium brownie*, *Manilkara zapota*, and *Talisia olivaeiformis*. One hundred plant species were identified in this community; twelve of them are under legal protection (SEMARNAP 1994). Because of the disturbance produced by human activities, patches of secondary tropical forest vegetation were found

alongside the tropical forest patches, which were at different succession stages. All of them cover 22% of the route and the dominant species is *Leucaena leucocephala*. Fifteen species were identified in this association. Along this route grassland covered 2.89 km (4%), which was mainly distributed near the Valladolid Power Plant. The most common species in this community were *Rhynchelytrium rosae*, *Paspalum sparsum*, *P. mayanum*, *Aristida ternipes*, *Gouinia* sp., *Panicum variflorum*, *P. bartletii*, *Setaria yucatanana*, and *Andropogon yucatanus*. The main annual crops in the region are corn (*Zea mays*), “xpelon” bean (*Vigna unguiculata*), and pumpkin (*Cucurbita* sp.). Some perennial crops are oranges (*Citrus cinensis*) and agave (*Agave sisalana*). Along the OR route, 10.6 km was covered by agricultural land.

Along the AR route there were small areas of grassland, located near the Valladolid Power Plant, covering 8.4% of the route. *Rhynchelytrium roseum*, *Aristida ternipes*, *Gouinia* sp., *Paspalum sparsum*, *P. Mayanum*, *Panicum variflorum*, *P. Bartletii*, *Setaria yucatanana*, and *Adropogon yucatanus* are the species most common in this community. There were patches of secondary vegetation at different succession stages along 39% of the route. In most of these patches, *Leucaena leucocephala* was the dominant species and fifteen species were found in these associations. Crops of corn (*Zea mays*), “xpelon” bean (*Vigna unguiculata*), pumpkin (*Cucurbita* ssp.), watermelon (*Citrulus lanatus*), melon (*Cucumis melo*), orange (*Citrus sinensis*), and agave (*Agave sisalana*) covered areas smaller than one hectare.

Medium semievergreen tropical forest (MSTF) was found along 23.55 km (27%) of the alternative route. In this type of vegetation we found one hundred plant species. It is the habitat of several faunal species under legal protection. The predominant plant species in this forest were *Alseis yucatanensis*, *Busera simaruba*, *Cryosophylla argentea*, *Lysiloma bahamensis*, *Lonchocarpus catilloi*, *Metopium brownei*, *Manilkara zapota*, and *Talisia olivaeformis*.

Land use and vegetation types along both routes are shown schematically in the figure 2

Social Characteristics

The town nearest the OR was located about 3 km from this route and people living near this trajectory were fewer than 1000. Along the AR there were eight small villages, numbering about 16,000 persons. Location of the most important villages are shown schematically in the figure 2..

Ecological assessment

The types of habitats and length covered for each along the alternative pipeline pathways are shown in table 1. The most relevant habitat was the medium semievergreen tropical forest (MSTF). A secondary tropical forest (SV) was ranked in second place. Agricultural land was ranked in third place, and the grassland was placed fourth. The lowest ranked were the inhabited eroded areas.

Applying the EII formula to table 1 data, we found that EII value of the OR (604.75) was less than the value for the AR (655.05). This difference (7.6%) is because the AR is longer than the OR. Though the tropical forest (MSTF) covered greater length along the Original Route than along the Alternative Route, the second has a higher rate for EII because it is covered mostly by secondary tropical forest, which also is important for biodiversity conservation in the region.

Accident risk assessment

Along the OR route there is but one town, whereas the AR would cross near several little towns. There were about 16,000 people living near the AR route, with no more than 1,000 people along the OR.

There are some farming areas along the AR. The same are not found along the OR. In addition, five directional changes, for avoiding inhabited areas, are necessary along the AR and only one along the OR. Therefore, considering the CRA probability, the OR is a better route than the AR. The CRAs for both trajectories are shown in table 3.

Economic costs

The AR is about 21 km longer than the OR, therefore the AR would be at least 10 million dollars more expensive to construct than the OR.

RECOMMENDATION

The results of the assessment of the factors considered for comparing the pipeline analyzed routes are summarized in table 3. The original route is the best option for constructing the pipeline between Kantunil and the Valladolid Power Plant because i) the ecological impact of constructing the OR would be lower than along the AR, ii) the population density along the original route is lower than on the alternative route, iii) the probability of pipeline damage along the original route is lower than along the alternative route, and iv) construction cost for the original route is less than for the alternative route.

DISCUSSION

The methodology used in this work for comparing the alternative routes for a gas pipeline was simple. However, we used quantitative procedures that standardize the criteria to arrive at a decision. These methods integrate quality and quantity of resources that can be affected by location of the pipeline.

Impact assessment has a potential as a mechanism for integrating biodiversity concerns into decision-making processes (Bagri and Vorhies 1997). We think that it can also help to prevent land degradation. The EII method used in this work allows comparison of the significance of the impacts that can be caused by location alternatives of gas pipeline projects (and other linear projects), and therefore it helps to minimize the ecological impact of productive projects and could be a good tool for achieving sustainable development. A similar method for a quantitative biodiversity impact assessment was developed by Blümer, Kyläkorpi, and Rydgren (1999), which has been applied to hydropower stations in Sweden where biological information was scarce.

It would be desirable for future evaluations to define objective criteria for establishing a significance value of each habitat or type of vegetation (specific richness, ecosystem resilience, vegetal covering). However, we must consider that it will be necessary to develop more detailed field work and time and cost would increase.

Risk assessment is an important tool for making decisions because people do not like to support projects that can be perceived as risky. We consider that population density can be a good indicator for

potential social opposition to a project. In addition, because of the properties of gas, we should considerer human activities that can increase the Comparative Risk of Accident. For this agriculture was considered the activity that might affect the pipeline most severely. Topography and inflexion points are physical conditions that can affect pipeline security. All these risky conditions can be eliminated using appropriate design criteria.

The Mexican environmental authorities accepted the results of this assessment, and the pipeline under analysis was approved in 1997. The pipeline in the section between Kantunil and the Valladolid Power Plant was constructed along the original route, thus minimizing the possibilities of ecological degradation caused by this development.

CONCLUSIONS

Though the ecological assessment method used in this paper was developed for road-route evaluations, it can be used for assessing alternative routes for other different linear projects, as in this work.

Our proposed method to assess the CRA is original and could be useful not only for these kinds of pipeline projects, but also for other productive projects, which, if an accident happens, can significantly affect the environment. Moreover, our analysis determines for which route the ecological cost and the risk of accidents would be lower.

The methods used for assessing ecological impact and risk assessment supported the decision of the path used to construct the pipeline

Acknowledgements

This work was developed with the economic support of the Comisión Federal de Electricidad. We thank Dr. Ellis Glazier for editing the English-language text. We thank three anonymous reviewers for the time and effort devoted to improve an early version of this manuscript.

REFERENCES

- Andrews RN. 1988. Environmental impact assessment and risk assessment: learning from each other. In: Wathern P. (ed), Environment Impact Assessment, Theory and Practice. . pp: 38-46. Routledge, NY, USA
- Bagri A, and Vorhies F. 1997. Biodiversity impact assessment. Prepared as draft discussion paper for SBSTTA3. Montreal, Canada.1-5 September 1997. Available at <http://economics.iucn.org>.
- Blümer M, Kyläkorpi L, and Rydgren, B. 1999. Quantitative biodiversity impact assessment: introducing the biotope method. IAIA Annual meeting. Glasgow 15-19 June. Available at <http://economics.iucn.org>.
- COMIMSA, 1996. Manifestación de impacto ambiental del gasoducto Cd. Pemex – Mérida – Valladolid. Corporación Mexicana en Investigación en Materiales. 284 pp.
- De Jongh P. 1988. Uncertainty in EIA. In: Wathern P. (ed), Environment Impact Assessment, Theory and Practice. pp: 60-78. Routledge, NY, USA.
- INEGI, 1982. Mapa de uso del suelo y vegetación. 18 de Marzo. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI, 1982. Carta edafológica. 18 de Marzo. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- Magness TH. 1984. NEPA, the regulations of the US Council on Environmental Quality and the heart of EIA. Paper to the Dutch-US Seminar on Environmental Management, Washington DC, April 1984.
- SEMARNAP, 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestre terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. DOF, México, D.F., 488 (10):2-60.
- Spellerberg IF. 1992. Evaluation and assessment for conservation. Chapman and Hall. First Edition. London U.K.
- Wathern P. 1988. The EIA directive of the European Community. In: Wathern P. (ed), Environment Impact Assessment, Theory and Practice. pp: 120-134. Routledge, NY, USA.

Table 1. Ecological assessment of original and alternative routes – Section Kantunil - Valladolid

Types of vegetation or land use	Significance value	ORIGINAL ROUTE		ALTERNATIVE ROUTE	
		Length (km)	ERI	Length (km)	ERI
Tropical forest	10.0	42.70	427.00	28.15	281.50
Secondary tropical forest	7.5	15.70	117.75	41.30	309.75
Agricultural land	5.0	10.60	53.00	9.48	47.40
Grassland	2.5	2.80	7.00	8.05	16.40
Inhabited	0.0	0.00	0.00	15.00	0.00
TOTAL (EII)		71.80	604.75	101.90	655.05
DIFFERENCE		-----		50.3 (7.6%)	

Table 2. Accident risk assessment of the original and alternative routes from 18 de Marzo – Santa María Xbacab

Factors	Original route	Alternative route
Risk associated with pipe length	0.400	0.546
Risk associated with population	0.008	1.000
Risk associated with topography and inflexion points	0.660	1.000
TOTAL	1.068	2.546

Table 3. Results of comparative evaluation of original and alternative routes of Section Kantunil - Valladolid

Factor	OR	AR
<i>ERI</i>	604.75	675.05
<i>RKA</i>	1.068	2.546
<i>Economic Cost</i>	\$ 46.7 Million Dollars	\$ 56.4 Million Dollars

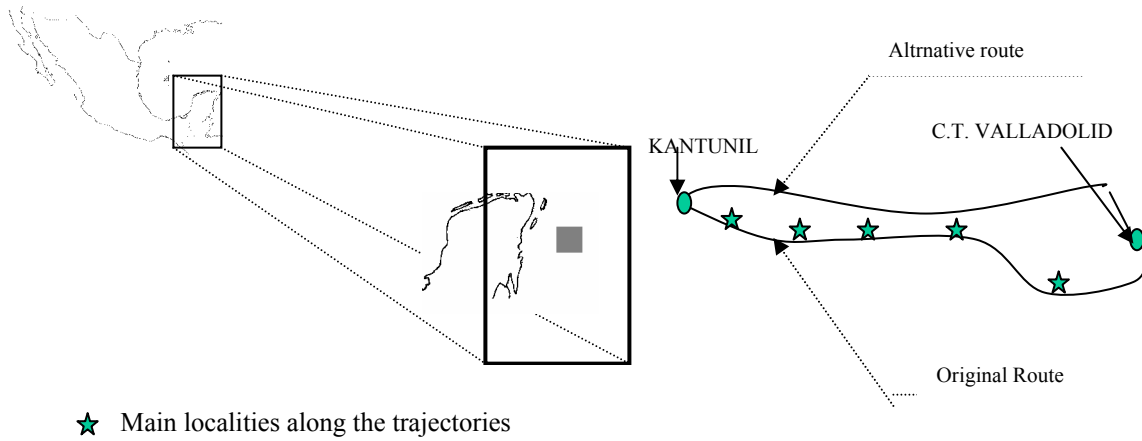


Figure 1 Location of alternative routes for gas pipeline

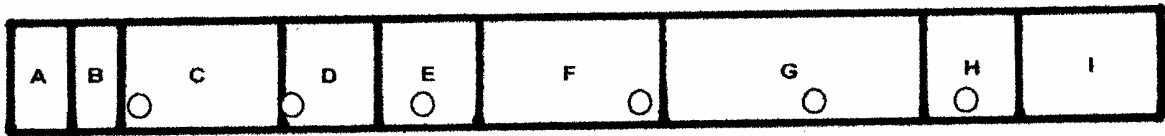
Figure 2 Vegetation and land use along original and alternative routes

ORIGINAL ROUTE



- A = Tropical Forest + Agricultural Land
- B = Tropical Forest + Secondary tropical forest
- C = Agricultural land + grassland

ALTERNATIVE ROUTE



- A = Grassland + secondary tropical forest
- B = Tropical forest + secondary tropical forest
- E = Secondary tropical forest + agricultural land + grassland
- G = Secondary tropical forest + tropical forest + agricultural land
- I = Secondary tropical forest + grassland + tropical forest
- Main towns along the route (More than 500 inhabitants)
- B = Grassland + agricultural land
- D = Tropical forest + agricultural land
- F = Tropical forest + secondary tropical forest
- H = Grassland + tropical forest + secondary tropical forest

7. DISCUSIÓN

Como se indica en el capítulo 3, en la mayoría de las manifestaciones de impacto ambiental de los proyectos de generación y transmisión de energía la evaluación de los efectos sobre la biodiversidad no ha sido realizada de manera objetiva. La excepción son los trabajos para estimar el efecto de la descarga del agua de los sistemas de enfriamiento de las centrales termoeléctricas, ya que a pesar de que no hay un procedimiento claro para determinar la significancia del impacto esperado por esta acción, la evaluación se basa en el trabajo experimental para evaluar la tolerancia de los organismos marinos a los incrementos de temperatura y en la simulación de los campos térmicos que se espera genere en el cuerpo receptor la descarga de agua de enfriamiento. Adicionalmente, la caracterización de los componentes bióticos en el área de influencia de los proyectos no es del todo satisfactoria, razón por la cual es difícil medir o cuantificar los efectos de las centrales que actualmente están operando o en proceso de construcción.

