



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**Evaluación de la peligrosidad y el riesgo
de erosión costera basada en
indicadores ambientales**

**Tesina para obtener el Diploma de
la Especialidad en Administración
de Recursos Marinos**

Presenta:

Alejandro Jorge Arturo Monti

Ensenada, Baja California, Noviembre de 2000



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**Evaluación de la peligrosidad y el riesgo
de erosión costera basada en
indicadores ambientales**

Presenta:

Alejandro Jorge Arturo Monti

Aprobada por:

M.C. Jose Luis Ferman Almada
Presidente del Jurado

M.C. Anamaria Escofet Giansone
Sinodal Titular

M.C. Rigoberto Guardado France
Sinodal Titular

Ensenada, Baja California, Noviembre de 2000

**A mi esposa María Gabriela,...
una vez más por su infinito
amor, comprensión y apoyo.**

**A mi hija Milagros,...
por haber llenado mi vida
de pequeños, hermosos y
verdaderos milagros.**

i. RESUMEN

En este trabajo se presenta un modelo conceptual y metodológico que permite abordar la problemática de erosión costera bajo el marco teórico de los indicadores ambientales. El modelo conceptual vincula los conceptos de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos con los factores biofísicos, particularmente geológicos-geomorfológicos y atributos antropogénicos que condicionan la erosión costera. A partir del modelo planteado se definen los conceptos de geoindicador de peligrosidad de erosión e indicador de vulnerabilidad física de los elementos expuestos al peligro.

El modelo teórico da sustento a un modelo metodológico para evaluar cualitativa y cuantitativamente la peligrosidad y/o el riesgo de erosión costera. El modelo plantea la identificación y/o integración de los geoindicadores de peligrosidad y los indicadores de vulnerabilidad física en índices agregados mediante los cuales es factible calificar el estado de la costa según cuatro niveles de peligrosidad y/o vulnerabilidad física. Debido a que estos índices constituyen una imagen sintética de las complejas interacciones entre factores definitorios del riesgo de erosión costera, su combinación posibilita delimitar 8 campos o escenarios propiciatorios teóricos de riesgo. Asimismo, la posterior interrelación de los índices agregados en una única expresión matemática permitió definir un índice de riesgo de erosión costera a partir del cual es factible cuantificar y calificar el estado o situación dominante en cada escenario propiciatorio de riesgo. Se considera que tanto el modelo metodológico general como el grado de integración de la información que permite el índice de riesgo propuesto, tienen directas aplicaciones potenciales en la instancia de toma de decisiones.

ii. AGRADECIMIENTOS

Al M.C. José Luis Ferman Almada, director de esta tesina, por su guía libre pero justa y por su excelente disposición para la discusión sobre diversas ideas y conceptos relacionados con el manejo costero y los indicadores ambientales.

Al M.C. Rigoberto Guardado France, sinodal del trabajo, por su colaboración y los atinados comentarios sobre la versión final del mismo.

A la Organización de los Estados Americanos (OEA), institución que financió mis estudios, mis libros y mi sustento en Baja California mediante el otorgamiento de una beca completa del Programa Regular de Adiestramiento (PRA).

Al personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias Marinas de Universidad Autónoma de Baja California por su cordialidad y ayuda en las distintas tareas y trámites que debí realizar como alumno de esta casa de estudios.

A los compañeros de la UABC, COLEF y CICESE que participaron del Taller de Calibración de Técnicas Metodológicas del proyecto *Exploración de técnicas selectas de diagnóstico ambiental y arreglos de manejo en el corredor costero Tijuana-Ensenada*, por el fructífero intercambio disciplinario de ideas en el marco de un ejercicio intelectual y académico muy valioso.

A mis compañeros de la Especialidad, muy destacadamente a Gabriela Batalla, Varinka Saenz y Gerardo Amador por brindarme su desinteresada ayuda en distintos momentos de mi estancia en México, además de su cálida y espero perdurable amistad.

Al M.C. Anamaría Escofet Giansone (la ya doctora Escofet), sinodal y amiga, por la minuciosa corrección de la versión final del trabajo, por la inagotable interlocución tan necesaria en todo desarrollo intelectual, por haberme guiado por caminos profesionales hasta ahora desconocidos para mí de la mano de la Ciencia Postnormal y la Ecología Aplicada. Pero, pero sobre todo eso, un Gracias enorme e interminable !!... por habernos abierto, a mí y a mi familia, las puertas de su hogar y de su corazón. También a Chuté, Raquí, Jack y Negrita por todos los gratos momentos compartidos,... fueron una gran compañía.

Finalmente, a todas aquellas personas que no han sido mencionadas explícitamente pero que sienten que deberían ser destinatarias de mi agradecimiento, ...reciban mis más sincero Gracias!

**EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD Y EL RIESGO
DE EROSIÓN COSTERA BASADA EN
INDICADORES AMBIENTALES**

Indice general

i.	Resumen	
ii.	Agradecimientos	
iii.	Listado de Tablas y Figuras	
I	INTRODUCCION	1
I.1	La problemática costera	1
I.2	La problemática de la erosión costera	3
I.3	Esquema general del trabajo	5
II	ANTECEDENTES	7
II.1	Antecedentes generales	7
II.2	Conceptos generales y definiciones	9
II.2.1	Peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo	9
II.2.2	Indicadores ambientales	11
II.2.3	Geoindicadores	14
II.2.4	Indices	15
III	OBJETIVOS	17
IV	METODOLOGIA	18
V	RESULTADOS	19
V.1	Modelo conceptual para la evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera	19
V.1.1	Marco teórico	19
V.1.2	Modelo conceptual erosión-peligrosidad-geoindicadores	20
V.1.3	Modelo conceptual de jerarquización de geoindicadores	26
V.1.4	Modelo conceptual peligrosidad-vulnerabilidad-riesgo	28
V.2	Modelo metodológico para la evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera	31
V.2.1	Modelo metodológico general	31
V.2.2	Evaluación cualitativa	34
V.2.2.1	Delimitación de unidades morfodinámicas costeras	34
V.2.2.2	Diagnóstico preliminar de la franja costera	35
	a. Propósito	35
	b. Procedimiento	36
	b.1 Geoindicadores de peligrosidad de erosión costera	36
	b.2 Indicadores de vulnerabilidad física a la erosión costera	37
	b.3 Método de evaluación	39
	b.4 Toma de decisiones	42

V.2.3	Evaluación cuantitativa	43
V.2.3.1	Selección de geindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física a la erosión costera	43
V.2.3.2	Obtención de índices de peligrosidad de erosión costera y vulnerabilidad física a la erosión costera	46
V.2.3.3	Obtención de un índice agregado de riesgo de erosión costera	49
V.3	Validación teórica del índice de riesgo IR	52
V.4	Proyección teórica de la variación espacio-temporal del Índice de riesgo IR	56
V.4.1	Variación temporal	56
V.4.2	Variación espacial	58
V.5	Proyección práctica de las evaluaciones en la toma de decisión	59
V.5.1	Evaluación cualitativa	59
V.5.2	Evaluación cuantitativa	62
VI	DISCUSIONES GENERALES	66
VI.1	Relación entre el índice de riesgo y la valoración de las pérdidas esperadas	66
VI.2	Análisis de los alcances del modelo metodológico	67
VI.2.1	Evaluación cualitativa	67
VI.2.2	Evaluación cuantitativa	69
VI.2.3	Integración de las fases de evaluación	70
VII	CONCLUSIONES	73
VIII	RECOMENDACIONES	74
IX	CITAS BIBLIOGRAFICAS	75

