

INDICADORES GEOLÓGICOS PARA ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Gonzalo Lobos Bustos¹

RESUMEN

Los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) se definen como un estudio técnico de carácter multi e interdisciplinario destinado a identificar, predecir, valorar y corregir las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones puedan causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. Una de las principales dificultades que presentan dichos EIA, al momento de su solicitud y revisión, es la elección de parámetros relevantes tanto en la caracterización del medio como en la evaluación de los potenciales impactos ambientales.

El presente trabajo tuvo como objetivo la proposición de una metodología que permita seleccionar los parámetros, asociados a la geología y geomorfología, relevantes en la realización de EIA de proyectos de infraestructura vial.

La metodología propuesta se basó esencialmente en un análisis matricial de las distintas variables asociadas a la geología, geomorfología, hidrología e hidrogeología. En particular, consistió en listar estas variables en la diagonal principal de la matriz, con el fin de definir la interacción entre cada una de ellas. Se construyeron dos matrices, una para las variables asociadas a la geología y geomorfología y otra para las variables asociadas a la hidrología e hidrogeología.

Lo anterior permitió definir una lista de parámetros relevantes al momento de establecer la línea base en un EIA.

Como parámetros relevantes asociados a la geología y geomorfología, resultaron la litología, estructuras, pendientes, disposición espacial de los materiales, tipo de depósito y tipo de suelo, mientras que la categoría del cauce², el caudal, pendiente del cauce, longitud del cauce, superficie de la llanura de inundación y zona de recarga de acuíferos fueron los parámetros relevantes asociados a la hidrología e hidrogeología.

Posteriormente, mediante una matriz causa efecto, se contrastaron las acciones más comunes de un proyecto vial con los parámetros seleccionados en la etapa anterior. De este análisis se obtuvo por una parte, información sobre cuales son las acciones más impactantes de un proyecto vial y por otra, cuales son los parámetros más impactados por estas acciones. Por otra parte y con el fin de cuantificar los impactos, en este trabajo se definieron dos grupos de indicadores. Un primer grupo, destinado a verificar el grado de impacto que cada acción produce sobre el medio, está constituido por el volumen de material sobrante, volumen de áridos a remover, número de cauces a intervenir, volumen de terraplenes, superficie afectada por voladuras, superficie afectada por tránsito de maquinaria y superficie para la instalación de faenas. El segundo grupo, destinado a medir el grado en que un parámetro es impactado por un determinado proyecto, está compuesto por el porcentaje de la superficie de recarga de acuíferos afectada, superficie afectada por inundaciones, cambio de pendientes, superficies de diversos suelos afectada por el proyecto, porcentaje de caudal desviado y cambios en la pendiente de los cauces.

¹ Dirección General de Aguas, Morandé 59, Santiago. e-mail: globosb@entelchile.net

² De acuerdo a la clasificación de Horton.

La metodología propuesta permitirá definir los términos de referencia, asociados a la geología, geomorfología, hidrología e hidrogeología para la realización de un EIA de un proyecto de infraestructura vial.

1. INTRODUCCION

En nuestro país, producto de una creciente preocupación por el medio ambiente y de regulaciones internacionales, se promulgó, en 1994, la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. En tal ley está contenido el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), proceso que evalúa ambientalmente los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental.

El artículo 10 de la Ley de Bases del Medio Ambiente señala una lista de proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, los cuales deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. En tal lista encontramos por ejemplo: aeropuertos, terminales de buses, de camiones y de ferrocarriles, vías férreas, estaciones de servicio, autopistas y los caminos públicos que puedan afectar áreas protegidas.

La principal herramienta utilizada en el SEIA son los estudios de Impacto Ambiental (EIA), los cuales se definen como un estudio técnico de carácter multi e interdisciplinario destinado a identificar, predecir, valorar y corregir las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones puedan causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. Una de las principales dificultades que presentan dichos EIA, al momento de su solicitud y revisión, es la elección de parámetros relevantes tanto para la caracterización del medio como para la evaluación de los potenciales impactos ambientales.

El presente trabajo surgió de la necesidad de establecer pautas claras, que den cuenta de los contenidos necesarios y suficientes para los EIA, y tuvo como objetivo la proposición de una metodología para se-

leccionar los parámetros ambientales, asociados a la geología y geomorfología, que deben ser considerados al realizar un EIA asociado a proyectos de infraestructura vial.

2. MARCO LEGAL

En marzo de 1994 fue promulgada la ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. En el Artículo N° 1 de esta ley se establece: "que el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia". Es en este artículo en que se deja en claro que es esta ley la que se hace cargo de lo establecido en el inciso octavo del Artículo 19 de la Constitución Política de la República de Chile.

La ley 19.300 aborda temas como definiciones (Art. 2), instrumentos de gestión ambiental, educación e investigación (Art. 6 y 7), Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Art. 8 al 25), participación de la comunidad en el procedimiento de evaluación de impacto ambiental (Art. 26 al 31), Normas de calidad ambiental y de preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental (Art. 32 al 39), Normas de emisión (Art. 40), planes de manejo, prevención o descontaminación (Art. 41 al 48), responsabilidad por daño ambiental (Art. 51 al 63), fiscalización ambiental (Art. 64 y 65), fondo de protección ambiental (Art. 66 al 68), Comisión Nacional del Medio Ambiente (Art. 69 al 92) y Artículos Transitorios (7 Artículos).

El SEIA es un proceso que evalúa los

proyectos o actividades que se señalan en la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (artículos 10 y 11) promulgada en marzo de 1994. Su objetivo es pronosticar, sobre bases científicas y técnicas, los impactos ambientales de corto, mediano y largo plazo, y regular la asignación de permisos o pronunciamientos de carácter ambiental que, de acuerdo a la legislación vigente, emiten los organismos del Estado.