Antes de iniciar la discusión es conveniente puntualizar los aspectos de la evaluación del impacto ecológico que deben ser mejorados para que realmente contribuya a la conservación de la biodiversidad y contribuya a alcanzar un desarrollo sustentable (Morris, 1995; Trewweek, 1996, Trewweek et al., 1998; Le Maitre et al., 1998):

- Dar mayor sustento científico a las predicciones de impacto ecológico: llevar el análisis más allá de un proceso meramente descriptivo de las interacciones del proyecto con el ambiente y convertirlo fundamentalmente en un ejercicio predictivo.
- Proporcionar la información oportuna y suficiente para la toma de decisiones en las diferentes etapas del proyecto, principalmente en las iniciales; transformar la evaluación de impacto ecológico en una herramienta proactiva, que analice las alternativas para el desarrollo de los proyectos y contribuya a la selección de la más adecuada.
- Establecer los programas de monitoreo para retroalimentar el proceso constructivo, los procedimientos operativos y las predicciones de impacto por futuros proyectos.
- Mejorar las guías para la elaboración de los estudios de impacto, incluyendo los aspectos técnicos y metodológicos mínimos que deben ser atendidos durante la elaboración de las evaluaciones de impacto.

Las principales limitaciones que se deben considerar para avanzar en la evaluación del impacto ecológico son:

- La carencia de información básica sobre la abundancia y la distribución de las especies y la falta de conocimiento de la estructura y función de los ecosistemas.
- Las restricciones en tiempo y presupuesto. Solamente en la medida que se tengan evidencias claras de potenciales efectos de relevancia extraordinaria es factible obtener mayor tiempo y

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

recursos para su análisis. Por esta razón, es necesario delimitar con precisión la información que se requiere para cada una de las etapas del proyecto (para cada toma de decisiones).

Las metodologías y las técnicas para la evaluación de impacto sobre los componentes bióticos deben tener sustento científico para darle solidez a los análisis y, por lo tanto, a las recomendaciones o propuestas para el desarrollo de los proyectos. En otras palabras, es necesario plantear procedimientos que permitan analizar objetivamente las repercusiones de las obras o las actividades humanas sobre los recursos bióticos, pero que también proporcionen los elementos para la toma de las decisiones sobre diferentes aspectos medulares del proyecto como la ubicación, el diseño y el proceso constructivo, entre otros (Mason, et al. 1999; Andrews, 1998; Beanlands, 1992; Magness, 1984).

Sin embargo, comúnmente el proceso de evaluación de impacto ambiental ha sido visto por los organismos promoventes simplemente como un trámite para obtener una autorización adicional para poder ejecutar sus proyectos. Con esta visión, las evaluaciones de impacto se han orientado a justificar la ejecución de los proyectos más que a la búsqueda de propuestas para que su desarrollo sea lo más armónico posible con el ambiente. Con este enfoque el contenido científico de las evaluaciones nunca será el deseable. Aunque esta visión empieza a cambiar en los últimos tiempos, aún se requiere de mucho trabajo para que las evaluaciones de impacto sean, en todo su potencial, un instrumento para la protección de nuestros recursos naturales.

En este contexto, en este trabajo se presentan algunas propuestas que pueden ser utilizadas en las evaluaciones del impacto ecológico de proyectos de generación o de transmisión de energía, con las cuales se contribuye a darle mayor sustento científico a la evaluación y que los resultados de la misma permita realmente disminuir los impactos que se pudieran presentar sobre los componentes bióticos de los sistemas y contribuir a su preservación. A partir de los resultados de los trabajos experimentales para determinar la tolerancia de los organismos marinos al incremento de la temperatura desarrollados como parte de la evaluación del impacto de las centrales termoeléctricas a ubicarse en la costa del Pacífico Mexicano, se desarrollaron modelos matemáticos que permiten prever la tolerancia de diferentes grupos zoológicos. También se ha desarrollado y aplicado un método que permite hacer un análisis adecuado del impacto de las descargas de agua de enfriamiento (y de muchas otras actividades humanas), el cual está basado en la comparación de los requerimientos ambientales o ecológicos y la tolerancia al incremento de la temperatura de los organismos vivos contra las condiciones que se generarán en su ambiente como consecuencia de la descarga térmica de una central termoeléctrica. Finalmente, se presenta un procedimiento para comparar cuantitativamente las alternativas de ubicación de proyectos lineales, aunque es necesario darle mayor sustento a los valores de importancia que se asignan a los hábitats o ecosistemas que se atraviesan (Ver sección 7.2).

Los elementos presentados en los capítulos anteriores, y resumidos en el párrafo precedente, no son todos los necesarios para evaluar objetivamente todos los posibles impactos ecológicos de los

proyectos de generación y transmisión de energía; solamente son los primeros pasos hacia este objetivo. A continuación, se discuten algunos elementos que podrán mejorar los futuros estudios de impacto ambiental.

7.1 La evaluación de las descargas de agua de enfriamiento

En casi todos los estudios de impacto ambiental de las centrales termoeléctricas que tendrán un sistema de agua de enfriamiento abierto y, por lo tanto, con la descarga de esta agua directamente hacia un cuerpo receptor, se ha evaluado el efecto de la temperatura sobre los organismos acuáticos utilizando bioensayos para determinar la temperatura letal media de los organismos, comúnmente para un tiempo de exposición de 96 horas (Ver capítulo 4). Se ha observado que la temperatura letal media de los organismos acuáticos es más alta si la temperatura ambiente del cuerpo de agua donde habitan es mayor. Sin embargo, también se puede ver que el incremento de temperatura que toleran los organismos decrece conforme la temperatura natural es mayor. Desde el punto de vista de la evaluación del potencial impacto ecológico, lo relevante de estos modelos es que muestran una correlación estadísticamente significativa entre la temperatura máxima del cuerpo receptor y la temperatura letal media a 96 horas exposición de los organismos que habitan en gran parte de la costa del Pacífico Mexicano, siendo el primer paso hacia una herramienta predictiva, y los cuales pueden ser un elemento relevante para realizar las evaluaciones objetivas del impacto sobre los organismos vivos (Morris, 1995).

Actualmente, debido a las limitaciones de tiempo y costo para el desarrollo del análisis del impacto de las descargas de agua de enfriamiento, la temperatura letal media solo se determina a 3 o 4 especies acuáticas, un número pequeño en comparación con el total de las especies que pueden habitar en el área de influencia de la descarga. Por esta razón siempre existe incertidumbre en el uso de las temperaturas letales medias para determinar el potencial efecto de estas descargas. La determinación de la correlación entre la temperatura letal media (y por extensión del incremento de temperatura letal medio) con la temperatura máxima del ambiente donde viven los organismos permite contar con una herramienta, los modelos empíricos desarrollados en el capítulo 4, para darle mayor certidumbre a los valores de la temperatura letal media (o incremento) que pueden presentar los diferentes grupos de organismos vivos que se encuentren en las inmediaciones de la central y por lo tanto darle mayor fortaleza a la evaluación del impacto sobre los organismos marinos en la Costa del Pacífico Mexicano.

Con el desarrollo y la aplicación de estos modelos empíricos no se plantea eliminar la ejecución de los bioensayos en cada sitio donde se desarrollará una central costera con sistema de enfriamiento abierto, ya que, como se plantea en el capítulo 4, aún es necesario recabar un mayor número de datos para darle mayor fortaleza a los modelos. Lo que se propone es que a la predicción

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

de impacto en cada sitio se incorporen los resultados de los bioensayos para construir nuevamente el modelo y los resultados que arrojen sean los que se empleen como indicadores del impacto ecológico.

Como ya se comenta en el capítulo 4, aunque los organismos probados en general toleran temperaturas más altas conforme es mayor la temperatura natural de la zona donde habitan, los que provienen de áreas más cálidas toleran menores incrementos térmicos, con independencia de la temperatura de aclimatación a la que son mantenidos antes del desarrollo de los bioensayos, (aunque en todos los casos las temperaturas de aclimatación eran cercanas a las temperaturas medias o medias máximas que se observan en los ambientes donde fueron colectados), lo cual sugiere que la tolerancia a la temperatura pudiera estar determinada genéticamente. Morritt e Ingólfsson (2003) determinaron que al menos para una población de un anfípodo (*Orchestia gammarellus*) que crecía en aguas termales (22°C) era mayor la tolerancia térmica que la de las poblaciones provenientes de aguas no termales (11°C), pero el incremento de temperatura (con respecto a las condiciones naturales del cuerpo de agua donde viven) que pueden tolerar es mayor para las poblaciones que provienen de aguas no termales. Sin embargo, en otro caso, al evaluar la tolerancia térmica de dos especies de cangrejo aclimatados a 8 y 22°C, se determinó que los individuos aclimatados a la temperatura mayor toleraban también temperaturas más altas (Cuculescu et al., 1998).

El efecto que puede tener el incremento de temperatura en los cuerpos de agua sobre los organismos que en ellos habitan no se limita a incrementar la mortalidad de los organismos adultos o juveniles. Otros efectos que se han observado en diferentes áreas afectadas por descargas térmicas son: i) bajo ciertas condiciones algunos peces se concentran en la zona de influencia de la descarga térmica de las centrales termoeléctricas y en otras circunstancias alejarse de ella; ii) la descarga de calor afecta su metabolismo y crecimiento (Pawson y Eaton, 1999); iii) en Noruega se observó que una especie de pez (*Perca fluviatilis*) incrementaba su abundancia en el área afectada por la descarga, pero la proporción de individuos de mayor talla disminuyó, el reclutamiento se incrementó pero la mortalidad de adultos era mayor, aparentemente por una maduración sexual muy temprana, lo que no les permitía sostener el crecimiento gonadal en las altas temperaturas invernales que causaba la descarga térmica; durante el desove la mortalidad de los peces era aún mayor, aunque los sobrevivientes retrasaban el siguiente desove por uno o más años y reducían su fecundidad, lo que ocasionaba una mejoría en las condiciones de las percas grandes; también se observó una modificación del comportamiento reproductivo hacia individuos más jóvenes (Sanstrom, et al., 1995). iv) La elevación de temperatura puede modificar el inicio y la duración del periodo reproductivo de los peces, pero también reducir la sobrevivencia de los huevos (Sanstrom, et al. 1997). Por otro lado, Lardicci et al. (1999), en el Golfo de de Follonica (Mediterráneo Occidental), no encontraron diferencias significativas entre la estructura y distribución de la comunidad bentónica dentro de la zona afectada por la descarga de agua de enfriamiento de una planta termoeléctrica y la estructura y distribución observada en áreas aledañas.

Por lo anterior, los modelos desarrollados en el capítulo 4 para predecir la temperatura letal media de los organismos marinos no son suficientes para determinar todos los impactos sobre los

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

componentes bióticos de los ecosistemas bajo la influencia de las descargas de centrales termoeléctricas. Así, aunque los modelos son una herramienta objetiva, tan solo puede ser utilizada como un indicador de la intensidad de los cambios esperados; pero para evaluar la significancia del impacto es necesario conocer los ambientes o hábitats existentes en las zonas que serán influenciadas por la descarga para determinar su importancia biótica. Entre las características más relevantes están si se trata de una zona de reproducción, refugio, alimentación, o si es una zona de alta diversidad o de ambientes únicos o relevantes (como podrían ser los arrecifes), así como la extensión o porcentaje de los mismos que podrían ser modificados por la actividad de la central (para esto se requiere una simulación del campo térmico esperado).