iii. LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla I. Marcos de la organización analítica de indicadores ambientales (Fuente Ministerio del ambiente, 1996. Elaboración propia)	14
Tabla II. Síntesis de los pasos metodológicos para la evaluación cualitativa y cuantitativa de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera.	33
Tabla III: Listado de atributos biofísicos que pueden ser utilizados como geoindicadores suplementarios para evaluar cualitativamente el peligro de erosión de una zona costera acantilada.	37
Tabla IV. Listado de rasgos físicos que evidencian deterioro de los obras de protección, considerados como indicadores de vulnerabilidad física a la erosión costera.	38
Tabla V. Listado de indicadores de vulnerabilidad física (directos e indirectos) de la infraestructura situada en la costa acantilada sometida a proceso de erosión.	38
Tabla VI. Matriz teórica de diagnóstico cualitativo de la peligrosidad y riesgo a erosión costera basada en geoindicadores de peligrosidad de erosión e indicadores de vulnerabilidad física a la erosión de los elementos expuestos la peligro.	41
Tabla VII. Asignación del estado físico de la obra de protección en función del número de problemas identificados (extractado de Guardado France, 1997)	41
Tabla VIII. Criterios claves de selección de indicadores y geoindicadores (extractados de Ministerio del Ambiente, 1996; Forbes y Liverman, 1996; Elliot, 1996 y Neimanis y Kerr, 1996 y Cendrero, 1997b)	44
Tabla IX. Registro de las medidas de campo realizadas sobre los indicadores ambientales seleccionados.	48
Tabla X. Transformaciones matemáticas de las medidas de campo para el cálculo de índices temáticos y el índice agregado de peligrosidad de erosión costera (Igep)	48
Tabla XI. Resultados del comportamiento del IR en situaciones teóricas de peligrosidad y vulnerabilidad física extremas (Igep: índice de peligrosidad, Ivfi: índice de vulnerabilidad física de la infraestructura, Ivfp: índice de vulnerabilidad física de la obra de protección)	53
Tabla XII. Descripción de los campos de riesgo de la Figura 8.	55

Tabla XIII. Vinculación entre el diagnóstico cualitativo y la instancia de toma de decisiones. 60

Tabla XIV. Vinculación entre los escenarios teóricos propiciatorios del riesgo y la instancia de toma de decisiones. 64

Figuras

Figura 1. Etapas que conforman el desarrollo del presente trabajo. 6

Figura 2. Esquema de jerarquización de información de SCOPE (1995), extractado de Cendrero (1997b). 16

Figura 3. Marco teórico general que relaciona la problemática a tratar con los indicadores ambientales, la peligrosidad (P), la vulnerabilidad (V) y el riesgo (R). 20

Figura 4: Modelo conceptual teórico para la definición de geoindicadores de peligrosidad. 21

Figura 5. Modelo conceptual de jerarquización de geoindicadores. 27

Figura 6. Modelo conceptual para la definición del riesgo de erosión costera a partir de geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física. 29

Figura 7. Modelo metodológico para la evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera basado en geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física. 32

Figura 8. Diagrama de caracterización de campos de riesgos y toma de decisiones. 55

I. INTRODUCCION

En este trabajo se explora la problemática de la erosión costera y sus implicancias en la evaluación del riesgo para el hombre y sus obras, bajo el marco conceptual de los indicadores ambientales y particularmente de los geoindicadores de cambios costeros. La relevancia que adquiere el tema a desarrollar se fundamenta en el siguiente escenario de situación.

La mayoría de la población mundial vive sobre o muy cerca de las franjas costeras de océanos y lagos, en donde los cambios geológicos comúnmente pueden tener profundos efectos sobre los ecosistemas costeros y los asentamientos humanos (Forbes y Liverman, 1996). Justamente, la erosión es un fenómeno de ocurrencia común en la mayoría de los ambientes sedimentarios de la superficie terrestre, siendo uno de los procesos geológicos de corto plazo más intensos, responsables de la evolución morfológica de las costas. Estas características imprimen al ambiente litoral una dinámica muy particular, lo cual puede convertirse en una condicionante importante al momento de decidir tanto la intensidad, como la calidad o las dimensiones de un uso costero. Todo ello ha motivado que en los últimos años se exploren distintas metodologías, como el caso de los indicadores ambientales, tendientes a obtener resultados que sinteticen la complejidad ambiental y que por lo tanto sirvan como apoyo substancial para la toma de decisiones.

I.1 La problemática costera

El incremento de la población mundial con la consiguiente utilización de mayores porciones de la superficie terrestre para desarrollar distintas actividades humanas, ha dado lugar a una progresiva ocupación de áreas con condiciones marginales, sujetas a la influencia de procesos naturales potencialmente peligrosos; lo que incrementa las situaciones de riesgo (Cendrero, 1997a). Esta situación se hace particularmente crítica cuando ocurre en ambientes costeros, debido a su naturaleza dinámica.

La franja costera constituye una interfase entre la atmósfera, hidrosfera y litosfera que se caracteriza por ser una zona de alta energía (Cendrero y Charlier, 1990). Justamente, desde la perspectiva biofísica, estos atributos favorecen la coexistencia de distintos procesos naturales que le imprimen una dinámica y complejidad ambiental única. Dicha complejidad se ve incrementada a su vez por una riqueza infrecuente de recursos (OCDE, 1995), situación que fomenta una importante concentración de distintos tipos de actividades y usos sobre la zona costera.

En la actualidad se sostiene que cerca de dos tercios de la población mundial vive a no más de 100 kilómetros de la línea de costa (El-Sabh et al., 1998; OCDE, 1995), siendo en muchos casos la densidad poblacional marcadamente mayor que en otros tipos de ambientes del planeta (OCDE, 1995; Cendrero y Fischer, 1997) y con una marcada tendencia al aumento en los próximos 30 años (El-Sabh et al., 1998). El incremento poblacional en la zona costera ha generado un incremento por la demanda de espacios donde desarrollar distinto tipo de actividades y usos muy diversificados (OCDE, 1995) que en muchos casos son competitivos y frecuentemente incompatibles (Cendrero y Charlier, 1990).

Vale decir que la franja costera, quizás como ningún otro ambiente natural, está sometida a un uso intensivo de sus recursos (Cendrero y Fischer, 1997). Por ejemplo, en los países de la OCDE los usos más difundidos son para vivienda, turismo, tiempo libre, actividades industriales y explotación de hidrocarburos; ya que las costas presentan varias posibilidades de terrenos aprovechables, comunicaciones fáciles, mano de obra y mercados (OCDE, 1995).

Si bien desde una perspectiva geográfica, México debería considerarse como un país con una fuerte orientación costera, a partir de la densidad poblacional registrada en dicho ambiente, parece no haber mostrado un gran interés en sus áreas litorales (Merino, 1987). Sin embargo, esta situación parece revertirse en estados como el de Baja California, donde a pesar de su baja densidad poblacional, en relación con otros estados mexicanos, gran parte de su población está asentada en las ciudades desarrolladas sobre las márgenes del océano pacífico y del Golfo de California.

Al respecto, el Programa Regional de desarrollo urbano, turístico y ecológico del corredor costero Tijuana-Ensenada (1994) menciona que la mayoría de las ciudades más importantes están ubicadas en la costa y que un 86% de su población del corredor esta asentado en zonas urbanas.

En síntesis, es factible afirmar que en todas las áreas o zonas costeras, coexisten recursos costeros, usos costeros y ambientes costeros (Sorensen et al., 1992). Ello en definitiva evidencia que la mayoría de las zonas costeras presentan un potencial de uso innegable y que por lo tanto más tarde o más temprano, sus características definitorias serán el resultado de la combinación de factores naturales y factores antrópicos; que representan la oferta ambiental y la demanda por usos, respectivamente. Este esquema entre oferta y demanda por recursos costeros ha provocado, en la mayoría de los casos, un desbalance entre fuerzas, naturales y antrópicas, las que no solamente son distintas en su origen sino también en las consecuencias de su acción como agentes modificadores de la costa.