El SEIA está basado en:

- Un conjunto de proyectos que obligatoriamente deben someterse al SEIA y que se encuentran identificados en el Artículo 3 de Reglamento del SEIA.
- Un conjunto de seis criterios que definen el marco ambiental para evaluar los proyectos. Estos criterios se detallan en los Artículos 5, 6, 8, 9, 10 y 11 del Reglamento del SEIA.
- Una instancia formal de revisión única por parte de las Comisiones Regionales del Medio Ambiente (COREMAS) y de los Servicios con competencia ambiental, a través del cual se otorgan todos los permisos de carácter ambiental. Se involucra a la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) si los proyectos son de carácter transregional.
- Un Estudio o una Declaración de Impacto Ambiental como instrumento cuyo contenido técnico permite realizar la evaluación. El Estudio está reservado para proyectos que potencialmente pueden presentar impactos significativos y la Declaración para proyectos que se ajustan a las normas ambientales vigentes.
- Un procedimiento que establece funciones, plazos y forma de administración, un mecanismo formal de Participación Ciudadana y la revisión de estudios de impacto ambiental.

Sin embargo, a pesar que la ley 19.300 fue publicada en marzo de 1994, no fue hasta

el 3 de abril de 1997 que el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental fue publicado. Hasta esta fecha, el sistema de evaluación de impacto ambiental sólo funcionó en forma voluntaria, es decir, era una decisión de cada titular de proyecto el someterse o no al proceso de evaluación de impacto ambiental. A pesar del carácter voluntario del sistema, el número de proyectos ingresados fue considerable.

3. LOS PROYECTOS VIALES Y SU IMPACTO AMBIENTAL

Esquemáticamente podemos decir que la infraestructura vial consiste en una obra lineal que, con una determinada rigidez geométrica (sección, radio de curvas y pendientes) y ciertos criterios (socio-políticos, técnicos y económicos) que determinan su oportuno grado de adaptación topográfica, une dos puntos del territorio surcando el espacio que los separa. Para conseguir tal plataforma se deben usar puentes, viaductos, túneles, cortes y terraplenes; además se necesitarán empréstitos y botaderos.

Los caminos y carreteras constituyen obras de infraestructura que afectan grandes extensiones del territorio. La construcción de estas obras produce diversas alteraciones sobre el medio y los impactos son difíciles de identificar y por lo tanto difíciles de corregir.

Estas obras poseen, fundamentalmente, dos características que los diferencian de otro tipo de proyectos.

Estas características son:

- i. **Carácter lineal muy acentuado:** Son elementos de infraestructura cuyo impacto está marcado en una estrecha y larga banda.

Dicha banda cada vez se acomoda menos a los obstáculos orográficos y geológicos que la naturaleza pone a su paso, debido fundamentalmente a razo-

nes económicas. El resultado final será una aguda incisión en el territorio.

- ii. **Notable importancia de los impactos indirectos:** El escaso ancho de la banda, no implica la limitación espacial de los impactos. Fuera de dicha banda se ejercen otra serie de impactos, de importancia y magnitud variable, que en la mayoría de los casos, representan un problema mayor que el generado en la propia banda de impacto directo, tanto a nivel de caracterización como de corrección.

Datos europeos estiman que el 60% del impacto ambiental producido por obras viales se debe al proceso de selección de alternativas de trazado, el 30% del impacto se produce por los métodos constructivos utilizados y sólo el 10% corresponde a un impacto residual de difícil caracterización "a priori".

Lo anterior significa que el mayor impacto producido por un proyecto relacionado a carreteras o caminos nuevos se debe a una mala selección del trazado en el proceso de selección de alternativas. Es en esta etapa entonces, donde el impacto ambiental puede reducirse en gran medida. De esta forma, en la fase de construcción, los posibles problemas deberán ser menores y estar circunscritos entre márgenes que permitan la adopción de medidas correctoras.

En cuanto a proyectos de mejoramiento o cambio de estándar de caminos y carreteras, el impacto ambiental se asocia esencialmente a la etapa constructiva, ya que el trazado existente solo sufrirá modificaciones mínimas que no mitigarán ni aumentarán el impacto producido por una mala elección del trazado anterior.

Las acciones potencialmente impactantes de estos proyectos son variadas y también dependerán estrechamente del proyecto que se evalúe.

4. PROPOSICION DE UNA METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN DE PARAMETROS E INDICADORES GEOLOGICOS AMBIENTALES

Si bien, el Artículo 12 del Reglamento del SEIA establece los contenidos mínimos para la elaboración de los EIA, esta definición es de carácter general y no aborda en detalle los parámetros ambientales que se deberán incluir.

En lo que respecta a la Línea Base se establece que en lo concerniente al medio físico se deberá caracterizar y analizar el clima, la geología, la geomorfología, la hidrogeología, la oceanografía, la limnología, la hidrología y la edafología. Asimismo, se considerarán los niveles de ruido, presencia y niveles de vibraciones y luminosidad, de campos electromagnéticos y de radiación, calidad del aire y de los recursos hídricos.

De lo anterior se desprende que no existe suficiente claridad en cuanto a los parámetros ambientales que se deberán incluir en un EIA, sólo se señalan los factores ambientales que estos deben abordar.

Debido a lo antes mencionado cada EIA aborda, dentro del marco establecido por la ley, los factores ambientales de forma particular, no existiendo una forma común de caracterización ambiental de los factores de interés. Es así, por ejemplo, que en algunos EIA se hace una extensa descripción del marco geológico del área de emplazamiento, describiendo los procesos geológicos que han afectado a la zona de interés, mientras que en otros EIA de proyectos similares sólo se presentan vagas referencias sobre la geología del área de emplazamiento.

De lo anterior surge la necesidad de establecer cuales son los parámetros ambientales que deben considerarse al momento de realizar un EIA. En las siguientes páginas se abordará tal problemática. La definición clara

de los contenidos de un EIA ayudará a que estos documentos no resulten extremadamente extensos, en donde no se incorpore información que no sea relevante para un EIA en particular, o se caiga en el otro extremo, es decir, exista un déficit de información, lo cual redundará en una deficiente evaluación ambiental del proyecto.