Para aplicar los modelos presentados en el capítulo 4 en las futuras evaluaciones de impacto de los proyectos con una menor incertidumbre, es fundamental que se validen mediante programas de monitoreo en las zonas de influencia de las descargas térmicas. Con los programas de monitoreo también se debe tratar de identificar posibles correlaciones con los valores de las temperaturas letales medias de los diferentes organismos con condiciones o características de las poblaciones o comunidades bióticas en las zonas afectadas por la descarga, para que de esta forma las TLM puedan ser usadas como indicadores más precisos de impacto. Otro aspecto que se debe explorar con los programas de monitoreo es si se presenta alguna correlación entre las condiciones bióticas en el área afectada por la descarga y las curvas de respuesta de los organismos probados a los diferentes incrementos de temperatura. En la sección 7.6 se discute la relevancia de la aplicación de los programas de monitoreo.

En el futuro, durante la ejecución de los bioensayos también se deben determinar los efectos subletales del incremento de la temperatura sobre los organismos acuáticos, los cuales ayudarían a identificar posibles repercusiones sobre aspectos como la productividad biológica o pesquera, el crecimiento o la maduración, elementos que permitirían una valoración más precisa de las posibles repercusiones de las descargas térmicas.

Otro elemento destacable es la conveniencia de retomar en las evaluaciones de impacto, y no sólo de las descargas de agua de enfriamiento, la información sobre la biología o los requerimientos ambientales de las especies que existen en las zonas que pueden ser afectadas por las acciones o las actividades humanas (Ver capítulo 5), ya que en muchas ocasiones esta información es posible contrastarla con las condiciones ambientales que se pueden generar por la ejecución de los proyectos de desarrollo y, por lo tanto, identificar los posibles impactos y, en algunas ocasiones, evaluar su significancia (Trewek, 1996; SEMARNAT, 2002). Estos elementos prácticamente no son analizados en las manifestaciones de los proyectos del sector eléctrico en México.

El uso de especies indicadoras del efecto potencial de las actividades a desarrollar es otro aspecto que se debe considerar en las evaluaciones de impacto (y de nuevo no solo para determinar el efecto de la temperatura en organismos acuáticos), a través de las cuales podemos inferir las posibles repercusiones de los cambios ambientales ocasionados por la construcción y operación de los

proyectos de desarrollo (Morris, 1995). La selección de estas especies se debe realizar considerando aspectos como su importancia dentro del funcionamiento del ecosistema, su abundancia, así como la sensibilidad y la vulnerabilidad de sus poblaciones a los cambios, pero también algunos aspectos antropocéntricos como el valor económico o cultural de los organismos. Un caso importante en este sentido fue el uso del ostión como un indicador del impacto ecológico esperado en la Laguna de Tampamachoco por la descarga térmica de la CT Adolfo López Mateos. Sin embargo, considerando la baja disponibilidad de información sobre la biología y la ecología de las especies o poblaciones, en un sentido práctico en algunos casos se puede usar como indicador cualquier especie de la que se disponga de información, aunque la evaluación presentaría mayor incertidumbre y por lo tanto se debería manejar con mayor cuidado.

En síntesis, los modelos desarrollados en el capítulo 4 permiten tener un indicador más sólido para estimar la posible afectación a la biodiversidad por las descargas térmicas en la costa del Pacífico Mexicano. Sin embargo, para que sean una verdadera herramienta para la evaluación de impacto es necesario validarlos y correlacionar las TLM estimadas con los cambios ocurridos en las comunidades bióticas. Adicionalmente, para darle mayor solidez a las predicciones de impacto, es recomendable se incorpore más información sobre los requerimientos ambientales o ecológicos y la biología de los organismos. Es conveniente seleccionar especies que se puedan usar como indicadoras del impacto y de ellas se recabe o genere la información pertinente sobre su biología o ecología.

7.2 El impacto en los ecosistemas terrestres y el análisis de alternativas

Como queda claro en el capítulo 3, en las manifestaciones de impacto ambiental del sector eléctrico no existen elementos que permitan realizar un pronóstico objetivo, con excepción de la eliminación de hábitats que implica la ocupación de los terrenos para el desarrollo de los obras, los cambios que ocasionan en los ecosistemas terrestres y sus componentes bióticos el desarrollo de los proyectos de generación y transmisión. Esto en parte se debe a que se desconoce la respuesta de los componentes bióticos de los ecosistemas que se presentan aledaños a las zonas donde se construyen las obras. Esto se podrá subsanar con programas de monitoreo y trabajo experimental, pero en primera instancia se deben desarrollar mejores caracterizaciones del área de influencia de los proyectos (ver inciso 7.6).

Si bien al realizar una evaluación de impacto ambiental es importante determinar el posible efecto que se puede tener sobre las poblaciones bióticas (en especial sobre las que pueden ser relevantes ecológica o económicamente), es a nivel del hábitat, donde, en términos prácticos, se puede presentar una evaluación objetiva y cuantitativa del impacto sobre los componentes bióticos. Los hábitats se pueden delimitar geográficamente (aunque a veces los límites pueden ser un tanto arbitrarios) y determinar la magnitud, al menos en términos espaciales, del impacto..

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Adicionalmente, en muchos casos determinar la abundancia y la distribución de las poblaciones, en especial de la fauna, puede demandar tiempos y costos elevados, y en la mayor parte de las veces el mejor indicador de lo que puede suceder con alguna de ellas es determinar los potenciales cambios sobre los hábitats donde se desarrollan. Considerando los hábitats es posible estimar una magnitud o intensidad impacto considerando la superficie o porcentaje del hábitat que será afectado, la intensidad de la afectación, la ubicación espacial de la afectación (marginal, central, etc) y por lo tanto si hay fragmentación o aislamiento de áreas, entre otros elementos. Geneletti (2003) realizó la evaluación de impacto comparada de trayectorias alternativas para la construcción de carreteras considerando la afectación directa sobre los ecosistemas que atravesarían cada una de ellas. El efecto sobre la poblaciones (en especial de aquellas protegidas por la ley o de relevancia económica o ecológica), se puede estimar considerando la magnitud de la afectación sobre los hábitats.

Lo anterior no descarta la posibilidad analizar el efecto sobre una especie en particular (sobre todo de las protegidas legalmente), pero normalmente se debe usar la información como indicadora del potencial impacto sobre los hábitats. Possingham et al. (2002) indican, al analizar el uso de los listados de especies protegidas como herramienta para evaluar el impacto ecológico de un proyecto, ha llevado que proyectos con bajo impacto sobre la biodiversidad pero en áreas donde hay poblaciones de especies protegidas sean cancelados y por el contrario, proyectos que afectan de manera relevante poblaciones o comunidades de especies no protegidas son autorizados. Si además consideramos que la principal amenaza sobre la biodiversidad es la pérdida de los ecosistemas o los hábitats (Geneletti, 2003), la conclusión lógica es que la evaluación de impacto se debe orientar fundamentalmente a la evaluación del efecto sobre los hábitats y encontrar las alternativas para su conservación.

Sin embargo, como lo plantean Possingham et al. (2002), en la legislación ambiental solamente está establecida la protección de especies que se consideran amenazadas o en peligro de extinción (D.O.F. 2002), y en México solamente las vegetaciones de humedales y el bosque mesófilo tienen alguna protección legal (D.O.F. 2003 y 1998). Esta situación ha llevado que en la mayoría de las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de generación o transmisión de energía, se pondere excesivamente la presencia de especies bajo estatus de protección. Esto podría ser superado si en la legislación en la materia se precisa que el aspecto medular (al menos para la mayoría de especies bajo estatus de protección) de la conservación de la biodiversidad es asegurar la sobrevivencia de los hábitats.

Los impactos directos sobre los ecosistemas terrestres por la ejecución de las obras son inevitables, además de que, en la mayoría de los casos, irreversibles debido a lo profundo de las modificaciones causadas en el entorno. De acuerdo con lo que plantean Magness (1984) y Andrews (1988), la comparación de alternativas es una de las formas de acercarse a una evaluación objetiva del impacto y en el caso de las afectaciones a los ecosistemas terrestres es posible realizar esa comparación mediante la determinación de la relevancia o la importancia biótica de los diferentes hábitats y la superficie que podrá ser afectada de cada uno de los hábitats por cada alternativa para el

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

desarrollo de la obra. Esta comparación se puede realizar aplicando el procedimiento que se utilizó para analizar las trayectorias alternativas de un gasoducto que se presenta en el capítulo 6. Con este procedimiento no se precisa la magnitud y la significancia de todos los impactos (sobre todo los indirectos), pero permite tener un valor relativo de las posibles repercusiones de cada alternativa. Con estos elementos es posible proponer la(s) opción(es) que represente(n) la afectación menos significativa de los componentes bióticos. Es conveniente puntualizar que, para alcanzar un desarrollo sustentable, es necesario encontrar la alternativa que optimice los aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales; por lo anterior, no es posible pensar que la concepción y diseño de los proyectos se desarrolle considerando exclusivamente el sitio y las condiciones en que se presentaría el menor impacto ambiental (ver capítulo 6). El procedimiento desarrollado proporciona elementos que pueden ser utilizados para la toma de decisiones sobre la mejor forma de llevar a cabo la construcción de un proyecto, e incorporarlos a los elementos técnicos, económicos y sociales.

En el caso presentado en el capítulo 6, la jerarquización de los hábitats se realizó con base en la información general de la composición específica, la estructura, la presencia de las especies protegidas y el grado de conservación de cada uno de los hábitats, pero debido a la carencia de información cuantitativa específica para cada uno de estos, la ponderación se realizó con base en la experiencia del personal evaluador. Para minimizar el efecto de la subjetividad la jerarquización de los hábitats la realizó un grupo de expertos en flora y fauna mediante una discusión colectiva.

Geneletti (2003), utilizó un procedimiento similar al que se presenta en el capítulo 6 para evaluar el impacto de rutas alternativas para construir una autopista en Italia, considerando como único impacto la pérdida directa de ecosistemas, el cual es el mismo efecto que se toma en cuenta en los casos presentados en el capítulo 6. Geneletti, consideró la rareza de los ecosistemas como el único criterio para su jerarquización.

Es necesario que la ponderación de la importancia biótica de los diferentes hábitats se realice con mayor sustento biológico, incorporando de manera directa valores o estimaciones, entre otros aspectos, de la riqueza específica, el grado de conservación, la fragilidad y la vulnerabilidad de los hábitats, la presencia de especies protegidas (Morris, 1995; Treweek, 1996), además de que la magnitud del impacto se establezca incorporando elementos como la porción afectada de cada hábitat, si el cambio se da en los márgenes o en el centro del hábitat y la intensidad de la modificación, entre otros. Es recomendable que ambos aspectos (la importancia del hábitat y la magnitud del impacto) se establezcan con base en información cuantitativa registrada en campo o preparada en gabinete y siguiendo un procedimiento estandarizado para este fin.

A pesar de las limitaciones ya descritas en la forma en que se ponderaron o jerarquizaron los hábitats, el procedimiento planteado en el capítulo 3 ha demostrado ser sólido, ya que ha sido aceptado, tanto dentro de la CFE como en la SEMARNAT, y se ha usado en evaluaciones de trayectorias para líneas de transmisión (UADY, 2002). En la propuesta de Guía para Manifestaciones de Impacto Ambiental de Líneas de Transmisión, se ha planteado como uno de los aspectos

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

medulares de la justificación del proyecto el proceso de selección de la trayectoria, lo cual se hizo con la certidumbre de que se cuenta con un procedimiento sólido para hacer la evaluación ambiental comparada de las diferentes alternativas para su localización y el cual puede ser aplicado en los tiempos que marcan los programas de los proyectos,.

La jerarquización de los hábitats que se aplicó en el procedimiento de evaluación de alternativas del gasoducto también ha repercutido en el enfoque y en los alcances de los estudios para elaborar las manifestaciones de impacto ambiental de las líneas de transmisión, ya que con la aceptación de que la importancia de los hábitats es un aspecto relevante para determinar la significancia de los impactos ecológicos, en la actualidad el análisis de los efectos sobre los componentes bióticos (y de algunos otros elementos del medio) se realiza con mayor profundidad en las zonas en que los hábitats son considerados como importantes. En algunas manifestaciones de impacto ambiental, los valores de importancia del hábitat se han incorporado a los algoritmos usados para determinar la significancia del impacto (CIBNOR-UNISON, 1999; INECOL, 1999). En las manifestaciones de las líneas de transmisión Juile - Cerro de Oro - Tecali y Valladolid – Nizuc / Playa del Carmen, la identificación de los ambientes o zonas relevantes fueron los elementos contundentes para modificar el diseño y proceso constructivo de la línea para minimizar el efecto sobre las comunidades bióticas con mayor diversidad y grado de conservación (INECOL, 2001; UADY, 2002). En la guía propuesta para preparar las manifestaciones de líneas de transmisión, se plasma esta idea (Ver secciones IV, V y VI del anexo 1).