Es común identificar situaciones en las cuales el efecto de los procesos naturales son complicados por las acciones humanas sobre el ambiente, lo que genera la ocurrencia de peligros naturales e inducidos por el hombre (Cendrero y Charlier, 1990). Al respecto Sorensen et al. (1992) mencionan que la erosión costera, la inundación fluvial y la migración de dunas son fenómenos comúnmente naturales, exacerbados por efectos adicionales de los usos antrópicos sobre el ambiente.

1.2 La problemática de la erosión costera

En las últimas décadas el proceso de erosión costera a comenzado a ser percibido desde la perspectiva humana como un problema ambiental destacado, debido a que cada vez un número mayor de personas viven en la costa y se interponen o modifican el camino de los procesos naturales (Komar, 2000) y causan un desequilibrio en las condiciones que aceleran el cambio (Morton, 1996). Ello además implica, obviamente, un incremento en el riesgo potencial a sufrir daños por parte de los elementos expuestos (el hombre y sus obras) a la acción del proceso erosivo. Para

España Cendrero (1997a) menciona que los daños mayores (90% del total) se vinculan con fenómenos de inundaciones, erosión y deslizamientos, con un costo cercano a los 4 billones de pesetas (1 dolar \cong 175 pesetas). Asimismo, Forbes y Liverman (1996) estiman para Estados Unidos de Norteamérica un costo de la erosión costera de 700 millones de dólares.

De hecho la erosión costera es probablemente uno de los peligros geológicos más extendidos en el mundo (Cendrero y Charlier, 1990) y ha sido considerada por las naciones costeras como uno de los cinco riesgos más importantes (Sorensen et al., 1992) el cual muestra directas implicancias socioeconómicas. En la mayoría de las costas desarrolladas del mundo, el retroceso de acantilados por erosión se ha convertido en un problema creciente, el que resulta en una pérdida progresiva de propiedades o directamente la depreciación del valor de las propiedades costeras (Benumof y Griggs, 1999).

En el ámbito territorial mexicano, la erosión costera ha sido considerada como un peligro importante, aunque su calificación fue conjetural debido a la carencia de un inventario sistemático sobre el fenómeno (Merino, 1987). Al respecto, el Plan de Ordenamiento de Ecológico del estado de Baja California (1994), destaca que la erosión costera constituye un fenómeno natural que se ha convertido en un problema debido a que no se han considerado los procesos oceanográficos ni la modificación de la línea de costa al momento de realizar la construcción de infraestructura en la misma.

De ello surge que la falta de información científica sobre el funcionamiento de los procesos naturales y sus consecuencias, o el desconocimiento por parte de los tomadores de decisiones sobre la existencia de la misma, constituyen aspectos adicionales que complican aún más la problemática costera.

Cabe destacar que una de las metas establecidas en el capítulo referido a la protección ambiental de la zona costera del Programa de Medio Ambiente 1995-2000 (1996), señala la necesidad de contar con una base informativa que permita realizar un diagnóstico integral y actualizado del ambiente costero y que aporte los elementos adecuados para apoyar la toma de decisiones y el desarrollo de políticas para la gestión

de las zonas costeras. Sin embargo, el Plan de Ordenamiento Ecológico del estado de Baja California (1994), destaca que el crecimiento acelerado y sin control de los asentamientos humanos se ha debido al incumplimiento de los planes y programas de desarrollo urbano.

Por lo tanto, de lo mencionado surge que no sería suficiente el obtener la información adecuada, sino que además el tratamiento de la problemática ambiental, en este caso vinculada con la costa y sus riesgos asociados, necesita superar la etapa propositiva de la planeación para avanzar firmemente hacia una gestión efectiva del ambiente, mediante la ejecución de las propuestas ya presentadas.

La evaluación de riesgos y sus mecanismos de análisis y gestión han sido un tema prioritario del Programa de Medio Ambiente 1995-2000 (1996). Al respecto, el capítulo referido al desarrollo de un sistema nacional de información ambiental, presenta como una de las metas prioritarias facilitar el desarrollo de mecanismos de evaluación, manejo y comunicación de riesgos ambientales y a la vez destaca la relevancia de trabajar con indicadores ambientales con el fin de reflejar la situación ambiental actual y los posibles escenarios derivados de acciones y políticas ha implementar.

1.3 Estructura general del trabajo

El presente trabajo se ha estructurado en cuatro etapas principales, cuyo orden y contenido general se muestra en el esquema de la figura 1. En primer término se desarrolla un modelo conceptual cuya función principal es la de dar sustento teórico al desarrollo de un modelo metodológico que permita la evaluación del riesgo de erosión costera basado en indicadores ambientales y particularmente en geoindicadores de peligrosidad. Luego, se desarrolla el modelo metodológico por el cual se combinan los indicadores para obtener un índice agregado de riesgo de erosión costera. Luego, se realiza una validación teórica del índice y se discuten sus alcances espacio-temporales y sus posibles implicancias para la toma de decisiones. Finalmente, se presentan las conclusiones y una serie de recomendaciones.