El fin de esta metodología no es proponer nuevos parámetros, sino que a partir de una lista de parámetros llegar a establecer cual o cuales de ellos tienen relevancia ambiental. Los parámetros que se utilizarán en la confección de la lista a la cual se le aplicará la metodología en cuestión corresponden a una recopilación de los parámetros más frecuentemente utilizados en diversos EIA. Esta proposición está basada en una metodología propuesta por Mazzoccola y Hudson (1996) para la predicción de inestabilidad de laderas a gran escala. Esta consiste en un tratamiento matricial, el cual es descrito a continuación:

1. Se define una matriz cuadrada de orden n , tal que n es el número de parámetros a estudiar.
2. En la diagonal principal de esta matriz se listan los parámetros a estudiar.
3. Luego se procede a definir las interacciones entre los parámetros de la siguiente forma:
En el elemento a_{ij} se representa la influencia que tiene el elemento a_{ii} sobre el elemento a_{jj} (se construye en forma horaria). El elemento a_{ji} por su parte, representará la influencia del elemento a_{jj} sobre el elemento a_{ii} . Debido a la forma de construcción de la matriz, esta debe resultar asimétrica, ya que la influencia que posee el elemento a_{ij} sobre el elemento a_{jj} no es necesariamente igual a la influencia del elemento a_{jj} sobre el elemento a_{ii} . La forma de representar la influencia de una variable sobre otra es numérica, di-

cha interacción puede ser representada en forma binaria, es decir, 0 significa que un elemento no tiene influencia sobre otro y 1 significa que existe influencia, sin especificar la magnitud de esta. Otra forma de representar dicha interacción es establecer una escala con el grado de interacción que existe entre los parámetros.

4. Una vez que se ha completado la matriz se procede a realizar la sumatoria de las interacciones, ya sea tanto por filas como por columnas. Así se obtendrá una columna $n+1$ y una fila $n+1$. La columna $n+1$ contendrá la suma de las filas de la matriz cuadrada de orden n , esta columna representará la influencia del parámetro que se encuentra en dicha columna (causa), es decir, como éste afecta al resto de los demás parámetros (al sistema), mientras que la fila $n+1$ contendrá la suma de cada una de las columnas de la matriz, esta fila representará los efectos, es decir, como el sistema (el conjunto de los parámetros) afecta al parámetro que está contenido en esa columna.
5. Una vez realizado lo anterior, se procederá a graficar causa (influencia) v/s efecto (sensibilidad) para cada uno de los parámetros estudiados, así se obtendrá un gráfico en el cual podremos diferenciar cuatro zonas (fig. 1). Dependiendo de la zona en que se ubique un parámetro podremos clasificarlo de la siguiente forma:
 - i. **Parámetros dominantes**, son aquellos que se ubican en el borde inferior derecho, estos parámetros poseen una causa alta (o alta influencia) y un efecto bajo (o baja sensibilidad), es decir, son variables cuya modificación influye de manera sustancial en el sistema, pero la modificación del resto de las variables no influye en gran medida sobre este.

- ii. **Parámetros subordinados**, son aquellos que se ubican en la esquina superior izquierda, estos parámetros poseen una causa baja y un efecto alto, es decir, son parámetros que se verán fuertemente afectados por una modificación del sistema, pero un cambio en ellos no provocará efectos considerables sobre el sistema.
- iii. **Parámetros de baja interacción**, son los que se ubican en la esquina inferior

izquierda, estos parámetros poseen bajo tanto la causa como el efecto, es decir, estos parámetros no afectan ni se ven afectados por el resto del sistema.

- iv. **Parámetros de alta interacción**, son aquellos que se ubican en la esquina superior derecha, poseen un alto valor tanto en la causa como en el efecto, es decir, ellos afectan y se ven afectados por el sistema en gran medida.

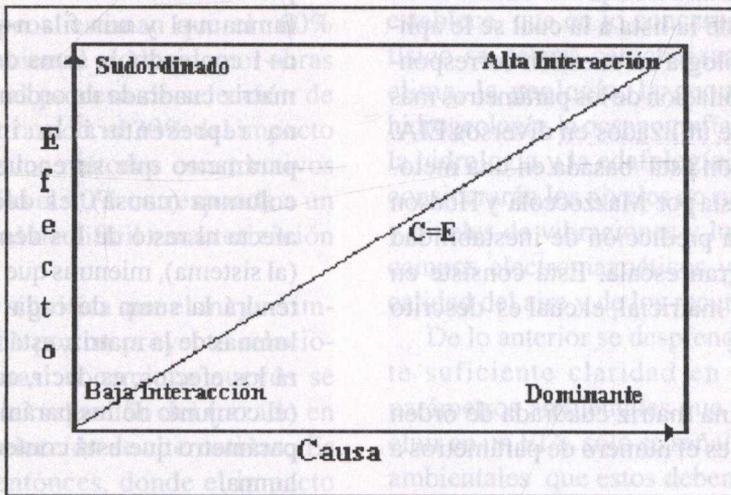


Fig. 1
Diferentes Campos Según los Valores de Causa y Efecto.

En lo referente a la forma de completar la matriz existirán ventajas y desventajas al utilizar la forma binaria o una escala con diferentes grados. Una escala permite diferenciar mejor los pesos relativos de cada variable. Al momento de definir la escala a usar se debe poner especial cuidado, ya que una mala elección de ésta puede equivocar los resultados. Es ideal que se utilice una misma escala para todos los grupos de parámetros, ya sean estos geomorfológicos, hidrológicos o de cualquier otro grupo que no sea parte de este estudio. La asignación del grado en que una variable afecta a otra

debe ser realizada por un especialista del área.

Completar la matriz en forma binaria, presenta la ventaja de impedir subjetividades con respecto al grado de interacción de los diferentes parámetros. Sólo se indicará sí existe o no interacción entre un par de parámetros, no importando el grado de ésta. Esta forma de completar la matriz resultará más adecuada con el fin de evitar las discusiones entre los especialistas centradas en el grado de dicha interacción.

De cualquier forma que sea completada la matriz de interacción, sí se realiza correc-

tamente, los parámetros se ubican en los mismos campos del gráfico causa versus efecto.

El análisis detallado del gráfico causa v/s efecto constituye una herramienta para la elección de los parámetros a estudiar en un sistema particular. Los parámetros que deben ser estudiados son los que tienen una importante influencia sobre el sistema, es decir poseen una gran causa en el gráfico (fig. 1). Según lo anterior, corresponden a los que caen dentro de los campos dominante y de alta interacción.