En la introducción de este documento se planteó que un elemento fundamental para que la evaluación de impacto ambiental sea realmente en un instrumento de protección de los recursos bióticos (y en general del entorno) es que genere elementos para la toma de decisiones y, para lo cual, además de que la evaluación sea objetiva, también tiene que ser cuantitativa. En este contexto el procedimiento desarrollado para comparar alternativas de ubicación de proyectos lineales (ver capítulo 6), cumple satisfactoriamente estos dos criterios y permitió tomar la decisión final sobre la ubicación del gasoducto Cd. PEMEX - Valladolid, y de la Línea de Transmisión Valladolid – Nizuc/Playa del Carmen (UADY, 2002) contribuyendo de manera significativa a obtener la autorización en materia de impacto ambiental para esta obra. Otro elemento relevante del procedimiento empleado es que permite una comunicación clara y precisa de los resultados, lo cual es altamente deseable en las evaluaciones de impacto (Perez-Maqueo, et al., 2001)

La determinación de la heterogeneidad ambiental y la jerarquización de hábitats está establecida de manera explícita en la propuesta de Guía para la Elaboración de Manifestaciones de Impacto Ambiental de los Proyectos de Líneas de Transmisión (Ver anexo 1).

En resumen, con el procedimiento de evaluación de las alternativas de gasoducto que se presenta en el capítulo 6, permite: i) dar mayor objetividad a la evaluación de impacto al considerar elementos, los hábitats, que pueden ser medidos y caracterizados de manera clara y precisa y para los cuales se puede determinar una “calidad”, y se pueden identificar las actividades humanas (amenazas)

que lo afectan; ii) contar con una herramienta de fácil aplicación que permite la comparación cuantitativa de alternativas e incorporar sus resultados al proceso de toma de decisiones; iii) sentó las bases para que en los estudios de impacto, en particular de líneas de transmisión, se identifiquen los hábitats o ecosistemas relevantes y que en ellos se centre la identificación de impactos y la determinación de las medidas necesarias para su prevención, control o mitigación; iv) es un método que puede ser empleado para evaluar otros impactos como los que ocasionan las descargas de agua de enfriamiento o las emisiones a la atmósfera (ver apartados 7.3 y 7.4) y; v) es un método que permite una buena comunicación de los resultados de la evaluación de impacto.

7.3 El efecto de las emisiones a la atmósfera

Ya se comentó que el efecto de las emisiones a la atmósfera sobre los seres vivos prácticamente no ha sido analizado en las manifestaciones de centrales termoeléctricas que ha preparado la CFE y por lo tanto no se disponen de los elementos para generar una propuesta concreta para su evaluación. Desde las primeras evaluaciones de impacto que se realizaron en la década de los años ochenta del siglo pasado, se han utilizado modelos matemáticos para estimar las posibles concentraciones a nivel de piso de los principales contaminantes que se emiten: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas (Instituto de Ingeniería; 1990, CIB, 1989, 1990; CFE, 1989, 1990). En las ocasiones que se hace un análisis de efectos sobre los elementos bióticos, se usa como referencia para determinar la significancia de impacto las concentraciones máximas de gases o de partículas que la legislación establece como límites para asegurar la no afectación de la salud humana (Instituto de Ingeniería, 1990, 1997; INECOL, 1999; CIB, 1989, CIBNOR 1997, 1999, 2000 y 2002; CIBNOR-UNISON, 1997 y 1999, CIBNOR-UAT, 2000 y 2000^a)

En la bibliografía se reportan algunos efectos que ocasionan las emisiones, pero no se tienen propuestas concretas para evaluar este impacto. Sin embargo, debido a la gran cantidad de combustible fósil que consumen, no hay duda de que importantes efectos de las centrales termoeléctricas pueden estar asociados a las emisiones de los gases de combustión. Diferentes autores han planteado que las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno, así como las de partículas, ocasionan diversas afectaciones sobre los seres vivos, tales como el decremento en la producción de cultivos, modificaciones morfológicas en las plantas, cambios en la composición específica de las comunidades, modificaciones en los procesos bioquímicos o fisiológicos de los organismos, reducciones en la actividad fotosintética o tasas de crecimiento, posible predisposición al ataque de plagas, y aparentemente pueden ser un factor de eliminación de parte de la diversidad génica (Bynterowicz, et al. 2003; Cape, et al. 2003; Moraes et al. 2003; Tommervik, et al. 2003; Giordani, et al. 2002; Kozlov, et al. 2002; Loppi, et al, 2002; Virtanene, et al. 2002; Conti y Cecchetti, 2001; García-Huidobro et al., 2001; Garty, et al. 2001; Longauer, et al. 2001; Jezierski, 1999). Además, se pueden presentar efectos secundarios sobre los seres vivos a través de la lluvia ácida que puede afectar tanto los suelos como los cuerpos de agua dulce (Jonson, et al. 2003).

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Aunque se han documentado los impactos de las emisiones a la atmósfera sobre los seres vivos, no hay suficiente información que permita establecer una relación entre los efectos observados y las concentraciones de los contaminantes que se pueden presentar en la zona de influencia de una central termoeléctrica (Bytnrowicz, 2003;); posiblemente los líquenes es el grupo de organismos en los que se conoce más el efecto de la contaminación atmosférica (Conti, et al, 2001; Garty, 2001; Giordani et al, 2002; Jezierski, et al. 1999; Loppi et al., 2002; Tommervik, et al., 2003;) y en segundo lugar, las coníferas (Jonson et al., 2003; Koslov, et al. 2002; Longauer e al., 2001). La mayoría de los estudios se han realizado en ecosistemas templados y en zonas donde la atmósfera está siendo afectada por emisiones provenientes de diferentes actividades industriales. Estas limitaciones no permiten una aplicación directa de los resultados que se reportan en la bibliografía en las evaluaciones de impacto ecológico de los proyectos termoeléctricos en México. En este sentido, Cape et al. (2003) plantean que uno de los retos al futuro para evaluar de manera completa el efecto de las emisiones a la atmósfera sobre los seres vivos es la realización de experimentos en los que se someta a algunas especies vegetales a la exposición independiente de cada uno los principales contaminantes atmosféricos.

Así, aunque es recomendable hacer una revisión exhaustiva de los datos existentes en la literatura para generar una base de datos de referencia para una primera aproximación del efecto de las emisiones a la atmósfera de las centrales termoeléctricas, sería recomendable evaluar de manera experimental en cada sitio donde se pretende construir una termoeléctrica, el efecto potencial sobre las poblaciones biológicas de especies que puedan ser consideradas como indicadores del posible impacto, ejecutando bioensayos que permitan determinar, al menos, los efectos agudos, y así tener elementos para evitar la ocurrencia de eventos catastróficos. Este trabajo sería relevante para centrales de gran tamaño o en zonas donde ya existe una actividad industrial relevante.

Es recomendable profundizar en la generación de herramientas para evaluar este impacto, por lo que se recomienda desarrollar un estudio a largo plazo mediante el cual se puedan realizar generalizaciones de los efectos de los contaminantes atmosféricos y construir modelos como los que se plantean en el capítulo 4 y determinar las relaciones que existan entre el aumento en la concentración de contaminantes y los efectos en los seres vivos. Este trabajo debiera ser complementado con un trabajo de monitoreo en áreas afectadas por las emisiones a la atmósfera. El desarrollo de los trabajos experimentales debe considerar tanto el efecto directo de las emisiones de las centrales, como los potenciales efectos indirectos a través de la lluvia ácida o la generación contaminantes secundarios (como el ozono a partir de óxidos de nitrógeno).

Una vez estimada la tolerancia o la sensibilidad de los organismos vivos a los contaminantes, esta información en conjunto con los datos de la simulación matemática de la dispersión de contaminantes y la jerarquización de los hábitats, permitiría hacer análisis comparativos de diferentes opciones para la ubicación de las centrales o para definir diseños (por ejemplo altura de chimenea) que minimicen el efecto sobre las zonas de mayor relevancia.

7.4 El impacto en ecosistemas acuáticos y análisis de alternativas

En el contexto del análisis de alternativas, los modelos estadísticos que correlacionan el incremento de la temperatura letal media de los organismos marinos con la temperatura máxima del cuerpo receptor pueden ayudar durante la evaluación de alternativas para centrales costeras, tanto respecto a la ubicación de la propia central como del punto de descarga del sistema de agua de enfriamiento.

Durante la fase de selección de sitios no es posible llevar a cabo una evaluación de impacto basada en la ejecución de bioensayos debido a la poco tiempo disponible para decidir la ubicación de la central y los altos costos de desarrollar trabajo experimental para los tres o cuatro sitios que pueden estar siendo considerados para la ubicación de la central; en este caso los modelos son herramientas que permitirán evaluar el posible impacto de la descarga. Conociendo el campo térmico esperado (mediante simulación matemática) y realizando una jerarquización de los ambientes que pueden ser afectados por la descarga y la predicción del incremento letal térmico, se puede evaluar la significancia del impacto ecológico de la descarga, usando un procedimiento similar al propuesto para evaluar las alternativas de proyectos lineales (ver capítulo 6) al estimar la superficie de cada tipo de ambiente y la intensidad con que sería afectado.

La importancia de realizar una evaluación ambiental de las alternativas para el desarrollo de un proyecto no se restringe a los potenciales beneficios para el entorno o los elementos bióticos, ya que es posible que se eviten mayores costos por el desarrollo de los proyectos (Mason, et al., 1999). Esto queda plenamente demostrado con el ejemplo de la selección del sitio para la C. T. Adolfo López Mateos descrito en el inciso 1.3 de este documento.

7.5 La heterogeneidad ambiental

Reconocer y analizar la heterogeneidad ambiental es esencial para una adecuada, pero sobre todo útil, identificación y evaluación del impacto sobre la biodiversidad. En la caracterización del entorno de los proyectos de generación y transmisión de energía normalmente se encuentran descritas los diferentes ambientes que en él existen, pero el análisis de impacto se ha realizado de manera general para toda el área de influencia del proyecto. Esta situación lleva a generalizaciones inadecuadas ya que los procesos bióticos y la estructura de la comunidad son distintos en cada uno de ellos y frecuentemente los procesos constructivos y operativos también lo son. Esta condición es de extraordinaria relevancia para el caso de las obras lineales de gran longitud ya que pueden atravesar varias unidades ambientales y, por ende, varios tipos de vegetación.

Para superar lo anterior se propone que la identificación y la evaluación de los impactos se lleve a cabo de manera independiente para cada una de las unidades o regiones ambientales que

atraviase el proyecto, lo cual también permitirá una mejor y más sencilla definición geográfica de las medidas de mitigación a aplicar.

7.6 Los trabajos experimentales y los programas de monitoreo

Diferentes autores (Bisset y Tomlinson, 1988; Glasson et al., 2002), han planteado de manera precisa la importancia de los programas de monitoreo de los impactos ocasionados por la construcción y la operación de los proyectos de desarrollo; no hay duda de que el seguimiento de los cambios ocasionados por las actividades humanas es fundamental para mejorar el pronóstico de los cambios que se podrían presentar por la ejecución de proyectos futuros y así poder realizar predicciones cuantitativas de los cambios esperados. Mediante trabajos de campo en las áreas afectadas por las emisiones a la atmósfera y las descargas de agua de enfriamiento de centrales termoeléctricas se han documentado los efectos que estas acciones pueden tener sobre los musgos, los líquenes y los pinos (Moraes et al. 2003; Bytnerowicz, 2003; Giordani 2002; Jalkanen, et al., 2000; Manninen and Huttunen, 2000) y diferentes especies de organismos acuáticos (Lardicci, 1999; Pawson y Eaton, 1999; Sandström, et al., 1997) respectivamente. Por otro lado, son los trabajos experimentales con organismos vivos los que han permitido empezar a tener información sobre el efecto que las diferentes concentraciones de los contaminantes atmosféricos (Agrawal y Deepak, 2003; Deepak y Agrawal, 2001; Caporn, et al., 2000; Manninen and Huttunen, 2000; Ranieri, et al., 1999; Kupcinskiene, et al., 1997;) o de los incrementos de temperatura pueden tener sobre los organismos vivos (Rajaguru y Ramachandran, 2001; Thomas et al., 2000; Cuculescu et al., 1998). Al parecer no se han realizado trabajos de monitoreo de los impactos causados por la construcción de líneas de transmisión.

En la actualidad en México los programas de monitoreo de impactos sobre los recursos bióticos son prácticamente inexistentes. En el caso de las centrales termoeléctricas solo para la Central Presidente Plutarco Elías Calles se han llevado a cabo programas de monitoreo de la descarga de agua de enfriamiento para determinar el efecto sobre las pesquerías y el impacto de las emisiones a la atmósfera sobre la productividad de las huertas (PUMA, 2002; CIBNOR, 1995).