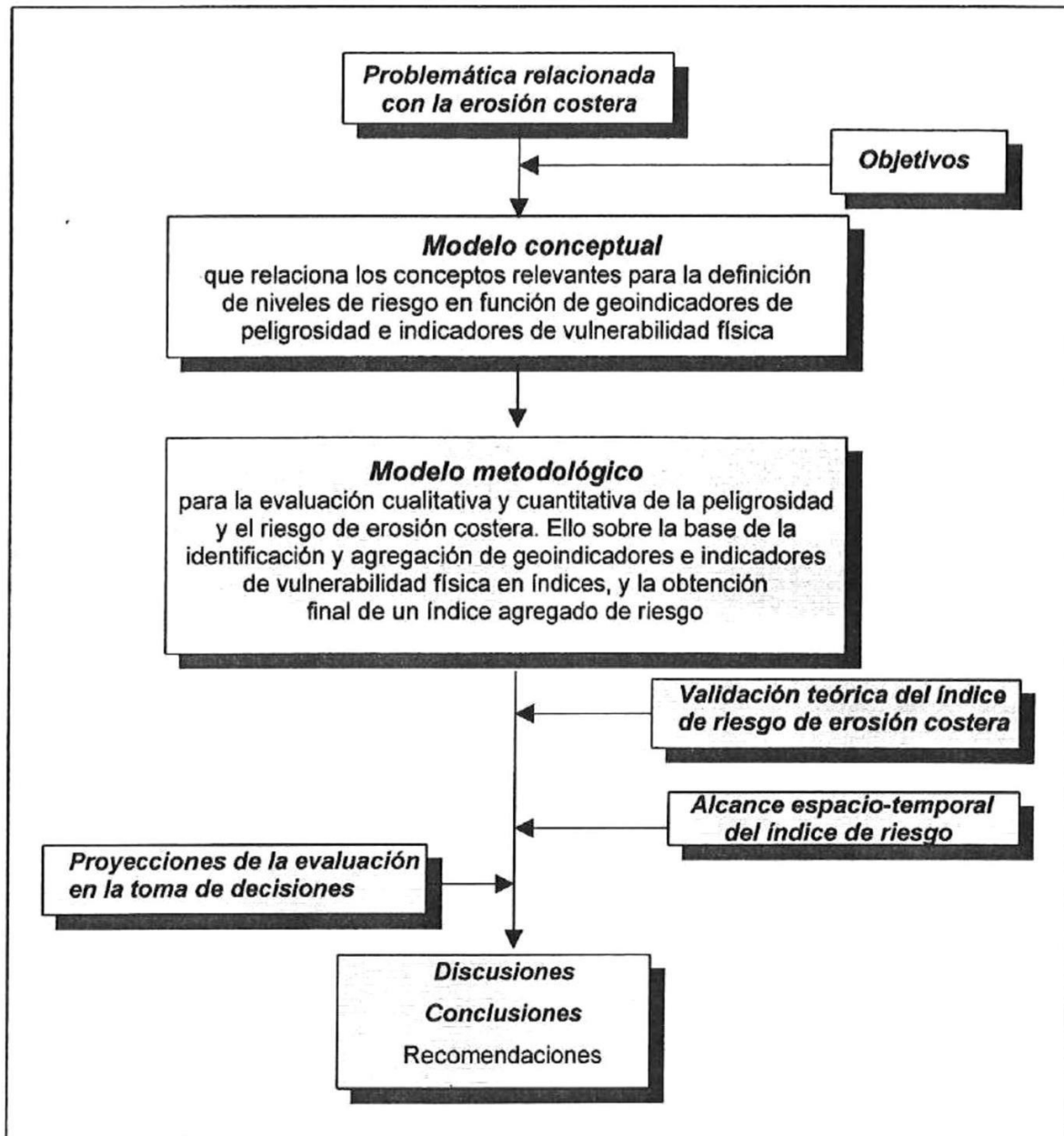


Figura 1. Etapas que conforman el desarrollo del trabajo

II. ANTECEDENTES

II.1 Antecedentes generales

La publicación del informe Brundtland (1987) es considerada como una piedra fundamental en el proceso de tratamiento de los temas relacionados con el uso de los recursos y cuidado del ambiente, ya que posicionó el concepto de la sustentabilidad en el centro de la discusión pública (Berger, 1996a). Al respecto Hodge (1996) define la sustentabilidad como la persistencia durante un tiempo indefinido, de ciertas características deseables y necesarias tanto para los ecosistemas como para los humanos que habitan en ellos.

Si bien la erosión costera ha sido una de las problemáticas que ha estado presente en la discusión sobre la sustentabilidad de los ecosistemas en distintos foros internacionales, no fue sino hasta la Conferencia de Río realizada en 1992 que los distintos aspectos relacionados con el manejo costero tomaron un nuevo impulso. De ese evento surge el documento conocido como Agenda 21, la cual establece distintas acciones necesarias para lograr mejoras en el cuidado del planeta y en el desarrollo de políticas ambientales sustentables, tanto en el ámbito global como nacional y local (Berger, 1996a). Al respecto la Agenda 21 destaca como uno de los puntos prioritarios el diseño de nuevos indicadores tanto socioeconómicos como ambientales.

A partir de allí comienzan una serie de esfuerzos por parte de distintos grupos de especialistas tanto en organismos nacionales como internacionales, para avanzar en los temas propuestos por la Agenda 21. Hacia 1993 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE) adopta un grupo de recomendaciones sobre el diseño y aplicación de nuevos modelos de Manejo de la Zona Costera, incorporando aspectos socioeconómicos y ambientales (El-Sabh et al., 1998) los cuales se concretan en el modelo causal de indicadores de presión-estado-respuesta (PER).

Asimismo, a comienzos de los '90 se inició el proyecto de geoindicadores, el cual logra ampliar la discusión sobre indicadores económicos y de desarrollo humano a otros campos, apareciendo varios esquemas para el diseño de un amplio rango de

indicadores ambientales relacionados con los ecosistemas, los sistemas humanos y sus interrelaciones (Berger, 1996a).

Otro momento particularmente relevante en el tratamiento de problemáticas como la erosión costera, lo constituyó la Conferencia Internacional Canada Coastal Zone realizada en 1996. En dicho evento se trató la importancia de los modelos conceptuales geomorfológicos como una base esencial para llevar adelante el manejo costero y la resolución de problemas (El-Sabh et al., 1998). Estos modelos, que derivan de la clasificación geomorfológica y/o de la respuesta de los sistemas costeros frente a procesos particulares, han suministrado un marco de comprensión sobre la evolución natural de las costas y la identificación de factores claves sobre los cambios.

El modelo metodológico de Young et al. (1996) es un ejemplo de modelo geomorfológico basado en geoindicadores, el cual se utiliza para evaluar cualitativamente los procesos de erosión y acreción costera, realizar monitoreos de la costa y estimar peligros costeros potenciales.

Otros aportes en el campo cualitativo, corresponden a Ramos (1993) y Guardado France (1997) quienes desarrollan modelos para la evaluación cualitativa del riesgo costero y de la funcionalidad de las obras de protección basados en la identificación visual de rasgos físicos tanto en el sustrato costero como en la infraestructura dispuesta sobre el mismo.

En el campo de los modelos cuantitativos, se cuenta con el esquema metodológico propuesto por Cendrero (1997b) y Cendrero y Fischer (1997) a partir del cual miden la calidad de distintos tipos de ambientes costeros, sobre la base de utilizar indicadores e índices ambientales que consideran tanto características naturales como antropogénicas. Recientemente, García Gastellum (1999) basándose en el modelo presión-estado-respuesta de la OCDE, integra los conceptos de indicadores ambientales con la fase de diagnóstico del modelo metodológico de la planificación ambiental para el desarrollo costero, definido por Gómez Morín (1994). Ello mediante el diseño de un modelo general y cuatro modelos específicos de evaluación del ambiente.

II.2 Conceptos y definiciones

II.2.1 Peligrosidad, Vulnerabilidad y Riesgo

De la afirmación que sostiene que existe riesgo de daño si uno o más fenómenos naturales peligrosos ocurren en una situación vulnerable (Romero y Maskrey, 1993) surgen claramente tres conceptos interrelacionados. Estos son: peligro ó peligrosidad (también denominado amenaza), riesgo y vulnerabilidad. A continuación se analizarán y definirán cada uno de ellos.

Peligrosidad

Según UNDR0 (1979) la amenaza o peligro, corresponde a la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso en cierto período de tiempo y en un sitio dado. Cendrero (1997a) coincide con la idea general de dicha definición, al considerar a la amenaza o peligro como la probabilidad de que en una zona dada la superficie terrestre se vea afectada por una fase paroxísmica de un determinado proceso, la cual puede ser potencialmente peligrosa para el hombre. En la misma línea de pensamiento Romero y Maskrey (1993) también asocian el peligro con los fenómenos naturales y condicionan la dimensión del peligro a aspectos tales como permanencia y probabilidad de ocurrencia del fenómeno y extensión del impacto.

Por otra parte, Wilches-Chaux (1993) adiciona a la característica natural de la peligrosidad una componente social al considerar a la amenaza o peligro como la probabilidad que ocurra un riesgo frente al cual la comunidad (humana) es vulnerable. Por ende, sostiene que dependerá del grado de probabilidad de su ocurrencia en la comunidad, que un proceso sea considerado como una amenaza o peligro.

Quizás la definición más abarcativa de todas las consultadas corresponda a Cardona (1993) quien añade a la definición de peligrosidad una nueva componente. La misma se relaciona con la posibilidad de que el peligro pueda ser provocado por el hombre. Para el autor mencionado el peligro o amenaza es un factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno

físico de origen natural o tecnológico que puede presentarse en un sitio específico y en un tiempo determinado, produciendo efectos adversos en las personas, los bienes o el medio ambiente. Ello, expresado matemáticamente como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad en un cierto sitio y en cierto período de tiempo.

De las definiciones revisadas se desprende una coincidencia general en considerar que un proceso natural y/o su combinación con otros eventos naturales o promovidos por el hombre, bajo ciertas condiciones de magnitud, intensidad y frecuencia, pueden provocar situaciones potenciales de peligro para los seres humanos y/o la infraestructura expuestas a su acción. Por lo tanto, puede deducirse que aunque no exista exposición humana o de bienes, la ocurrencia de un evento extraordinario no deja de tener una "peligrosidad innata".

Vulnerabilidad

Para algunos autores, el término vulnerabilidad tiene implícito un carácter social y hace referencia a la incapacidad de una comunidad para absorber mediante el auto ajuste los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente (Wilches-Chaux, 1993). Por lo tanto, en una visión general ser vulnerable a un fenómeno natural es poseer una predisposición intrínseca o ser susceptible, tanto un sujeto o un grupo de elementos, a sufrir un daño. El mismo puede ser expresado como el grado de pérdida de los elementos o como la dificultad de recuperarse del daño, ante un evento natural peligroso (UNDRO, 1979, Varnes, 1984, Romero y Maskrey, 1993, Cardona, 1993). De ese modo, la vulnerabilidad se puede expresar en tanto por ciento de la destrucción probable de los elementos expuestos al peligro (Cendrero, 1997a).