Los parámetros que se ubican en los campos de baja interacción y/o subordinados no influirán en el sistema de manera preponderante, pero no deben ser descartados del estudio a priori. Especial cuidado debe tenerse con los parámetros subordinados, ya que estos, como se ha establecido anteriormente, son afectados por el sistema, pero no afectan en forma determinante al sistema en su conjunto. Es por esta razón que si el resto del sistema es alterado, un parámetro subordinado se verá afectado. Debido a lo anterior podría estar en presencia de un caso en que se ha determinado que el sistema se verá afectado por un determinado proyecto y por lo tanto los parámetros subordinados también se verán afectados y si alguno de estos parámetros clasificados como subordinados constituye un factor de interés para el área en que se desarrolla el proyecto, este deberá ser estudiado.

4.1 Elección de Parámetros

En esta sección se utilizará la metodología antes descrita para la selección de parámetros ambientales que sean relevantes al momento de realizar un EIA de una obra vial. Estos parámetros ambientales son los asociados a la geología, geomorfología, hidrología e hidrogeología.

4.2 Parámetros Geológicos y Geomorfológicos

Los parámetros asociados a la geología y geomorfología que serán analizados mediante la metodología antes descrita son los siguientes:

- A: Pendientes
- B: Forma de la cuenca
- C: Litología
- D: Tipo de suelo
- E: Estructuras geológicas
- F: Características geotécnicas
- G: Tipo de depósito
- H: Puntos de interés geológico
- I: Paisaje asociado a la geomorfología
- J: Grado de erosionabilidad
- K: Disposición espacial de los materiales

La matriz de interacción para los parámetros geológicos y geomorfológicos será completada de las dos formas indicadas anteriormente (en forma binaria y con una escala de 5 grados de interacción) con el fin de comparar los resultados obtenidos con cada método.

La escala a utilizar contendrá los grados de interacción que a continuación se indican:

- 0: No existe interacción
- 1: Interacción de bajo grado
- 2: Interacción de grado medio
- 3: Interacción de alto grado
- 4: Interacción de muy alto grado

Con la anterior escala, se obtiene la siguiente matriz de interacción para los parámetros geológicos y geomorfológicos señalados anteriormente.

A	3	0	2	0	1	4	0	4	4	2	20
0	B	0	0	0	0	0	0	3	3	0	6
3	3	C	3	3	4	1	3	2	3	0	25
3	3	1	D	0	3	0	0	0	3	0	13
2	2	0	0	E	4	3	3	2	1	4	21
2	2	0	0	0	F	0	2	1	3	0	10
3	2	0	4	0	4	G	3	3	4	2	25
0	0	0	0	0	0	0	H	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0
3	3	0	0	0	2	4	0	4	J	0	16
3	2	0	0	0	3	1	1	3	3	K	16

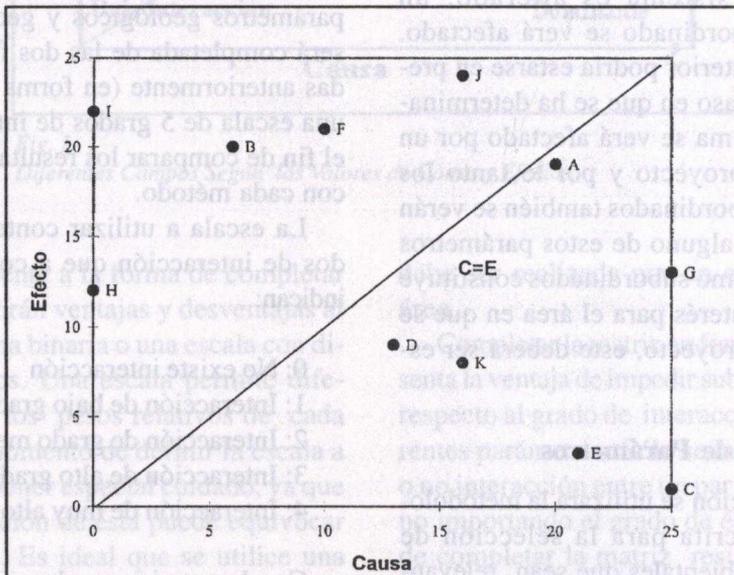
19	20	1	9	3	21	13	12	22	24	8
----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	---

EFEECTO

*Matriz N° 1
Interacción para Parámetros Geológicos y Geomorfológicos*

En el gráfico N°1 se muestra la causa versus el efecto para cada parámetro, observándose la ubicación de cada una de las

variables, según los campos anteriormente definidos.



*Gráfico N° 1
Causa vs Efecto para Parámetros Geológicos y Geomorfológicos*

La matriz N° 2 resulta de utilizar la forma binaria. El gráfico N°2 muestra causa

versus efecto para el caso en que la matriz ha sido llenada en forma binaria.

A	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	7
0	B	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
1	1	C	1	1	1	1	1	1	1	0	9
1	1	1	D	0	1	0	0	0	1	0	5
1	1	0	0	E	1	1	1	1	1	1	8
1	1	0	0	0	F	0	1	1	1	0	5
1	1	0	1	0	1	G	1	1	1	1	8
0	0	0	0	0	0	0	H	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0	1	J	0	5
1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	K	7
EFFECTO											
7	8	1	3	1	7	5	5	8	8	3	