Sin embargo, como se indicó en el capítulo 3, la información sobre las características de los componentes bióticos incluida en las manifestaciones de proyectos del sector eléctrico no es siempre la más adecuada para evaluar los impactos, por lo que el beneficio potencial de los programas de monitoreo de los proyectos de generación y transmisión no es el máximo que se pudiera obtener. Las principales deficiencias que deben que ser superadas para obtener el máximo beneficio de los programas de monitoreo son:

- i) Información inadecuada o insuficiente para evaluar los cambios esperados por la ejecución del proyecto
- ii) La caracterización cualitativa y descriptiva de los elementos bióticos.
- iii) La falta de precisión en la ubicación de los sitios donde se realizaron los muestreos

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

- iv) Las áreas donde se realizaron los trabajos de campo para caracterizar los componentes bióticos son seleccionadas sin considerar si podrían ser afectadas por las diferentes actividades del proyecto
- v) La carencia de información sobre las zonas que pudieran ser utilizadas como testigo

Por lo anterior, durante las primeras etapas de las evaluaciones de impacto ambiental se debe proceder a identificar las zonas que potencialmente serán afectadas por el desarrollo del proyecto. En estas zonas se debe realizar el muestreo de los componentes bióticos, recopilando la información necesaria para determinar cual es la condición actual de estos y las actividades humanas que lo afectan actualmente (amenazas¹) y de esta forma tener los elementos suficientes para medir el impacto debido a la ejecución del proyecto (INECOL, 2000). De acuerdo con lo que reporta la bibliografía es recomendable incorporar información sobre el vigor, aspectos fisiológicos y bioquímicos, la productividad, y el comportamiento fenológico, entre otros elementos que permitirán determinar si existe algún efecto por las acciones del proyecto, en particular de las emisiones a la atmósfera y la descarga de agua de enfriamiento (Agrawal y Deepak, 2003; Moraes et al. 2003; Bytnerowicz, 2003; Giordani 2002; Deepak y Agrawal, 2001; Rajaguru y Ramachandran, 2001; Caporn, et al., 2000; Jalkanen, et al., 2000; Manninen and Huttunen, 2000; Thomas et al., 2000; Lardicci, 1999; Pawson y Eaton, 1999; Ranieri, et al., 1999; Cuculescu et al., 1998; Sandström, et al., 1997; Kupcinskiene, et al., 1997). Desde estas etapas también se deben seleccionar y caracterizar áreas testigo (similares a las que serán afectadas pero fuera de la influencia del proyecto) para tener mayor certidumbre de la cuantificación de los impactos que se realicen. Para alcanzar este fin se deben utilizar herramientas (en especial modelos matemáticos o gráficos) para estimar de manera preliminar y rápida las áreas de afectación por las descargas térmicas, emisiones a la atmósfera, modificaciones de escurrimientos o cauces, etc.

Un aspecto importante a tomar en cuenta en la selección de las áreas testigo es la heterogeneidad del entorno, ya que de no ser así se pueden confundir los efectos de la central con la variación natural que se presenta en el entorno de la central o línea de transmisión (Lardicci et al., 1999). Al diseñar el programa de monitoreo es importante incorporar el registro de las variables que permitan establecer cuales de las diferencias que se presentan en los componentes bióticos son debidas a la variación espacial del entorno y cuales son las ocasionadas por las acciones del proyecto (impactos).

Las actividades humanas que se desarrollan en las áreas de influencia de muchas de las obras del sector eléctrico afectan o han afectado los elementos bióticos, por lo que el diseño de los programas de monitoreo debe permitir diferenciar los efectos del proyecto de los cambios ocasionados por otras actividades, además de delimitar los efectos sinérgicos y acumulativos. Por esta razón, al seleccionar las áreas testigo hay que, además de considerar las variaciones naturales del entorno,

¹ Se retoma la terminología propuesta por el INECOL (2000), en la que denomina como amenazas las acciones o actividades humanas preexistentes a la ejecución del proyecto que modifican los componentes bióticos, para de esta forma evitar confusiones con el término impacto el cual se asocia comúnmente al proyecto.

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

identificar los posibles efectos de las actividades existentes en el área de influencia de la central. Esta situación probablemente también haga necesario incrementar las variables que se serán monitoreadas y la frecuencia con que se deben registrar.

Por las razones anteriores, es difícil precisar el efecto de algún contaminante o de alguna acción específica asociada al desarrollo de los proyectos exclusivamente a través de los programas de monitoreo. El desarrollo de experimentos en laboratorio es relevante para determinar el efecto específico de cada uno de los contaminantes y posteriormente los impactos sinérgicos o acumulativos de dos o más acciones del proyecto (el caso más claro puede ser el efecto de las emisiones a la atmósfera, que pueden tener partículas y óxidos de azufre y nitrógeno, cuyo efecto independiente puede ser muy distinto del combinado), o cuando éstas se suman a otras condiciones preexistentes derivadas de actividades urbanas, agropecuarias o industriales (por ejemplo, la presencia de emisiones de otras instalaciones industriales) (Cape, et al., 2003; PUMA, 2001). El desarrollo de bioensayos de diseño similar a los que se han usado para establecer las temperaturas letales medias de organismos marinos (ver capítulo 4), se pueden emplear para determinar el efecto de las emisiones a la atmósfera sobre los seres vivos. Estos se pueden desarrollar para cada uno de los sitios donde se pretende construir las nuevas centrales termoeléctricas, pero también sería posible desarrollar un trabajo general que pudiera ver el efecto sobre especies de diferentes regiones del país y bajo diferentes condiciones de temperatura, humedad, y otros factores físicos relevantes. Una vez realizada la evaluación experimental sería más fácil identificar y medir la magnitud de las afectaciones atribuibles a la central. Sin embargo, estos trabajos tendrán que desarrollarse de manera independiente a la evaluación de proyectos, ya que se puede requerir más tiempo del que se dispone para elaborar una Manifestación de Impacto Ambiental. Con el objeto de optimizar los recursos financieros, y considerando que los contaminantes atmosféricos pueden provenir de muy diversas actividades industriales, sería conveniente que este trabajo lo coordinara la autoridad ambiental federal (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales).

El procedimiento experimental permitió determinar el efecto sobre las huertas de mango atribuible a las emisiones a la atmósfera de la Central Termoeléctrica Petacalco y el efecto sinérgico que se presenta con la deficiencia de nutrientes en el suelo de estas huertas y la disposición sobre las plantas de partículas producto de la combustión de combustóleo (PUMA, 2001).

El trabajo experimental ha sido usado de manera frecuente para estimar el efecto de las descargas de los sistemas de agua de enfriamiento de centrales termoeléctricas sobre los organismos marinos (ENCB-IPN, 1986; CIB, 1989; Bufete Industrial 1990; Instituto de Ingeniería, 1990; SISSA, 1992; CIBNOR, 1997; CIBNOR, 2000), y la utilidad de estos trabajos para generar herramientas predictivas de aplicabilidad más o menos general queda de manifiesto en el capítulo 4, ya que a partir de los resultados de los bioensayos se desarrollaron modelos empíricos (estadísticamente significativos) que permiten tener una aproximación sobre la tolerancia de los organismos marinos. Aunque todavía es necesario validar estos modelos y sería conveniente incorporar un mayor número de datos de bioensayos, la significancia estadística de los modelos permite aseverar que puede ser

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

una herramienta confiable. Definitivamente es preferible usar éstos modelos que simplemente hacer consideraciones subjetivas sobre el efecto de la temperatura sobre los organismos. Con los programas de monitoreo se podría determinar las posibles correlaciones entre los resultados experimentales y los cambios que realmente ocurren en las áreas de influencia de las centrales.

Esta línea de trabajo es relevante debido a que la CFE tiene planeado desarrollar proyectos de gran capacidad y los cuales, debido a la problemática existente para el suministro de gas, en un futuro posiblemente tendrán que recurrir nuevamente al carbón o petróleo (combustóleo o coque), los cuales durante su combustión pueden generar cantidades significativas de partículas, además de óxidos de azufre y de nitrógeno.

Otro punto relevante de los programas de monitoreo es decidir en cuales centrales se deben implantar. En primera instancia se debe considerar la capacidad de generación de la central termoeléctrica ya que entre más grande sea, el consumo de combustible y utilización de agua será mayor y por lo tanto también se tendrán mayores emisiones de gases o de agua de enfriamiento. En el caso de las emisiones a la atmósfera, a partir de los datos de calidad de aire que se han registrado en el área de influencia de las centrales (la mayoría de las centrales instaladas en los últimos 15 años cuentan con redes de monitoreo de calidad del aire) y de la información bibliográfica del efecto sobre los seres vivos (Agrawal y Deepak, 2003; Deepak y Agrawal, 2001; Caporn, et al., 2000; Manninen and Huttunen, 2000; Ranieri, et al., 1999; Kupcinskiene, et al., 1997), determinar a que niveles de emisión de gases (y por lo tanto capacidad de las centrales) se pueden generar concentraciones de contaminantes que pueden tener repercusiones sobre los seres vivos.

Uno de los posibles beneficios del desarrollo de los trabajos experimentales y programas de monitoreo del efecto sobre los seres vivos es que en el futuro se puede desarrollar un esquema de monitoreo de calidad del aire o de calidad del agua con base en bioindicadores. Estos programas podrían ser de especial utilidad en zonas remotas o de difícil acceso donde las facilidades para instalar los equipos de medición de calidad del aire puede ser extremadamente difícil o costoso y en las cuales la eficiencia de los equipos puede ser baja por problemas en suministro de energía o por la inaccesibilidad que limita el mantenimiento del equipo y en alguna ocasiones por falta de seguridad física para la instalación de los equipos. En primera instancia parece que los programas basados en biomonitoreo serían más económicos que los desarrollados con métodos tradicionales, aunque podrían tener problemas para detectar eventos críticos puntuales que pudieran tener trascendencia, por ejemplo, en la salud humana (Giordani, et al., 2002; Conti, y Cecchetti 2001; Garty, et al., 2001; PUMA, 2001).

7.7 El enfoque sistémico y la identificación y la evaluación de impactos secundarios

En la actualidad, el enfoque sistémico, con el apoyo de herramientas informáticas para la simulación de sistemas complejos (Costanza, 1998), se ha utilizado con un buen éxito para presentar

de manera clara y precisa los esquemas que anteriormente se construían mentalmente y que era difícil de presentar “objetivamente” en las Manifestaciones de Impacto Ambiental. Pérez-Maqueo et al. (2001), plantean que la evaluación y comunicación de los impactos debe ser realizada con objetividad y transparencia e indican que los métodos tradicionales (listas de verificación, matrices, sistemas de información geográfica y diagramas de causa-efecto) no permiten satisfacer estos requerimientos. Como propuesta para alcanzar estos objetivos planteados para la evaluación de impacto ellos plantean el desarrollo de modelos de los sistemas ambientales utilizando lenguajes de programación visual. Este procedimiento ya se ha usado en diferentes manifestaciones de impacto ambiental de proyectos eléctricos (INECOL, 1999, 2000 y 2001, CIBNOR 2003; UADY, 2003). Las relaciones que se incluyen dentro del modelo son las que el personal evaluador considera como las respuestas de los organismos ante una condición que se generará por el desarrollo del proyecto y solo en contadas ocasiones se incluyen en el modelo del sistema ambiental relaciones causales determinadas por medio del análisis científico o empírico. Esto implica que la subjetividad no ha sido eliminada, pero si se puede trabajar con un esquema estandarizado que facilita la evaluación y la comunicación de los resultados (Pérez-Maqueo, et al., 2001). Adicionalmente, como ya se comentó, este enfoque permite detectar los efectos secundarios, así como los acumulativos o sinérgicos, lo que posibilita tener una visión más cercana de lo que puede ocurrir en el ecosistema. En el futuro, se recomienda que las evaluaciones de impacto ambiental se realicen con el enfoque sistémico pero incorporando a los modelos mayor información sobre la biología y ecología de las especies, en especial de las que se puedan considerar como indicadores del impacto, y la respuesta de estas ante los cambios ocasionados por el proyecto determinada por trabajos experimentales y de monitoreo. (en el punto 7.1 ya se plantearon los criterios para seleccionarlas).