En un análisis más detallado, Wilches-Chaux (1993) introduce una visión global del concepto, al sostener que el carácter social implícito en la definición de la vulnerabilidad da lugar a la interacción de una serie de factores y características, internas y externas, que convergen en una comunidad en particular. Por ende, la vulnerabilidad global es el resultado de la integración de diversos campos del conocimiento. Cada uno de estos campos tiene asociada un tipo de vulnerabilidad

específica: natural (reservado para los seres vivos), física, económica, social, política, técnica, ideológica, cultural, educativa, ecológica e institucional.

Riesgo

Wilches-Chaux (1993) relaciona el concepto de riesgo al de fenómeno natural siempre y cuando el fenómeno se manifieste en un sitio ocupado por una comunidad. Cendrero (1997a) se refiere al riesgo como la posibilidad de que se produzcan daños para las personas y sus bienes, lo cual depende no sólo del proceso en sí, sino también del grado y tipo de ocupación de la superficie terrestre por parte de las comunidades humanas. Ello se vincula con la vulnerabilidad física de los elementos expuestos a los peligros (Fournier, 1985, citado en Cardona, 1993), lo cual se puede expresar matemáticamente como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas y sociales en un cierto sitio y en cierto período de tiempo (Cardona, 1993).

En algunas situaciones se han utilizado indistintamente los términos peligro y riesgo, los que si bien están indiscutiblemente vinculados son perfectamente distinguibles. De acuerdo con Cardona (1993) la diferencia fundamental entre peligro o amenaza y riesgo se basa en que el primero se relaciona con la probabilidad que se manifieste un evento natural o provocado, mientras que el segundo esta vinculado con la probabilidad de que se manifiesten ciertas consecuencias, las cuales están íntimamente relacionadas no sólo con el grado de exposición de los elementos sino con la susceptibilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por eventos peligrosos. Vale decir que el riesgo se refiere al grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular.

II.2.2 Indicadores ambientales

Gallopín (1997) destaca que distintos autores han definido de manera diversa lo que es un indicador, por lo cual es necesario lograr claridad y consenso en cuanto a su definición. Al respecto, el autor revisa una serie de definiciones, algunas de las cuales han considerado a un indicador como una variable, un parámetro, una medida, una medida estadística, un índice, un subíndice, un valor, una pieza de información ó un

modelo empírico de la realidad, entre otras posibles acepciones. Particularmente, destaca el concepto de *proxy* (o aproximación), que en el contexto de los indicadores puede ser definida como una variable asumida para ser correlacionada a algún atributo que no es directamente observable o medible.

De lo mencionado se desprende que no existe uniformidad de criterios para su definición por lo cual en este trabajo se mencionarán algunas de las definiciones que a priori resultarían las más claras a juicio del autor. En una aproximación muy general y básica (Gallopín, 1996; citado en Gallopín, 1997) considera que los indicadores son variables (no valores) y define una variable como una representación operacional de un atributo (cualidad, característica, propiedad) de un sistema. En un sentido general cada variable "indica" un atributo que puede no ser un atributo u objeto real, sino una imagen o abstracción del atributo. Se han desarrollado indicadores para distintos campos del conocimiento como son los indicadores económicos, sociales, políticos, ambientales, etc.

Resulta interesante destacar que si se extrapola el concepto de Gallopín (1996) a la problemática del medio ambiente se obtiene que un indicador ambiental es una variable o estimación ambiental, que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones. Vale decir que la búsqueda de indicadores responde a un interés social específico y no pretende sólo ser una reproducción científico-conceptual del medio (Ministerio del Ambiente, 1996).

El concepto de indicador ambiental aparece como una respuesta a la dificultad que conlleva el manejo y transmisión de la gran cantidad de información relacionada con la problemática vinculada al medio ambiente. Esta situación se hace particularmente crítica cuando la información es requerida para fundamentar la toma de decisión sobre el uso, protección o conservación de los recursos naturales en ámbitos políticos, económicos, sectoriales y públicos en general.

Al respecto OCDE (1994) establece como una causa del incremento de la demanda de indicadores, la creciente necesidad de contar con información adecuada

para la toma de decisiones referentes al medio ambiente y para el seguimiento de las mismas en términos de un desarrollo sostenible. Por su parte Environment Canada (1991), sostiene la necesidad de reducir la gran cantidad de información científica del medio ambiente a un número manejable de parámetros que sea apropiado para los procesos de toma de decisiones y de información pública.

Neimanis y Kerr (1996) sostienen que un indicador ambiental es una estadística o parámetro que proporciona información y/o tendencias de las condiciones de los procesos ambientales. Los autores destacan que su significado va más allá de la estadística misma, ya que pretende proveer información que permita tener una medida de la efectividad de las políticas ambientales. En relación con esto último, se destaca que los indicadores ambientales constituyen un instrumento útil para *organizar, sistematizar, cuantificar, simplificar y comunicar* información relativa a distintos aspectos del medio ambiente, lo cual resulta básico para la toma de decisiones en relación con las políticas ambientales (Cendrero, 1997b).

Por ende, de las razones expuestas anteriormente se desprende que un indicador ambiental debe tener al menos dos objetivos principales, por una parte debe poder *sintetizar información* en una expresión relativamente sencilla pero que sin embargo debe ser capaz de brindar un conocimiento sobre el conjunto de variables involucradas en la problemática abordada y por otra parte debe responder a cuestiones ambientales que interesan en la toma de decisiones.

Los intentos por desarrollar sistemas de indicadores ambientales en distintos países se han movido dentro de una organización analítica compuesta por seis marcos generales: *temático, estructura por medios, causal, sectorial, enfoque espacial y ecosistémico*. La tabla I, elaborada en este trabajo, se resume los marcos adoptados por los distintos países. Se puede observar que de todos ellos los más difundidos han sido el marco causal y el marco temático.

**INDICADORES
AMBIENTALES**



Organización Analítica	Objetivo	Ejemplos	Países
Marco temático	El problema ambiental es el marco general para el desarrollo de indicadores	Cambio climático Calidad del aire Diversidad biológica en peligro	Canadá Países bajos
Estructura por medios	El ambiente se divide en medios: aire, agua y suelo		
Marco causal	Se basa en la causalidad. Las actividades humanas ejercen <i>presión</i> sobre el medio, éste registra cambios de <i>estado</i> y la sociedad <i>responde</i> para mantener el equilibrio ecológico	<i>Presión:</i> emisiones de CO2 <i>Estado:</i> Concentración de plomo en el aire urbano <i>Respuesta:</i> regulación de los bosques	Canadá Suecia Unión Europea Noruega Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas España México
Enfoque espacial	Los problemas ambientales se clasifican de acuerdo a una escala local, regional y global.		
Marco sectorial	Considera al medio ambiente como fuente de recursos y adjudica cada uno de ellos a distintos sectores económicos		
Marco ecosistémico	La información se presenta en unidades territoriales con características ecológicas distintivas e interrelacionadas	Cultivos Bosques Costas Medio urbano	Suecia

Tabla I. Marcos de la organización analítica de indicadores ambientales (Fuente Ministerio del ambiente, 1996. Elaboración propia)

II.2.3 Geoindicadores

Un caso particular de indicadores ambientales los constituyen los geoindicadores. La definición más aceptada señala que los indicadores geológicos o geoindicadores son medidas de magnitudes, frecuencias, tasas y tendencias de fenómenos y procesos geológicos que ocurren sobre o cerca de la superficie terrestre y

cuyas variaciones son significativas para el entendimiento de los cambios ambientales que ocurren en períodos de 100 años o menos (Berger, 1996a).