Matriz N° 2 (Binaria)
Interacción para Parámetros Geológicos y Geomorfológicos

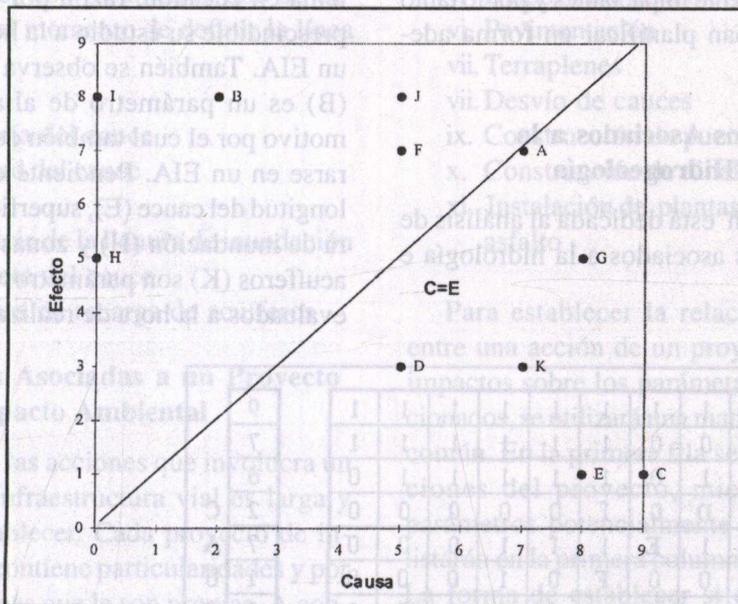


Gráfico N° 2
Causa v/s Efecto para Parámetros Geológicos y Geomorfológicos

De la inspección de los dos gráficos anteriores se concluye que los diferentes parámetros se comportan de manera semejante, independiente de la forma en que se complete la matriz de interacción (forma

binaria o aplicando otra escala), es decir, si bien sus posiciones relativas en los gráficos N°1 y N°2 no son las mismas, se mantienen en los mismos campos.

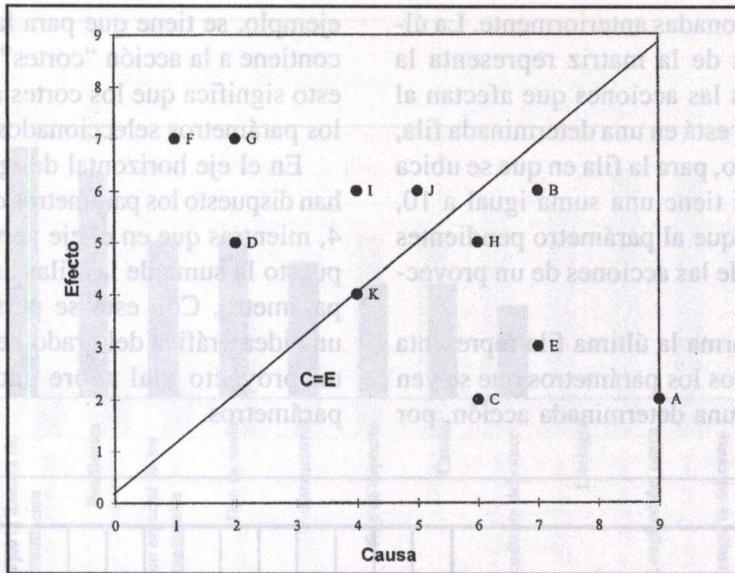


Gráfico N° 3

Causa vs Efecto para Parámetros Asociados a la Hidrología e Hidrogeología

En resumen los parámetros que se deben estudiar al momento de definir la línea base son:

- i. Categoría del cauce
- iv. Longitud del cauce
- ii. Caudal
- v. Superficie de la llanura de inundación
- iii. Pendiente del cauce
- vi. Zonas de recarga de acuíferos

4.4 Acciones Asociadas a un Proyecto Vial y su Impacto Ambiental

La lista de las acciones que involucra un proyecto de infraestructura vial es larga y difícil de establecer. Cada proyecto de infraestructura contiene particularidades y por lo tanto acciones que le son propias. A continuación se entrega una lista con las acciones más comunes que involucra la construcción de un proyecto de vialidad.

- i. Instalación de faenas
- ii. Despeje y preparación de la faja
- iii. Tránsito de maquinaria
- iv. Explotación de áridos

- v. Disposición de materiales sobrantes
- vi. Pavimentación
- vii. Terraplenes
- viii. Desvío de cauces
- ix. Construcción de puentes
- x. Construcción de túneles
- xi. Instalación de plantas de hormigón o asfalto

Para establecer la relación que existe entre una acción de un proyecto vial y los impactos sobre los parámetros antes seleccionados, se utilizará una matriz causa efecto común. En la primera fila se listarán las acciones del proyecto, mientras que los parámetros potencialmente impactados se listarán en la primera columna (matriz N°4). La forma de establecer si existe impacto sobre una variable provocada por una determinada acción será binaria, es decir, 1 si existe impacto, sin importar la magnitud de este y 0 si no existe impacto.

La matriz N° 4 presenta la relación causa-efecto entre las acciones de un proyecto vial y las variables asociadas a la geología, geomorfología, hidrogeología e hidrología que

fueron seleccionadas anteriormente. La última columna de la matriz representa la suma de todas las acciones que afectan al parámetro que está en una determinada fila, así por ejemplo, para la fila en que se ubica pendientes, se tiene una suma igual a 10, esto significa que al parámetro pendientes lo afectan 10 de las acciones de un proyecto vial.

De igual forma la última fila representa la suma de todos los parámetros que se ven afectados por una determinada acción, por

ejemplo, se tiene que para la columna que contiene a la acción "cortes" la suma es 6, esto significa que los cortes afectan a 6 de los parámetros seleccionados.

En el eje horizontal del gráfico N° 4 se han dispuesto los parámetros de la matriz N° 4, mientras que en el eje vertical se ha dispuesto la suma de las filas asociada a cada parámetro. Con esto se persigue entregar una idea gráfica del grado de afectación de un proyecto vial sobre cada uno de los parámetros.