7.8 Los algoritmos para la evaluación de impactos

El uso de algoritmos para evaluar la relevancia o la significancia de impactos (Bojorquez, et al. 1998; CIB-UNISON, 1997, 1999), ayuda a realizar una evaluación del impacto estandarizada. Adicionalmente, el uso de estos algoritmos permite tener una idea del beneficio esperado por la aplicación de medidas de mitigación; Bojorquez et al., (1998) incorporan en su algoritmo para calcular la significancia de los impactos, un elemento que reduce el valor calculado cuando es posible implementar una medida para su mitigación. Pareciera que para evaluar el significado de las medidas de mitigación es más adecuado delimitar como actúa la medida de mitigación sobre las características del impacto esperado, ya sea reduciendo la extensión, la intensidad, la duración de la acción, o permitiendo una recuperación más rápida de los componentes bióticos o evitando que se afecten otros componentes del sistema (que son algunos de los criterios comúnmente utilizados para evaluar el impacto); una vez reevaluados los criterios de calificación del impacto, volver a calcular su significancia del impacto.

7.9 La disponibilidad de información básica

Se ha planteado que la carencia de información básica sobre los hábitats y las especies que se encuentran en el área de influencia de los proyectos es un problema relevante para el desarrollo de los estudios de impacto (Treweek, 1996, Treweek et al., 1998; Morris 1995), ya que por las limitaciones de tiempo y económicas para el desarrollo de estas evaluaciones es difícil generar, con la oportunidad requerida, toda la información necesaria para realizar una evaluación confiable. Treweek et al. (1998) indican que la capacidad para cuantificar los posibles impactos y estimar el riesgo de su ocurrencia, es fuertemente dependiente de la disponibilidad, la exactitud, la confiabilidad y la resolución de los datos sobre la distribución de los hábitats y las especies (y también de los proyectos).

En las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos del sector eléctrico la información que se incluye sobre los componentes bióticos es general y descriptiva. Sin embargo, para superar esta deficiencia es necesario que se desarrollen sistemas de información ambiental, y en especial biológica, que permitan tener acceso de manera rápida y eficiente a la información disponible. En México, la información sobre la distribución de las especies de flora y fauna es escasa, poco precisa y generalmente a escalas que no permiten su uso para evaluar el impacto que se puede tener sobre los componentes bióticos el desarrollo de los proyectos. Para mejorar este aspecto sería recomendable que se prepararan mapas de uso del suelo y vegetación de todo el país a una escala mínima de 1: 50 000, aunque en el caso de áreas relevantes (áreas naturales protegidas, por ejemplo) sería adecuado contar con mapas al menos en escala 1 : 20 000. También sería conveniente desarrollar bases de datos sobre las especies protegidas en donde se vertiera información sobre la distribución geográfica y ecológica de las mismas, así como algunos aspectos relevantes para el caso de la fauna como podrían ser las características de las áreas de alimentación, reproducción y refugio que utilizan. También se debe puntualizar cuales son las causas de que las especies se encuentren protegidas (sobreexplotación, destrucción de hábitat, o cualquier otra).

Sin embargo, las tareas descritas no son un aspecto que se pueda atender dentro de los estudios de impacto, sino que debe ser una tarea permanente las autoridades ambientales estatales y federal, quienes en coordinación con los centros de investigación, el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y la Comisión Nacional para la Biodiversidad, deben impulsar la generación y ordenamiento de esta información.

7.10 Posibles impactos que deben ser considerados en futuros proyectos

Hasta la fecha en los estudios de impacto ambiental se han analizado las consecuencias inmediatas por la ejecución de los diferentes proyectos (y en otros países por la aplicación de políticas, planes y programas), pero no se han analizado aspectos como la eventual modificación de los factores de selección de las especies por las actividades o acciones de un proyecto o conjunto de proyectos. El fraccionamiento de hábitats también puede causar algunos cambios en la información genética de las poblaciones como consecuencias de procesos como la deriva génica que pudiera

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ocurrir en algunas poblaciones aisladas. En el futuro será necesario abordar estos aspectos para determinar el efecto sobre los procesos evolutivos de la construcción de proyectos eléctricos.

Es probable que estos efectos no se presenten por la construcción de un solo proyecto, sino que ocurran por la acumulación de cambios derivados por la ejecución de un conjunto de obras en una región determinada. Por lo tanto estos efectos no pueden ser previstos con el enfoque clásico de los estudios de impacto ambiental y es necesario considerar un análisis de las repercusiones ambientales cuando se está realizando la planeación y programación de obras, para evaluar el efecto acumulativo y sinérgico de diferentes proyectos, el cual se conoce como Evaluación Estratégica Ambiental (Treweek, et al., 1998), la cual ya se está desarrollando en otros países y en un futuro cercano será necesario implantar en México.

8. CONCLUSIONES

Si bien es cierto que actualmente no hay el suficiente conocimiento científico para predecir todas las respuestas de los ecosistemas a las actividades o acciones humanas, es necesario generar las herramientas (modelos o técnicas), que utilizando el conocimiento disponible permitan predecir los impactos que pueden ser ocasionados por la construcción y operación de los proyectos de desarrollo y la actividad humana en general. Al principio la mayoría de los modelos o técnicas requerirán ser mejoradas con los resultados de programas de monitoreo o estudios experimentales, pero su empleo siempre será preferible a realizar una evaluación del impacto basada en la experiencia o apreciación de los evaluadores, sobre todo porque se podrá generar una predicción que se podrá contrastar con el impacto real y retroalimentar el modelo o la herramienta.

La evaluación de impacto sobre los elementos bióticos por los proyectos del sector eléctrico (y aparentemente de todo tipo de proyectos) debe ser mejorada para convertirla en una herramienta para la conservación de la biodiversidad. Hay dos aspectos medulares: i) analizar todas las posibles repercusiones sobre estos componentes, incorporando un análisis formal de los efectos secundarios y, ii) desarrollar las propuestas técnicas y metodológicas que permitan establecer predicciones o pronósticos cuantitativos de los efectos. El primer punto se resuelve haciendo un análisis sistémico de las modificaciones debidas al proyecto y utilizando las nuevas herramientas informáticas. Para el segundo caso es necesario el desarrollo de procedimientos de evaluación que permitan determinar la magnitud y extensión del impacto.

Una de las posibilidades que existen para acercarse a la objetividad y subsanar, aunque sea parcialmente, la incapacidad de pronosticar todas las respuestas que tendrán los organismos vivos a los cambios que ocasiona el desarrollo de un proyecto, es el análisis comparativo de las diferentes opciones que existen para llevar a cabo una obra y se puedan determinar las alternativas que representan el menor efecto sobre el entorno. Además, la evaluación de impacto adquiere su verdadero sentido en la medida que se generan los elementos necesarios para que se incorpore la variable ambiental al proceso de toma de decisiones con respecto al proyecto y para ello es necesario que se analicen las alternativas para su desarrollo. La evaluación comparada cuantitativa es esencial para una fácil interpretación de los resultados y su incorporación en el análisis integral del proyecto (técnico, económico, social y ambiental). Una vez determinan las diferencias cuantitativas en el impacto esperado por cada alternativa y se estiman los valores de los recursos bióticos y/o los costos de los programas para lograr su recuperación, es posible incorporar los costos monetarios o financieros en la evaluación de alternativas (y aunque no todo se puede valorar y decidir en función de criterios financieros, es un elemento que en muchos casos puede ser determinante).

En este orden de ideas, es importante que la evaluación de los impactos sobre los componentes ambientales se incorpore desde las primeras fases de desarrollo de los proyectos y continúe hasta su etapa de operación, para que de esta forma contribuya efectivamente a la conservación de los recursos naturales y que los análisis ambientales no se limiten a justificar un

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

proyecto concebido y diseñado exclusivamente en función de consideraciones socio-políticas, técnicas y económicas. El desarrollo de métodos de evaluación como los propuestos en este trabajo, permiten avanzar en el camino de incorporar mayor soporte científico y el desarrollo de técnicas aplicables bajo las restricciones de información, tiempo y costo, en las que se desarrolla actualmente el proceso de impacto ambiental. Con estos métodos es posible hacer una evaluación temprana de los proyectos y poder incidir en la toma de decisiones de los proyectos, contribuyendo así de manera más eficaz a la protección de la biodiversidad.

La evaluación de impacto cuantitativa solo puede llevarse a cabo cuando el componente del entorno objeto del análisis puede ser delimitado de manera clara y precisa. En el caso de los componentes bióticos, los elementos o componentes fácilmente delimitables son los hábitats o ecosistemas (aún a pesar de que las fronteras entre ellos sean delimitadas en forma arbitraria). Adicionalmente, se debe considerar que la preservación de la biodiversidad solo es posible en la medida de que se puedan mantener los hábitats. Por estas dos razones la evaluación de impacto ecológico debe centrar en las modificaciones esperadas en los hábitats. Con los argumentos anteriores, no se pretende cancelar los análisis detallados o específicos de lo que puede ocurrirle a una especie en particular, pero tiene mayor relevancia cuando este análisis se utiliza en un indicador de lo que puede ocurrirle al ecosistema.

El trabajo experimental y los programas de monitoreo son piezas clave para incrementar el sustento científico de los pronósticos de impacto ambiental en general y de los efectos sobre los elementos bióticos en particular. El trabajo experimental permite determinar las relaciones causa-efecto que se pueden presentar entre la acción o actividad humana a desarrollar y la respuesta de los organismos. El trabajo de monitoreo posibilita entender como se comportan los seres vivos ante diferentes acciones que pueden ejercer presión sobre de ellos.

Con el trabajo experimental es posible construir modelos que permitan conocer cuantitativamente la respuesta o la tolerancia de los seres vivos a la presencia de un contaminante o alguna otra actividad humana. En algunos casos este valor podría ser usado como un elemento de predicción directa, pero en la mayoría de los casos se generarán valores que podrán ser usados como indicadores de la intensidad de los cambios esperados en los seres vivos, como es el caso de los modelos empíricos que se construyeron para establecer la relación existente entre la temperatura natural de los ambientes marinos de la costa del Pacífico Mexicano y la temperatura letal media de los organismos que en ellos viven. Con los programas de monitoreo se validarán los modelos que se construyan con base en la experimentación y se pueden establecer también correlaciones entre la intensidad de las actividades y la respuesta de los seres vivos.

El trabajo experimental para determinar el efecto de las emisiones a la atmósfera sobre los seres vivos, el cual puede ser uno de los más relevantes por la operación de las centrales termoeléctricas, podría desarrollarse de manera paralela a los estudios de proyectos específicos, pero también sería conveniente durante el desarrollo de estos estudios se ejecutaran algunas pruebas

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

sobre algunos organismos vivos que se encuentren en el área de influencia de los proyectos que se desarrollarán, con el fin de poder pronosticar posibles efectos agudos y disminuir así la probabilidad de que ocurran eventos drásticos.

Por lo anterior, no hay duda de la conveniencia de aplicar los programas de monitoreo de los impactos ambientales de proyectos en proceso de construcción y operando, pero para obtener el máximo beneficio de estos programas es necesario mejorar la calidad de las evaluaciones de impacto, realizando una caracterización de los componentes que pueden ser afectados y registrando los parámetros o las variables que pueden ser realmente útiles para detectar el efecto de que se estima podrá ocurrir.

Por último cabe indicar que el análisis realizado permitió elaborar una propuesta general para llevar a cabo los futuros estudios de impacto ambiental de proyectos de transmisión y generación de energía, la cual se incluye en el capítulo 9.

9. PROPUESTA METODOLÓGICA

9.1 Evaluación de impacto en líneas de transmisión

La CFE, con la coordinación y dirección del autor de esta Tesis, ha elaborado una propuesta de guía para la elaboración de estudios de impacto para líneas de transmisión (Ver Anexo 1), con el objeto de: i) tener un instrumento acorde a las características de estas obras (proyectos lineales), ya que la guía difundida por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) está concebida principalmente para proyectos puntuales y sobre todo; ii) incorporar la experiencia acumulada en los últimos años en la elaboración de las manifestaciones de impacto ambiental de estos proyectos. En esta guía se han plasmado algunos de los aspectos que han sido analizados en este documento.

La decisión de abordar en primer lugar la guía para las líneas de transmisión obedece a que en los próximos años se construirán más de 10000 km de líneas de transmisión, lo cual implicará el uso de aproximadamente 40000 hectáreas como derecho de vía y el desarrollo de un sinnúmero de caminos de acceso cuya longitud total será también de gran magnitud.

Un problema de la guía mencionada continúa siendo la generalidad con la que se abordan los aspectos metodológicos para la realización de los análisis de impacto ambiental. Esto ha sido planteado así por la incertidumbre de que exista una metodología única que permita analizar adecuadamente todos los proyectos, pero también por la incapacidad para establecer límites claros de cuando es necesario o conveniente hacer análisis detallados.