Cabe destacar que los geoindicadores, por definición, describen procesos y parámetros ambientales que son capaces de cambiar sin interferencia de los seres humanos, aunque se reconoce que las actividades de éstos agentes puedan acelerar, disminuir o disipar los cambios ambientales (Goudie 1990 y Turner et al., 1990, citados en Berger, 1996b, Young et al., 1996, Griggs, 1997). Vinculado con esto, Elliot (1996) define los indicadores geoambientales como parámetros geológicos que permiten identificar cambios en el ambiente los cuales pueden ser significativos para los seres humanos. Vale decir que teniendo en cuenta los amplios rangos de tiempo que pueden ocupar los procesos geológicos, los geoindicadores han sido fundamentalmente definidos para medir cambios rápidos, y deben estar dirigidos al análisis de problemas específicos.

De manera análoga a lo que define Gallopin (1997) como indicador *proxy*, Berger (1996b) destaca que los geoindicadores *proxy* representan un gran número de otros parámetros de los cuales depende. Así, menciona que la posición de la línea de costa puede ser considerada, al menos parcialmente, como un *proxy* de la variación de nivel marino, la subsidencia costera o el clima de olas.

En relación con la utilidad y función de los geoindicadores, Berger (1996a) considera que deben auxiliar a responder cuestiones básicas relacionadas con:

1. las condiciones y tendencias ambientales de un determinado sitio
2. las causas y vinculaciones entre la influencia humana, y los procesos naturales, los efectos económicos y ecológicos
3. las implicancias para el planeamiento y establecimiento de políticas ambientales.

II.2.4 Índices

Los índices han sido definidos, de manera general, como una expresión numérica que fusiona la información contenida en distintas variables, es decir que define un estado agregado del ambiente y resulta en una expresión adimensional,

producto de la adición ponderada de distintas unidades de medida (Ministerio del ambiente, 1996). De un modo más simple Cabral et al. (1998) consideran que un índice agregado es una cifra que surge de combinar varios índices temáticos. En cuanto a su función, Cendrero (1997b) sostiene que los índices agregados proporcionan una imagen sinóptica del estado del ambiente (lo relaciona con un grado de sustentabilidad), lo cual permite transmitir una visión global e integrada de un conjunto de características que pueden expresarse por separado mediante indicadores. En líneas generales, un índice posee las mismas características de un indicador pero su carácter social es aún más acentuado dada la aleatoriedad vinculada a todo proceso de ponderación. En cambio, presenta beneficios respecto de aquel, dado su mayor poder de síntesis de la información y mayor *in put* en la toma de decisiones. (Ministerio del Ambiente, 1996).

Cendrero (1997b) menciona la necesidad de jerarquizar la información, para lo cual destaca la pirámide de SCOPE (1995) con sus distintos niveles jerárquicos, que mediante pasos sucesivos organizan y reducen los datos a un número de indicadores e índices, que a su vez sintetizan la información hacia el tope de la pirámide (Figura 2). Al respecto, Gallopin (1997) menciona que no es siempre correcto que los índices correspondan al más alto nivel de la agregación de la pirámide, ya que la distinción entre indicadores e índices, en algunos casos, descansa más en la complejidad de la función para la cual fueron obtenidos que en un nivel jerárquico hipotético.



Figura 2. Esquema de jerarquización de información de SCOPE (1995), extractado de Cendrero (1997b)

III. OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un modelo conceptual y metodológico que permita la evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera dentro del marco teórico de los indicadores ambientales.

Objetivos específicos

1. Establecer un marco conceptual para la definición de geoindicadores de peligrosidad de erosión costera y vulnerabilidad física a la erosión costera.
2. Determinar un modelo teórico que soporte la definición de un índice de riesgo de erosión costera.
3. Diseñar una metodología sencilla y repetible que permita la evaluación cualitativa y cuantitativa del riesgo y la peligrosidad a partir de la identificación e integración de geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física de los elementos expuestos al peligro de erosión costera.
4. Proyectar los resultados en posibles aplicaciones en el campo de la toma de decisiones.

IV METODOLOGIA

Para la concreción de los objetivos planteados se llevaron a cabo las siguientes tareas generales:

1. Se realizó una búsqueda y selección bibliográfica sobre distintos aspectos vinculados principalmente con:
 - ◆ La problemática general de la erosión costera y los factores geológicos que influyen en el retroceso de costas acantiladas.
 - ◆ Los indicadores ambientales y los geoindicadores de cambios costeros rápidos.
 - ◆ Los conceptos de peligrosidad, vulnerabilidad, fragilidad y riesgos.
 - ◆ La funcionalidad y características generales de las obras de protección costera.
 - ◆ Distintos modelos diseñados para la estimación del riesgo.
 - ◆ Los marcos generales para la definición de políticas y estrategias para la administración de zonas costeras.
2. Se exploró el concepto de geoindicador de cambios costeros rápidos dentro del marco teórico de los indicadores ambientales y se establecieron vinculaciones entre éstos y los distintos factores biofísicos que condicionan la erosión costera.
3. Se establecieron las relaciones causales entre los conceptos de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos, y los factores biofísicos y antropogénicos que influyen en la erosión costera. Luego, se vincularon éstas con los conceptos de indicador ambiental y geoindicador de cambios rápidos.
4. Se analizaron distintos modelos y esquemas teóricos que proponen la clasificación de peligros y riesgos, tanto a partir de procedimientos cualitativos como cuantitativos.

V. RESULTADOS

V.1 Modelo conceptual para la evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera

V.1.1 Marco teórico

El marco teórico general sobre el cual se basa el presente trabajo se ha diagramado en la Figura 3. En la misma la erosión costera constituye la problemática que sirve de marco general para plantear las relaciones entre el concepto de indicadores ambientales y particularmente de geoindicadores de cambios costeros, y los conceptos de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo. De acuerdo con los marcos de la organización analítica de indicadores, expuestos en la Tabla I, el esquema mencionado se ajusta a la estructura de marco temático.

Cardona (1993) establece una expresión mediante la cual la estimación del riesgo, en sentido amplio, es función de la peligrosidad y la vulnerabilidad. Por ende, si se aplica dicha expresión a una problemática ambiental específica como puede ser la erosión costera, es factible ver que una modificación en la magnitud de uno o de ambos factores de la ecuación repercutirá en un cambio en la estimación del riesgo de erosión resultante. Vale decir que el riesgo es un concepto dinámico, y que cualquier cambio dará lugar a una situación de riesgo distinta a la anterior pero igualmente condicionada a los estados de peligrosidad y vulnerabilidad.

Debido a que los indicadores ambientales, y particularmente los geoindicadores son medidas o parámetros que evidencian cambios de condiciones ambientales, se considera factible utilizarlos como herramientas para establecer tanto un diagnóstico del estado ambiental, como de las magnitudes de los cambios en: a) la peligrosidad del ambiente costero, b) la vulnerabilidad de los elementos expuestos al peligro, c) el riesgo costero resultante. Al respecto la Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas, citado en Ministerio del Ambiente (1996) menciona que un indicador ambiental puede ser utilizado para caracterizar el estado, y la evolución en el tiempo de una situación que en general se corresponde con una inquietud social referente al medio

ambiente. La erosión costera en este caso constituiría la problemática con connotación social, a la que se refiere la definición.

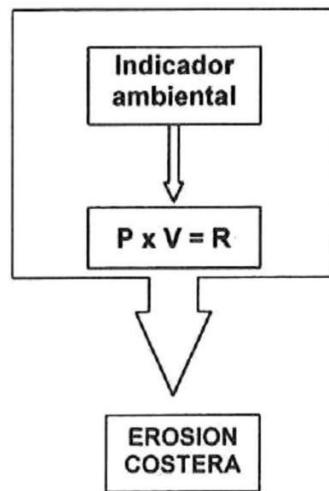


Figura 3. Marco teórico general que relaciona la problemática a tratar con los indicadores ambientales, la peligrosidad (P), la vulnerabilidad (V) y el riesgo (R)

Cabe destacar que el tipo de problemática a abordar y las interacciones planteadas admitirían también un tratamiento bajo el marco causal de indicadores del tipo del modelo Presión-Estado-Respuesta, desarrollado por la OCDE (1994).