	Instalación de faenas	Tránsito de maquinaria	Despeje y preparación de la faja	Cortes	Voladuras	Terraplenes	Explotación de áridos	Disposición de materiales sobrantes	Construcción de puentes	Desvío de cauces	Construcción de túneles	Instalación de plantas de hormigón o asfalto	Pavimentación	Suma
Litología	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estructuras	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	6
Tipo de depósito	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	5
Pendientes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	10
Disposición espacial de los materiales	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	7
Tipo de suelo	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	7
Caudal	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	5
Longitud del cauce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Categoría del cauce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Superficie de la llanura de inundación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	11
Pendiente del cauce	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	4
Area de recarga de acuíferos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	12
Suma	4	5	3	6	6	7	8	9	7	8	2	0	2	

Matriz N° 4

Relación Causa Efecto para las Acciones de la Construcción de un Proyecto Vial y Parámetros Geológicos, Geomorfológicos, Hidrogeológicos e Hidrológicos

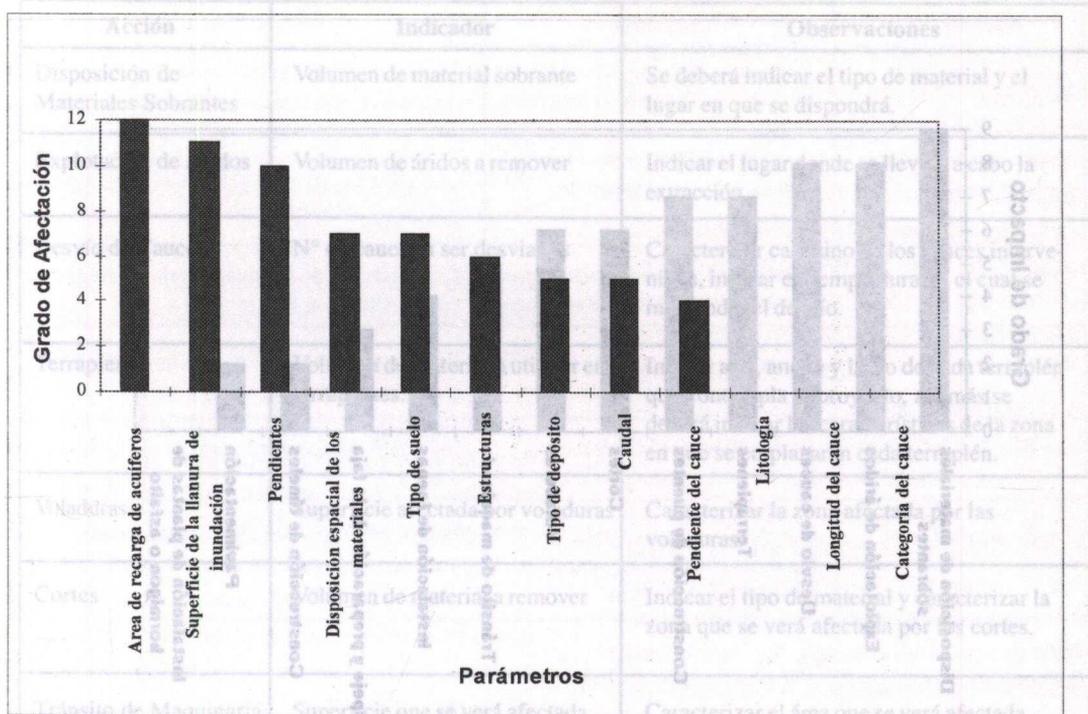


Gráfico N° 4
Grado de Afectación de cada Parámetro

De la observación del gráfico N°4 se desprende que el área de recarga de acuíferos es el parámetro potencialmente más impactado, mientras que la categoría y longitud del cauce corresponden a parámetros que no se ven afectados por las acciones de un proyecto vial.

En el eje de las abcisas del gráfico N° 5 se han dispuesto las mismas acciones de un proyecto vial que fueron listadas en la matriz N°4, mientras que el eje de las ordenadas se ha situado la suma de las columnas asociada a cada acción. Con lo anterior se logra tener una apreciación gráfica del grado de impacto producido por cada una de las diferentes acciones.

Del análisis del gráfico N° 5 se desprende que la disposición de materiales sobrantes es la acción potencialmente más impactante, mientras que la instalación de

plantas de hormigón o asfalto es la acción con menor grado de impacto sobre los parámetros aquí estudiados.

En resumen se tendrán 2 grupos de indicadores de impacto ambiental. Un primer grupo de indicadores asociado a las acciones del proyecto, estos tendrán la finalidad de medir el grado de impacto que una determinada acción produce sobre el sistema.

El segundo grupo de indicadores se relaciona con los parámetros ambientales, es decir, este grupo medirá el grado en que un determinado factor ambiental se ve afectado por el proyecto en su conjunto.

4.5 Proposición de Indicadores de Impacto Ambiental

A continuación se procederá a proponer indicadores que midan de una u otra manera el impacto ambiental asociado a una deter-