Las contribuciones o modificaciones más relevantes establecidas en la guía son:

- a. El análisis de alternativas como un elemento fundamental para sustentar la decisión de la trayectoria de la línea, la cual se debe realizar sobre la base de una evaluación integral de los costos financieros, técnicos, ambientales y sociales. Para proyectos que obligatoriamente cruzarán áreas ambientalmente relevantes, este es el argumento fundamental para sustentarlos. En la guía que actualmente ha divulgado la SEMARNAT este aspecto es considerado de manera superficial en la que solo se pide una descripción general de las alternativas y del proceso de selección del trazo.
- b. El reconocimiento explícito de la heterogeneidad ambiental (unidades ambientales) a lo largo de la trayectoria de las líneas y por lo tanto la realización de un proceso "independiente" de identificación y evaluación de impactos para cada una de estas unidades ambientales. Esto permite la delimitación geográfica de la aplicación de las medidas de mitigación.
- c. Enfatizar la caracterización estacional de los componentes bióticos,
- d. Se ha establecido que el área de estudio mínima para la evaluación del proyecto es una franja de dos kilómetros a lo largo de toda la trayectoria, lo cual permitirá una

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

mejor comprensión de los ecosistemas y determinar así la relevancia de los posibles impactos con más elementos; además en caso de existir componentes (áreas) ambientales relevantes se contará con los elementos para proponer modificaciones en tramos específicos. En la mayor parte de las evaluaciones realizadas hasta la fecha se ha determinado que los impactos ambientales de una línea de transmisión ocurren en el derecho de vía y en la vecindad del mismo, por lo que la caracterización generalmente se restringía a una área muy reducida.

- e. La identificación y la jerarquización (con criterios objetivos) de los diferentes hábitats que se cruzan a lo largo de la ruta, para determinar las zonas de mayor relevancia y enfocar el análisis de impacto a estas zonas.
- f. Incluir en la descripción del entorno una interpretación de las condiciones actuales y el diagnóstico de la calidad ambiental, así como la caracterización de las tendencias de cambio en el entorno considerando la dinámica natural de los sistemas así como los factores antropogénicos. Este enfoque obliga a explicar, aunque sea de manera general, la estructura y el funcionamiento de los sistemas socioambientales y, por ende, de los componentes bióticos que en ellos se encuentran.
- g. Se enfatiza que el análisis de impacto debe ser desarrollado básicamente a nivel de hábitat, ya que está sería la unidad en la cual se puede delimitar espacialmente el análisis de impacto, además de que los hábitats son los que se deben conservar para asegurar la sobrevivencia de las especies o las poblaciones.
- h. La identificación y la evaluación de impacto se debe desarrollar con un enfoque sistémico, con lo cual se debe lograr una correcta identificación y evaluación de los impactos indirectos, los sinérgicos y los acumulativos. La elaboración de los escenarios ambientales esperados con la ejecución del proyecto y sin él, es un elemento fundamental para la evaluación. La evaluación ya no debe restringirse a una matriz de interacción de las acciones del proyecto con los factores ambientales

Pero este primer nivel de definición del alcance para la evaluación de impacto ambiental de proyectos de líneas de transmisión, no es suficiente para garantizar la incorporación de los elementos científicos en la evaluación de impacto, es necesario establecer de manera puntual las metodologías y técnicas a emplear, tanto para la caracterización del medio como para la evaluación e impacto. Este aspecto se debe definir de tal forma que no limite la posibilidad de desarrollar o incorporar nuevas alternativas para el desarrollo de los estudios de impacto, por el contrario de debe estimular estos aspectos. Considerando la forma en que opera la CFE, estos aspectos se pueden establecer en los términos de referencia que se elaboran para contratar los estudios de impacto ambiental.

Los elementos técnicos y metodológicos mínimos a considerar son los siguientes:

- a. A partir de una caracterización general del entorno basada en cartografía, imágenes de satélite y fotografías aéreas, realizar una identificación de las

IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

áreas donde es posible ocasionar cambios relevantes a lo largo de la trayectoria del proyecto y de las áreas donde han ocurrido o están ocurriendo estos cambios como consecuencia de otras actividades humanas. También se deben detectar las zonas que potencialmente pueden ser relevantes, y por lo tanto caracterizadas con mayor detalle. Identificar las zonas donde potencialmente puede causar mayor modificación el proyecto

- b. Con los elementos anteriores proceder a determinar el área de estudio (si es necesario incrementar la superficie definida como mínima)
- c. Delimitar las áreas de muestreo considerando la relevancia de la zona y las posibles áreas de afectación. Para proyectos que tienen la posibilidad de repercutir significativamente sobre la biodiversidad, es conveniente identificar y caracterizar las zonas que podrían ser usadas como áreas testigo durante los programas de monitoreo de los impactos.
- d. Caracterización cuantitativa de las asociaciones vegetales que se encuentren en el área de estudio, pero haciendo énfasis en las que podrán ser afectadas directa e indirectamente por la construcción del proyecto. Registrar los aspectos que permitan evaluar las condiciones actuales de los componentes bióticos (vigor, tamaño, etc)
- e. Delimitación geográfica (local, regional y nacional) de la distribución de las especies protegidas, tanto de fauna como de flora.
- f. Identificación dentro del derecho de vía y su vecindad, las zonas susceptibles a erosión.
- g. La identificación y la evaluación de impactos sinérgicos o aditivos con los que se presentan con los de obras existentes, en especial con otras líneas de transmisión.
- i. Analizar los cambios ocurridos en las líneas cercanas a la trayectoria propuesta para el futuro proyecto. Aunque no hay un criterio definido para establecer cuales líneas son cercanas, en principio podemos decir que se deben considerar las ubicadas dentro de las mismas unidades ambientales. Este elemento es fundamental para determinar los periodos de recuperación de la vegetación en función de la magnitud de la modificación (superficie y/o intensidad) y características de la vegetación aledaña, así como la extensión de las afectaciones fuera del derecho de vía (Este paso puede considerarse como un monitoreo incipiente o preliminar)
- j. Realización del análisis de impacto ambiental con un enfoque sistémico, construyendo al menos diagramas de flujo que ilustren las relaciones que existen entre los diferentes componentes de los ecosistemas y en el cual se incorporen las diferentes actividades humanas que se llevan a cabo. Para proyectos que atraviesan áreas sensibles o relevantes desarrollar modelos de simulación; en el caso de no contar con información para establecer pronósticos o predicciones cuantitativas, construir modelos cualitativos.

9.2 Evaluación de impacto en las centrales termoeléctricas

Para el desarrollo de las evaluaciones de impacto para las centrales de generación termoeléctrica se deben considerar básicamente los mismos lineamientos, que se han establecido para las líneas de transmisión, pero algunos aspectos se debe trabajar con mayor énfasis:

- Debido a la complejidad del proyecto el análisis de impactos sinérgicos y acumulativos debe ser realizado con mayor detalle. En particular se debe revisar las posibles interacciones entre los diferentes contaminantes atmosféricos que emiten las centrales, así como con otros contaminantes existentes en la zona. En trabajos paralelos a la elaboración de las manifestaciones es recomendable iniciar un trabajo experimental para determinar la sensibilidad de los organismos vivos a la presencia de diferentes contaminantes; por su facilidad de trabajo y por ser elementos no móviles se recomienda que el trabajo se inicie con plantas
- Debido a que las acciones perturbadoras tienen una duración mucho mayor que en las líneas de transmisión, se debe ver con mayor cuidado las tendencias de cambio en el futuro, sobre todo en lo que se refiere a la calidad de agua de cuerpos receptores, la calidad de aire y la modificación o la eliminación de vegetación natural.
- Analizar, sobre todo en proyectos de gran magnitud, diferentes diseños de aspectos como: la altura de chimenea, la ubicación del punto de descarga del agua de enfriamiento, los sistemas de control de emisiones, la temperatura de descarga del agua de enfriamiento.
- Establecer áreas testigo para poder determinar la magnitud de los impactos ocasionados por la central.

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

BIBLIOGRAFÍA

Agrawal, M. Y S.S. Deepak, 2003. Physiological and biochemical responses of two cultivars of wheat to elevated levels of CO₂ and SO₂ singly and in combination. *Environmental Pollution* 121 (2) pp 189-197.

Andrew, R.N.L. 1988. Environmental Impact Assessment and Risk assessment: learning from each other. In Wathern, P. 1988 Environmental Impact Assessment: Theory and Practice, Unwin-Hyman. London pp 85-97.

Atkinson, S.F., S. Bhatia, F. A. Schoolmaster, W. T. Waller, 2000. Treatment of biodiversity impacts in a sample of US environmental impact statements. *Impact Assessment and Project Appraisal* 18 (4) 271-282

Bagri, A. y F. Vorhies, 1997. Biodiversity impact assessment. *Draft discussion paper for SBSTTA3*. <http://economics.iucn.org> (97-09-01)

Bagri, A. J. McNeely, y F. Vorhies (1998). Biodiversity and Impact Assessment. *Paper presented at a workshop on Biodiversity and Impact Assessment, Christchurch, New Zeland*. <http://iucn.org/themes/economics> (98-02-10)

Beanlands, G. (1992). Scoping methods and baseline studies in EIA. In Wathern, P. 1988 Environmental Impact Assessment: Theory and Practice, Unwin-Hyman. London pp. 33-46.

Bisset, R. y P Tomlinson, 1988. Monitoring and auditing of impacts. In Peter Wathern Ed. Environmental Impact Assessment, Theory and Practice. Routledge.

Bojorquez-Tapia, L.A., E Ezcurra y O. García. 1998. Appraisal of environmental impacts and mitigation measures through mathematical matrices. *Journal of Environmental Management* 53, pp 91-99.

Brooke, C. 1998 Biodiversity and Impact Assessment. Paper prepared for *Conference on Impact Assessment in a Developing World*. <http://economics.iucn.org/ia-0013>

Bufete Industrial S.A. 1990. Evaluación de impacto ambiental de la CT Petacalco

Bytnerowicz, A., O. Badea, I. Barbu, P. Fleischer, W. Fraczeck, V. Gancz, B. Godzik, K. Grodzinska, W. Grodzki, D. Karonsky, M. Koren, M. Krywult, Z. Krzan, R. Longauer, B. Mankovska, W. J. Manning, M. McManus, R.C. Musselman, J. Novotny, F. Popoescu, D. Postelnicu, W. Prus-Giowacki, P. Skawinski, S. Skiba, R. Sarro, S. Tamas y C. Vasile, 2003. New international long-term ecological research on air pollution effects on the Carpathian Mountain forests, Central Europe. *Environment International* 29 (2-3) pp 367-376.

Cape, J. N., D. Fowler, A. Davidson, 2003. Ecological effects of sulfur dioxide, fluorides, and minor air pollutants: recent trends and research needs. *Environmental International*. 29 (2-3) pp 201-211.

CFE (Comisión Federal de Electricidad) 1989. Manifestación de impacto ambiental de la CT Carbón II

CFE (Comisión Federal de Electricidad) 1990. Manifestación de impacto ambiental de la CT Petacalco

CFE (Comisión Federal de Electricidad) 1992. Manifestación de impacto ambiental de la CT Valladolid. Central de Ciclo Combinado

CFE (Comisión Federal de Electricidad) 2000. Manifestación de impacto ambiental de la LT Moctezuma – Nuevo Casas Grandes

CFE (Comisión Federal de Electricidad) 2001. Manifestación de impacto ambiental de la LT Anáhuac Pot – El Potosí

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

CFE (Comisión Federal de Electricidad) 2001. Manifestación de impacto ambiental de la LT Pueblo Nuevo - Louisiana

Canter, LW y GA Canty, 1993, Impact Significance Determination – Basic considerations and sequenced approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 13(5) pp 275 – 297.

CIB, 1989. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Topolobampo

CIBNOR, 1990. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. San Carlos

CIBNOR, 1997. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Rosarito III

CIBNOR, 1999. Manifestación de Impacto Ambiental de la CT Guerrero Negro II

CIBNOR, 2000. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Rosarito IV

CIBNOR, 2002. Manifestación de Impacto Ambiental de la C. D. Baja California Sur

CIBNOR, 2003. Manifestación de Impacto Ambiental del Depósito de Ceniza de la CT Petacalco – Zona de Playa

CIBNOR-UNISON (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste – Universidad de Sonora) 1997. Manifestación de Impacto Ambiental de la CT Hermosillo.

CIBNOR-UNISON (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste – Universidad de Sonora) 1999. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Naco – Nogales.

CIBNOR-UAT (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste – Universidad Autónoma de Tamaulipas), 1997. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Río Bravo II

CIBNOR-UAT (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste – Universidad Autónoma de Tamaulipas), 2000. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Tuxpan III y IV

CIBNOR-UAT (Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste – Universidad Autónoma de Tamaulipas), 2000a. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Tuxpan V.