En los párrafos siguientes se presentarán modelos conceptuales particulares para cada uno de los conceptos interrelacionados en la Figura 3.

V.1.2 Modelo conceptual erosión-peligrosidad-geoindicadores

En la Figura 4 se esquematiza el desarrollo teórico bajo el cual se relacionan distintos conceptos considerados relevantes para la definición de la problemática de erosión costera. Los pilares principales son el proceso de erosión, su relación con rasgos biofísicos del territorio que determinan la fragilidad del mismo y su vinculación final con el concepto de geoindicador de peligrosidad, definido en este trabajo.

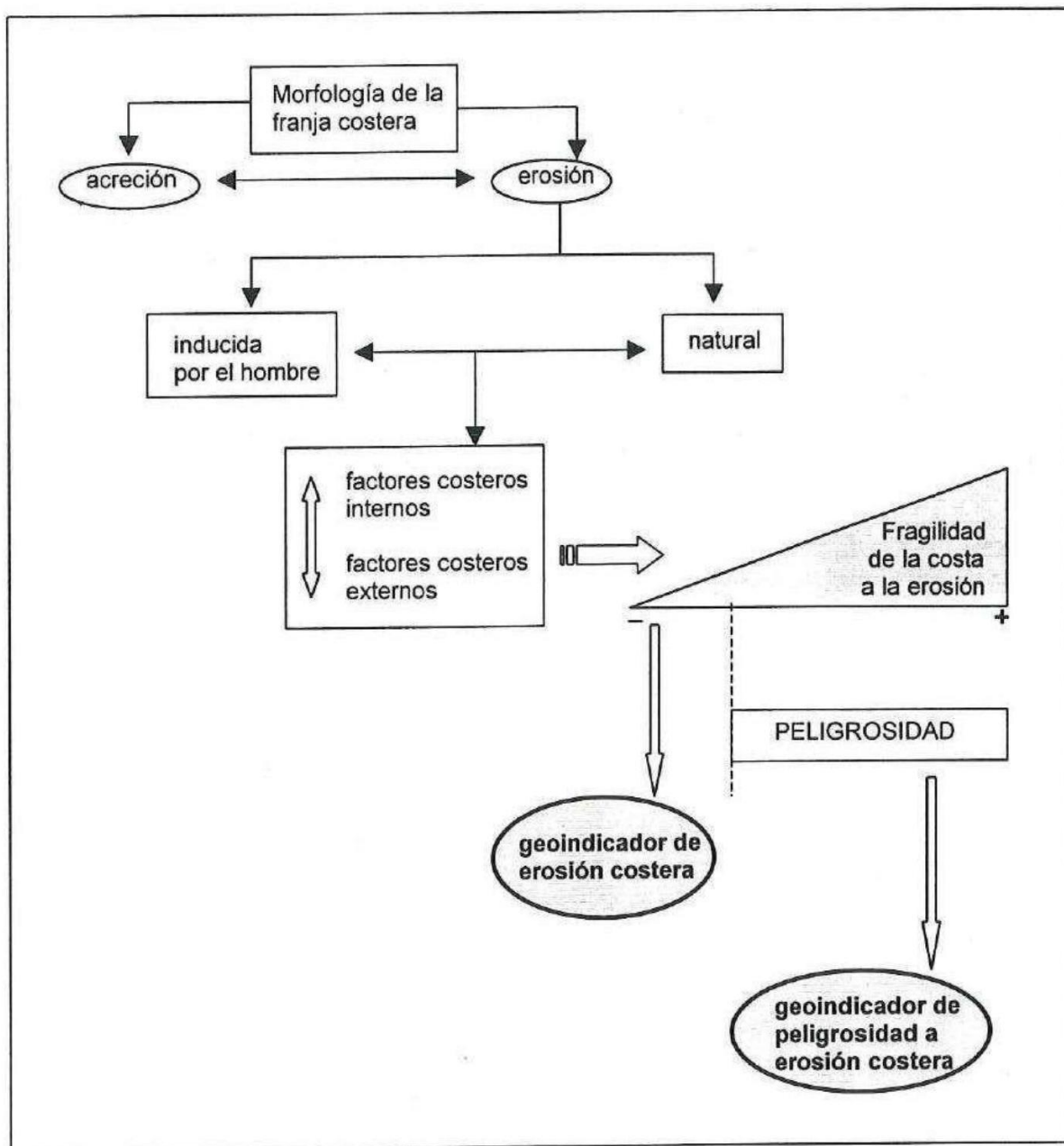


Figura 4. Modelo conceptual teórico para la definición de geoindicadores de peligrosidad

Los distintos fenómenos modeladores del paisaje son considerados como elementos activos de la geomorfología terrestre. Por ende, los fenómenos de acreción y de erosión del material sedimentario constituyen los dos procesos geológicos-geomorfológicos dominantes en el modelado de la configuración que adquiere una zona costera durante las distintas etapas de su evolución. El presente trabajo centrará la atención en el proceso erosivo, dado que es uno de los procesos de corto período más intensos que afectan a la costa (Young et al., 1996).

Cualquier proceso geológico-geomorfológico, en teoría, puede ser englobado en la esfera de los fenómenos naturales. Un fenómeno natural es toda manifestación de la naturaleza o cualquier expresión que adopta la naturaleza como resultado de su funcionamiento interno (Romero y Maskrey, 1993). Dicha manifestación, en el campo de la geología, puede ser producto de la acción directa o indirecta de procesos tanto endógenos como exógenos a la corteza terrestre y que resultan en el modelado de la configuración de la superficie del planeta. Por ende, la erosión es un proceso natural y exógeno y cuya ocurrencia estará condicionada por la interacción entre los distintos atributos biofísicos que conforman el ambiente costero y los fenómenos naturales asociados con el mismo.

Es vastamente reconocido que la interferencia de las acciones humanas sobre distintos atributos del ambiente costero pueden afectar el ritmo de los procesos naturales, de manera tal de inducir erosión donde no existía previamente o incluso acelerar la frecuencia y magnitud de la misma cuando ya existe (Khun y Shepard, 1984; Sorensen et al., 1992, Forbes y Liverman, 1996; Morton, 1996; Griggs, 1997 y Bush et al., 1999, entre otros). Vale decir que para un cabal entendimiento espacio-temporal de la erosión costera se debe abarcar un amplio rango de atributos y procesos, desde un detalle del movimiento del sedimento por acción de olas y corrientes y la influencia de los ríos que desembocan en el área, hasta los distintos usos del hombre sobre los territorios costeros (Komar, 2000).

Por lo tanto, la erosión total de una determinada zona costera donde se identifique algún tipo de modificación inducida por el hombre, puede ser descompuesta en componentes naturales y componentes inducidas de la erosión.

La zona costera ha sido definida por Sorensen et al. (1992) como una interfase o espacio de transición entre dos dominios ambientales, el terrestre y el marino. Por ende su configuración estará afectada por los procesos naturales que caracterizan a ambos dominios. Al respecto, Forbes y Liverman (1996) consideran que la evolución biofísica de un área costera estará condicionada por *factores no marinos* en los que incluyen litología, estratigrafía, dinámica del acuífero, régimen térmico y tectónica, mientras que engloban como *factores marinos más importantes* al oleaje y celdas de circulación costera, mareas, tormentas y variaciones relativas del nivel del mar. Otro modo de agrupar los múltiples factores biofísicos que interactúan en una costa se puede realizar separándolos en *variables o factores internos y externos* a la unidad costera de análisis (Benumof y Griggs, 1999). Si bien los autores mencionados lo ejemplifican para el caso de una costa acantilada, se considera que la estructura general puede ser aplicada a cualquier tipo de costa.