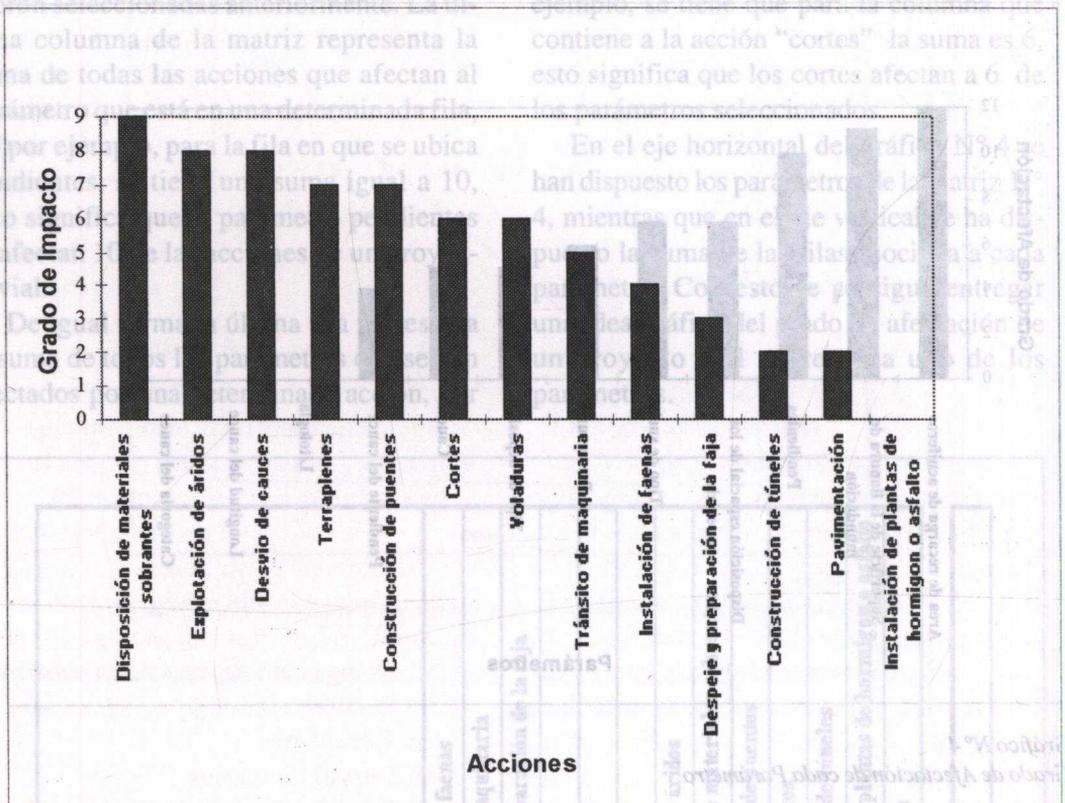


Gráfico N° 5
Grado de Impacto de las Acciones de un Proyecto Vial

minada acción de un proyecto vial. Por otro lado, también se procederá a la propuesta de indicadores que sean capaces de medir el grado de impacto que un determinado parámetro ambiental sufre a raíz de un determinado proyecto.

Con lo anterior se alcanzarán 2 objetivos:

- i. El conjunto de indicadores asociados a las acciones de un proyecto nos indicará que tan impactante es el proyecto que se está evaluando. Con esto se estará en condiciones de determinar cual o cuales son las acciones del proyecto que necesitarán un mayor grado de atención desde el punto de vista ambiental. Esta atención medio ambiental se expresa en medidas de prevención, mitigación y restauración

que se hagan cargo de los efectos que provoca una determinada acción.

- ii. El grupo de indicadores asociados a los parámetros ambientales nos indicará cuáles son los factores ambientales más impactados por el proyecto en particular que se está evaluando. Lo anterior podrá traducirse por ejemplo en programas de monitoreo que sean capaces de evaluar la evolución del parámetro en cuestión.

Las tablas siguientes resumen la propuesta de indicadores asociados a los dos grupos antes descritos.

A continuación se propondrán los términos de referencia, en cuanto a geología y geomorfología, para un EIA de un proyecto

Acción	Indicador	Observaciones
Disposición de Materiales Sobrantes	Volumen de material sobrante	Se deberá indicar el tipo de material y el lugar en que se dispondrá.
Explotación de Áridos	Volumen de áridos a remover	Indicar el lugar donde se llevará a cabo la extracción.
Desvío de Cauces	Nº de cauces a ser desviados	Caracterizar cada uno de los cauces intervenidos, indicar el tiempo durante el cual se mantendrá el desvío.
Terraplenes	Volumen de material a utilizar en terraplenes.	Indicar alto, ancho y largo de cada terraplén que contempla el proyecto, además se deberá indicar las características de la zona en que se emplazarán cada terraplén.
Voladuras	Superficie afectada por voladuras	Caracterizar la zona afectada por las voladuras.
Cortes	Volumen de material a remover	Indicar el tipo de material y caracterizar la zona que se verá afectada por los cortes.
Tránsito de Maquinaria	Superficie que se verá afectada por el tránsito de maquinaria	Caracterizar el área que se verá afectada. Indicar número y tipo de maquinaria.
Instalación de Faenas	Superficie necesaria para la instalación de faenas	Indicar el tipo de instalaciones. Descripción del lugar de emplazamiento de las instalaciones.

Tabla 1
Indicadores Asociados a las Acciones de un Proyecto Vial

vial. Esta proposición de términos de referencia abarcará esencialmente los contenidos de la Descripción del Proyecto, Línea Base e Identificación y Evaluación de Impactos.

Descripción del Proyecto

El capítulo correspondiente a Descripción del Proyecto, en cuanto a lo relacionado con Geología y Geomorfología, deberá presentar los siguientes contenidos:

- i. Plano a escala 1:50.000 (escala mínima) en que se muestre el trazado del proyecto.
- ii. Estimación de los volúmenes de: Corte, Terraplenes y Material Sobrante.

- iii. Lugares en donde se dispondrán los materiales sobrantes
- iv. Nº de cauces que el proyecto interceptará.
- v. Volumen de áridos necesarios para el proyecto y lugares de extracción.
- vi. Plantas de hormigón o asfalto que requiere el proyecto.
- vii. Descripción de la instalación de faenas indicando el tipo y número de instalaciones necesarias.
- viii. Número y tipo de maquinaria que se utilizará en el proyecto.
- ix. Necesidad de realizar voladuras.
- x. Número de puentes que contempla el proyecto.

Parámetro	Indicador	Observaciones
Area de Recarga de Acuíferos	Porcentaje de la superficie de recarga afectada por el proyecto	Se deberá indicar la superficie que será definitivamente impermeabilizada.
Superficie de Llanura de Inundación	Superficie afectada por inundaciones debidas al proyecto	Se deberán establecer los periodos de retorno para las áreas de inundación afectadas por el proyecto.
Pendientes	Pendientes naturales, pendientes resultantes y superficie afectada.	Comparación de la situación sin proyecto versus situación con proyecto.
Tipo de Suelo	Superficie, de cada tipo de suelo, afectada por el proyecto.	Expresar la superficie en términos absolutos y en porcentaje.
Caudal	Porcentaje de caudal desviado	Indicar el tiempo por el cual se mantendrá el desvío.
Pendiente del Cauce	Porcentaje en que cambia la pendiente natural del cauce producto de las obras	Indicar el largo y una caracterización del tramo en que ocurre la alteración de la pendiente natural.

Tabla 2
Indicadores Asociados a los Parámetros Ambientales

Línea Base

En lo referente al capítulo de Línea Base, este deberá contener los siguientes tópicos:

- i. Descripción de las unidades geomorfológicas del área en que se emplaça el proyecto.
- ii. Descripción de las unidades litológicas que atraviesa el proyecto. Esta descripción debe estar enfocada a la competencia geotécnica de los macizos rocosos y de los suelos.
- iii. Estudio geológico-estructural de las unidades descritas en ii.
- iv. Mapa de pendientes.
- v. Estratigrafía del área.
- vi. Caracterización de las cuencas atravesadas por el proyecto, en cuanto a caudales de los cauces interceptados, pendientes de los cauces, delimitación de las áreas de inundación
- vii. Hidrogeología, profundidad del nivel freático, áreas de recarga de acuíferos.