CICTUS (Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Universidad de Sonora), 1980. Estudio protección al ambiente y a la CT Puerto Libertad

COMIMSA (Corporación Mexicana en Investigación de Materiales SA), 1997. Manifestación de Impacto Ambiental CCC Chihuahua II

Conti, M. E. y G. Cecchetti, 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution*, 114 (3) pp 471-492.

Coleman, W.G. 1996. Biodiversity and Industry Ecosystem Management. *Environmental Management* Vol. 20 (5) 815-825.

Costanza, R., D. Duplisa y U. Kautsky, 1998. Ecological modelling and economic systems with STELLA. *Ecological Modelling* 110 : 1-4p

Cuculescu, M., D. Hyde and K. Bowler, 1998. Thermal tolerance of two species of marine crab, *Cancer pagurus* and *Carcinus maenas*. *Journal of Thermal Biology* 23 (2) pp 107 – 110.

Deepak, S.S. y M. Agrawal, 2001. Influence of elevated CO₂ on the sensitivity of two soybean cultivars to sulphur dioxide. *Environmental and Experimental Botany* 46 (1) pp 81-91.

D.O.F. (Diario Oficial de la Federación), 1998 Reglamento de la Ley Forestal. 25 de noviembre de 1998.

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

D.O.F. (Diario Oficial de la Federación), 2000. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Evaluación Impacto Ambiental. 30 de mayo de 2000.

D.O.F. (Diario Oficial de la Federación), 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001-Protección Ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Listado de especies en riesgo. 6 de marzo de 2002

D.O.F. (Diario Oficial de la Federación), 2003. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. 25 de Febrero de 2003.

ENCB – IPN (Escuela Nal. De Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional), 1986. Estudio de protección al ambiente de la Laguna de Tampamachoco de la descarga térmica de la CT Tuxpan

ENCB – IPN (Escuela Nal. De Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional), 1997. Manifestación de impacto ambiental del Depósito de Ceniza de la CT Plutarco Elías Calles.

ENCB – IPN (Escuela Nal. De Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional), 2001. Manifestación de impacto ambiental de la LT El Salto – Teotihuacán.

Energía y Ecología 2001. Manifestación de impacto ambiental de la L.T. Fresnal – Nacozari

García-Huidoboro, T., F.M, Marshall y J.N.B. Bell, 2001. A risk assessment of potential agricultural losses due to ambient SO₂ in the central regions of Chile. *Atmospheric Environment* 35 (29) pp 4903 – 4915.

Garty, J., L. Weissman, Y Cohen, A. Karnieli y L. Orlovsky, 2001. Transplanted Lichens in and around the Mount Carmel National Park and Haifa Bay Industrial Region in Israel: Physiological and Chemical Responses. *Environmental Research* 85 (2) pp 159-176.

Geneletti, D. 2003. Biodiversity impact assessment of roads: an approach based on ecosystem rarity. *Environmental Impact Assessment Review* 23 (3) pp 343 – 365.

Giordani, P., G. Brunialti y D. Alleleo. 2002. Effects of atmospheric pollution on lichen biodiversity (LB) in Mediterranean region (Liguria, Northwest Italy). *Environmental Pollution* 118 (1) pp 53-64

Glasson, J., R. Therivel, A. Chadwick, 2002. Introduction to environmental impact assessment. 2 ed. Spon Press. 496 pp

INECOL (Instituto de Ecología A.C.) 1999. Manifestación de Impacto Ambiental de la C.T. Tuxpan II.

INECOL (Instituto de Ecología A.C.) 2000. Manifestación de Impacto Ambiental de la L. T. Manuel Moreno Torres - Juile.

INECOL (Instituto de Ecología A.C.) 2003. Manifestación de Impacto Ambiental de la UTG San Lorenzo

Instituto de Ingeniería 1990. Manifestación de Impacto Ambiental de la CT Rosarito II

Instituto de Ingeniería 1997. Manifestación de Impacto Ambiental de la CT Monterrey II

Instituto de Ingeniería 2003. Manifestación de Impacto Ambiental de la CT Petacalco II (En preparación).

Jalkanen, L., A. Mäkinen, E. Häsänen y J. Juhanoja, 2000. The effect of large anthropogenic particulate emissions on atmospheric aerosols, deposition and bioindicators in the eastern Gulf of Finland region. *The Science of the Total Environment* 262 (1-2) pp 123-136.

Jeziarski, A., E. Bylinska y M.R.D. Seaward, 1999. Electron paramagnetic resonance (EPR) investigations of lichens – 1: effects of air pollution. *Atmospheric Environment* 33 (28) pp 4629 – 4835.

Diciembre 2003

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Jönsson, U., U. Rosengren, G. Thelin y B. Nihlgard, 2003. Acidification induced chemical changes in coniferous forest soils in southern Sweden 1988-1999. *Environmental Pollution* 123 (1) pp 75 – 83.

Kozlov, M.V., P. Niemelä y J. Junttila, 2002. Needle fluctuating asymmetry is a sensitive indicator of pollution impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*) *Ecological Indicators* 1 (4) pp 271-277.

Kupcinskiene, E.A., T.W. Ashenden, S.A. Bell, T.G. Williams, C.P. Edge y C.R. Rafarel 1997. Responses of angiosperm capillaries to gaseous pollutants and wet nitrogen deposition. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 66 (2) pp 89-99.

Lardicci, C., F. Rossi y F. Maltagliati, 1999. Detection of thermal pollution: Variability of benthic communities at two different spatial scales in an area influenced by a coastal power station. *Marine Pollution Bulletin* 38 (4) pp 296-303.

Leopold, L.B., F.E. Clark, B.B. Hanshaw, y J.R. Balsley, 1971. A procedure for evaluating environmental impact. US Geological Survey Circular 645, Department of the Interior, Washington, D.C.

Le Maitre, D.C., D.I.W. Euston-Brown y C.M. Gelderblom 1998. Are the potential impacts on biodiversity adequately assessed in southern African environmental impact assessments. *Workshop on Biodiversity and Impact Assessment. Christchurch, New Zealand*. <http://economics.iucn.org> (98-02-11).

Longauer, R., D. Gömöry, L. Paule, D.F. Karnosky, B. Maňková, G. Müller-Starck, K. Percy y R. Szaro. 2001, *Environmental Pollution* 115 (3) 405 –411.

Loppi, S., D. Ivanov y R. Boccardi, 2002, Biodiversity of epiphytic lichens and air pollution in the town of Siena (Central Italy). *Environmental Pollution* 116 (1) pp 123 – 128.

Magness, T. H. 1984. NEPA, the regulations of the U.S. Council in Environmental Quality and the heart of EIA. *Dutch-US Seminar on Environmental Management, Washington, D.C.*

Manninen, S. y S. Huttunen, 2000. Response of needle sulphur and nitrogen concentrations of Scots pine versus Norway spruce to SO₂ and NO₂. *Environmental Pollution* 107 (3) pp 421-436.

Mason, T.W., A T Roper y A. Porter, 1999. Integrating environmental consequences and impact assessment into design process and corporate strategy. *Impact Assessment and Project Appraisal*. 17 (2) 141-145.

Moraes, R. M., W.B.C. Delitti y J.A.P.V. Moraes, 2003. Gas exchange, growth, and chemical parameters in a native Atlantic forest tree species in polluted areas of Cuabatao, Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 54 (3) 339 – 345.

Morriti, D. y A. Ingólfsson, 2003. Upper thermal tolerances of the beachflea *Orchestia gammarellus* (Pallas) (Crustacea: Amphipoda: Talitridae) associated with hot springs in Iceland. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 255 (2) 215 – 227.

Morris, P. 1995. Ecology – overview. In Morris P. y R. Therivel eds. *Methods of environmental impact assessment*. University College London Press. London. pp 197 -226

Olmsted, L.L. y Bolin J.W. 1996. Aquatic biodiversity and the electric utility industry. *Environmental Management* Vol. 20 (5) 805-814.

Pawson, M. G. Y D.R. Eaton (1999). The influence of a power station on the survival of juvenile sea bass in an estuarine nursery area. *Journal of Fish Biology* 54 (6) pp 1143-1160

Pérez-Maqueo, O., M. Equihua, A. Hernández y G. Benitez (2001). Visual programming languages as tool to identify and communicate the effects of a development project evaluated by means of an environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 21 (3) pp 291-306.

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Possingham, H.P., S.J. Andelman, M.A. Burgaman, R. A. Medellín, L. L. Master y D.A. Keith, 2002. Limits to the use of threatened species lists. *Trends in Ecology and Evolution* 17 (11) 503-507.

PUMA (Programa Universitario del Medio Ambiente de la Universidad Nacional Autónoma de México) 2001. Diagnóstico ambiental de la CT Petacalco.

Rajaguru, S. Y S. Ramachandran, 2001. Temperature tolerance of some stuarine fishes. *Journal of Thermal Biology* 26 (1) pp 41-45.

Ratcliffe, D.A. (ed) 1977. A nature conservation review, vols 1 y 2. Cambridge: Cambridge University Press (in Morris, 1995)

Sandström O., E Neuman y G. Thoresson, 1995. Effects of temperature on life history variables in perch. *Journal of Fish Biology* 47 (4) pp 652 – 670.

Sandström, O., I. Abrahamsson, J. Anderson y M. Vetemaa, 1997. Temperature effects on spawning and egg development in Eurasian perch. *Journal of Fish Biology* 51 (5) pp 1015 – 1024.

SEMARNAT 2002. Guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental del sector eléctrico. Modalidad Particular http://tramites.semarnat.gob.mx/html/Tramites/guias_impacto.html

Silvert, W, 1997. Ecological impact classification with fuzzy sets. *Ecological Modelling*. Vol. 96, pp 1-10

SISA (Sistemas de Ingeniería Sanitaria SA), 1992. Manifestación de Impacto Ambiental de la CT Colmi

Smythe K.D. , J.C. Bernabo, T.B. Carter y P.R. Jutro 1996. Focusing biodiversity research on the needs of decision makers. *Environmental Management* Vol. 20 (5) 865-872

Thomas, C.W., B J. Crear y P.R. Hart, 2000. The effect of temperature on survival growth, feeding and metabolic activity of the southern rock lobster, *Jasus edwardsii*. *Aquaculture* 185 (1-2) pp 73-84

Tommervik, H., K. A. Hogda e I. Solheim 2003. Monitoring vegetation changes in Pasvik (Norway) and Pechenga in Kola Penninsula (Russia) usin multitemporal Landsat MSS/TM data Remote Sensing of Environment 85 (3) 370 – 388.

Treweek, J. 1996 Ecology and environmental impact assessment. *Journal of Applied Ecology* 33, pp 191-199.

Treweek J.R., P. Hankard, D.B. Roy, H. Arnold y Sthompson, 1998. Scope for strategic ecological assessment of trunk-road development in England with respect to potential impacts on lowland heathland, the Dartford warbler (*Sylvia undata*) and the sand lizard (*Lacerta agilis*). *Journal of Environmental Management* 52 (2) pp 147 –163.

UAAAN (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), 2002 Manifestación de Impacto Ambiental de la LT Aeropuerto – Villa Garcia

UANL (Universidad Autónoma de Nuevo León), 2001 Manifestación de Impacto Ambiental de la LT Río Escondido – Arroyo el Coyote

UAT (Universidad Autónoma de Tamaulipas) 2003, Manifestación de Impacto Ambiental de la UTG Tuxpan

UMSNH (Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo), 2001. Manifestación de Impacto ambiental de la LT Agustín Millán – Volcán Gordo.

UADY (Universidad Autónoma de Yucatán), 2002. Manifestación de impacto ambiental de la LT Valladolid – Nizuc/Playa del Carmen

Diciembre 2003

**IMPACTO SOBRE LOS COMPONENTES BIÓTICOS POR PROYECTOS DE GENERACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

UADY (Universidad Autónoma de Yucatán), 2003. Manifestación de impacto ambiental de la LT Escarcega Pot – Sabancuy (En preparación)

Universidad de Veracruz, 1990. Manifestación de Impacto Ambiental de la CT Adolfo López Materos (CT Tuxpan) Unidades 5 y 6

UACH (Universidad Autónoma de Chapingo), 2002. Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional de la LT Cerro de Oro – Tecali

Virtanen, T., K. Mikkola, E. Patova y A. Nikula, 2002. Satellite image analysis of human caused changes in the tundra vegetation around the city of Vorkuta, north-European Russia. *Environmental Pollution* 120 (3) pp 647 – 658.

Vun, L.W., A. Latiff, 1999 Preliminary ecological input assessment and environmental impact assessment for coastal resort development in Malasya. *Impact Assessment and Project Appraisal*. 17(2) 133-40