Predicción y Evaluación del Impacto Ambiental

En el capítulo correspondiente a Predicción y Evaluación del Impacto Ambiental se deberá incluir:

- i. Superficie de recarga de acuíferos que se verá afectada por las acciones del proyecto.
- ii. Superficie de llanura de inundación que se verá afectada por el proyecto.
- iii. Comparación de las pendientes antes y después del proyecto.
- iv. Superficie de los diferentes tipos de suelo afectadas por el proyecto.
- v. Porcentajes de caudales desviados en los cauces afectados por las obras del proyecto.
- vi. Porcentaje de cambio de las pendientes de cauces afectados por el proyecto.

La evaluación de estos impactos se deberá realizar según las pautas de la tabla 3.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente estudio ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

1. Los principales problemas que se presentan al momento de encargar y evaluar Estudios de Impacto Ambiental, de cualquier proyecto en general y de proyectos de infraestructura vial en particular, se relacionan con la elección de los parámetros e indicadores ambientales relevantes para el estudio.
2. La metodología propuesta para la selección de parámetros e indicadores geológico ambientales entrega similares resultados al definir las interacciones entre parámetros, ya sea en forma binaria o utilizando otro tipo de escala.
3. La forma binaria de definir la interacción entre parámetros resulta ser la manera menos subjetiva de realizar dichas definiciones, por lo tanto, es la forma recomendada por este estudio.
4. Según la metodología propuesta en este trabajo, los parámetros relevantes, asociados a la geología, geomorfología, hidrología e hidrogeología, son:
 - Litología
 - Estructuras Geológicas
 - Pendientes
 - Disposición Espacial de los Materiales
 - Tipo de Depósito
 - Tipo de Suelo
 - Categoría del Cauce
 - Caudal
 - Pendiente del Cauce
 - Longitud del Cauce
 - Superficie de la Llanura de Inundación
 - Zona de Recarga de Acuíferos
5. Los parámetros clasificados, según la metodología propuesta, como no relevantes generalmente pueden ser considera-

dos como una agregación de algunos de los que son clasificados como relevantes, es decir, se encuentran representados en los que han sido definidos en esta categoría.

6. Siempre se deberá tener presente, independientemente de lo predicho por la metodología propuesta, la opinión de expertos sobre la necesidad de incluir parámetros que hayan sido clasificados como no relevantes.
7. Se ha logrado definir los términos de referencia para la realización de EIA de proyectos de infraestructura vial.
8. La naturaleza de los parámetros incluidos en la Línea Base, en conjunto con las características de los Proyecto Viales, imposibilitan la existencia de impactos potenciales en algunos de ellos, es decir, algunos de los parámetros que se incluyen en la Línea Base no se ven afectados por un proyecto de infraestructura vial.
9. Se han definido Indicadores de Impacto asociados a las Acciones de un Proyecto Vial, Tabla N° 1.
10. Se han definido Indicadores de Impacto Ambiental asociados a los parámetros ambientales potencialmente afectados por un Proyecto Vial, Tabla N° 2.

REFERENCIAS

1. Ayala Carcedo, F. Manual para el Diseño y Construcción de Escombreras y Presas de Residuos Mineros. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, 1986. 182 p.
2. Chile. Ministerio de Obras Públicas, Subsecretaría de Obras Públicas, Unidad Técnica de Medio Ambiente. Pautas y Guías Metodológicas para la Evaluación de Proyectos del Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile, 1993.

3. Chile. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad. Manual de Carreteras, Vol. 3, Instrucciones de Diseño. Santiago, Chile, 1981. 434 p.
4. Chile. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad. Especificaciones Ambientales Generales: Documento de Trabajo. Santiago, Chile, <1990 ?>. 8 p.
5. Constitución Política de la República de Chile. Decreto N° 1104 del Ministerio de Justicia, Santiago, Chile, 28 de julio de 1994.
6. Contreras, P. Factibilidad de Aplicación de Metodologías de Impacto Ambiental a Carreteras en Chile, Memoria (Ingeniero Civil). Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 1994. 180 p.
7. Espinoza, G.; García, S.; Valenzuela, F.; Jure, J. Algunas Experiencias Derivadas de la Aplicación del Sistema Voluntario de Evaluación de Impacto Ambiental en Chile. Documento de Trabajo N° 35, Centro de Estudios del Desarrollo. Santiago, Chile, 1997. 22 p.
8. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. Madrid, 1991. 301 p.
9. Leiva, J. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Acceso Norte a Concepción, Santiago, Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad. 1997. 169 p.
10. Ley N° 19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 9 de marzo de 1994.
11. Mazzoccola, D.; Hudson, J. A Comprehensive Method of Rock Mass Characterization for Indicating Natural Slope Instability. Quarterly Journal Of Engeneering Geology (29) : 37-56, 1996.
12. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de España. Guías Metodológicas para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental, 1, Carreteras y Ferrocarriles. Madrid, 1991. 165 p.
13. Monsalve, L. Estudios de Impacto Ambiental de los Proyectos de Puentes en Chile, Memoria (Ingeniero Civil). Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 1994. 169 p.
14. Simposio sobre el Agua y el Terreno en las Infraestructuras Viarias (1989. Torremolinos). Trabajos. Torremolinos, 1989. 466 p.
15. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 3 de abril de 1997.
16. Valenzuela, J. Manual de Vialidad Urbana, Vol. 3 Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana. Santiago, Chile, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1984. 416 p.
17. Villarino, T. Indicadores de Impacto. En II Simposio Nacional sobre Carreteras y Medio Ambiente (1992, Las Palmas de Gran Canaria). Trabajos. Las Palmas de Gran Canaria, 1992. pp. 435-452.
18. II Simposio Nacional sobre Carreteras y Medio Ambiente (1992. Las Palmas de Gran Canaria). Trabajos. Las Palmas de Gran Canaria, 1992. 666 p.