De acuerdo con este último criterio de agrupamiento, en el esquema de la Figura 4, se han considerado tanto factores internos como externos. Los factores internos corresponden a las propiedades físicas del sustrato que afectan directamente la estabilidad del mismo. En dicho grupo se incluyen por una parte la geología del área (litología, tipo de depósito, estructuras geológicas, grado de meteorización, procesos geomorfológicos dominantes, característica del relieve costero y geoformas) y por otra parte atributos bióticos directamente relacionados con el sustrato como el grado de vegetación.

Como factores externos a la unidad se reúnen por una parte los fenómenos climáticos y por otra parte los fenómenos geológicos de alcance regional. En los primeros, se incluyen viento, las precipitaciones y las tormentas, los que a su vez interactúan con procesos marinos como el oleaje, las corrientes costeras y las mareas, y con procesos terrestres como la erosión hídrica del sustrato y la dinámica de acuíferos. En los segundos se engloban eventos mayores como pueden ser los eventos sísmicos.

Cabe destacar que geoformas aledañas a una determinada unidad geomorfológica, como pueden ser los rasgos batimétricos vecinos a una playa o la misma playa que limita con un acantilado, pueden actuar como factores externos a la unidad objeto de análisis, provocando, por ejemplo, efectos de amortiguamiento de energía de ola, variaciones en el aporte de material sedimentario, etc.

Luego, la interrelación entre los factores intrínsecos de cada grupo, sumada a la interacción entre los grupos, condicionarán la fragilidad o susceptibilidad del paisaje costero a la ocurrencia de erosión. El término susceptibilidad del paisaje fue definido por Thomas y Allison (1993, citado en Berger, 1996a), como la magnitud de cambio potencial dentro de un sistema geomorfológico, el cual se relaciona con la capacidad de un paisaje para resistir o absorber los impulsos del cambio. En síntesis, la fragilidad o susceptibilidad del paisaje costero a la erosión representa una condición estructural de la costa, caracterizada a partir de la compleja red de interacciones entre factores externos e internos. Esta situación lleva en muchos casos a la necesidad de hallar una forma de representación de la fragilidad ambiental, lo más sencilla y sintética posible.

Gallopín (1997) menciona que las complicadas interacciones entre datos primarios pueden ser representadas por variables ó indicadores. Ya en el campo de la geología, Berger (1997, citado en Bush et al., 1999) menciona que el método de geoindicadores busca mediante la medición de ciertos parámetros describir una dinámica ambiental compleja y de corto plazo. Asimismo, Forbes y Liverman (1996) sostienen que los indicadores geológicos o geoindicadores de cambios costeros, usualmente representan una respuesta integrada de la zona costera ante la acción de factores geológicos y variables ambientales. Ello resulta de suma utilidad debido a que en la mayoría de los casos es difícil aislar si la causa específica de un cambio en la posición de la línea de la costa es producto de un cambio en la tasa, frecuencia o intensidad de los procesos costeros.

De lo mencionado surge que diversos atributos geológicos y geomorfológicos pueden ser usados como indicadores del estado o la probabilidad de cambio de la fragilidad costera a la erosión. Ellos pueden corresponder a geoformas costeras (Krumbein, 1963; citado en Forbes y Liverman, 1996) y atributos particulares del relieve

como son el tipo y altura de pendientes, los rasgos morfosedimentarios o incluso procesos tales como frecuencia y dimensiones de caída de rocas, slumps, etc. (Forbes y Liverman, 1996). De tal modo, estos geoindicadores de erosión cumplen la función de un descriptor que sintetiza una determinada condición de fragilidad ambiental.

La mayor parte de los procesos naturales que afectan a la superficie terrestre (por ejemplo: la erosión) se desarrollan habitualmente de manera gradual, con tasas e intensidades que no presentan especiales problemas para los seres humanos. No obstante, en determinadas ocasiones la magnitud de los procesos es mucho mayor que la habitual dando lugar a situaciones extremas (Cendrero, 1997a). Vale decir, que si bien los fenómenos naturales presentan cierta regularidad, hay eventos de aparición extraordinaria y sorprendente que seguramente afectarán el ritmo normal de los procesos (Romero y Maskrey, 1993).

Por ende, si la fragilidad o susceptibilidad de la costa a la erosión es el resultado de la combinación de factores costeros internos y externos con un potencial de cambio en un plazo relativamente corto, dicha fragilidad constituye un estado ambiental dinámico, pudiendo variar desde un valor mínimo (-) hasta uno máximo (+). En ese caso se puede pasar de un estado de menor fragilidad de la costa a la erosión, no percibida como particularmente problemática por el hombre, a otra condición de mayor fragilidad, la cual se vincula con un cierto grado de peligrosidad. Vale decir, que bajo determinadas condiciones de frecuencia y magnitud un determinado proceso puede volverse un peligro potencial desde la perspectiva humana (Bush et al, 1999). Al respecto Doornkamp (1998) considera que las dos componentes fundamentales de cualquier peligro natural son la magnitud y frecuencia, aunque la componente espacial del peligro y su variabilidad temporal también necesitan ser definidas.

De lo dicho surge que la fragilidad del ambiente es un concepto implícito en la peligrosidad, cuya definición es dependiente del tipo, magnitud y frecuencia del proceso e independiente de que existan o no elementos expuestos al peligro. Vale decir, que bajo condiciones de peligro real o potencial, los geoindicadores ya no actuarán simplemente como señales de fragilidad costera, sino que además indicarán un determinado grado de peligrosidad vinculado directamente con un nivel de seguridad

para el hombre y sus obras. Por lo tanto, aquellos geoindicadores, que en el presente trabajo son definidos como *geoindicadores de peligrosidad de erosión*, no solamente reúnen y sintetizan información sobre factores condicionantes de la fragilidad de la costa, sino que además su vinculación con grados de peligrosidad les confiere un objetivo social directo, como por ejemplo en el establecimiento de políticas costeras.

V.1.3 · Modelo conceptual de jerarquización de geoindicadores

En la Figura 5 se desarrollo un esquema teórico de jerarquización para el concepto de geoindicador de peligrosidad de erosión costera definido en los párrafos anteriores. En el esquema se relacionaron los factores (internos y externos) que contribuyen a la erosión, con el concepto de peligrosidad. Dichas relaciones se efectuaron bajo el marco conceptual de los geoindicadores de cambios costeros definidos en Berger (1996b), Young et al (1996) y Morton (1996).

Berger (1996b) sostiene que es factible identificar un conjunto mínimo de parámetros que colectivamente describen un atributo de mayor jerarquía. Al respecto, Munasinghe y Shearer (1995, citados en Berger, 1996b) señalan que algunos indicadores pueden ser considerados como de mayor nivel o integradores que agrupan medidas relacionadas pero independientes.

En la misma línea de pensamiento, Young et al. (1996) definen geoindicadores mayores que corresponde a un determinado estado de paisaje o marco geológico general, el cual está integrado por la interacción de indicadores específicos, por ejemplo rasgos geológicos, oceanográficos, biológicos, etc.

Particularmente para el ambiente costero, Morton (1996) propone a la posición de la línea de costa como *un geoindicador principal o primario*, el que resume los resultados de diversos procesos y atributos costeros. Por ende, dicho autor considera atributos tales como ancho de la playa, rasgos morfológicos y composición del sustrato como *geoindicadores suplementarios o secundarios* y reserva la denominación de *indicadores complementarios* para parámetros tales como clima, aporte sedimentario,

frecuencia e intensidad de tormentas, etc. Sin embargo, cabe destacar que en algunos casos los geoindicadores primarios como posición de la línea de costa pueden actuar como *geoindicadores proxy* de los complementarios como el clima de olas (ver definiciones en este trabajo).

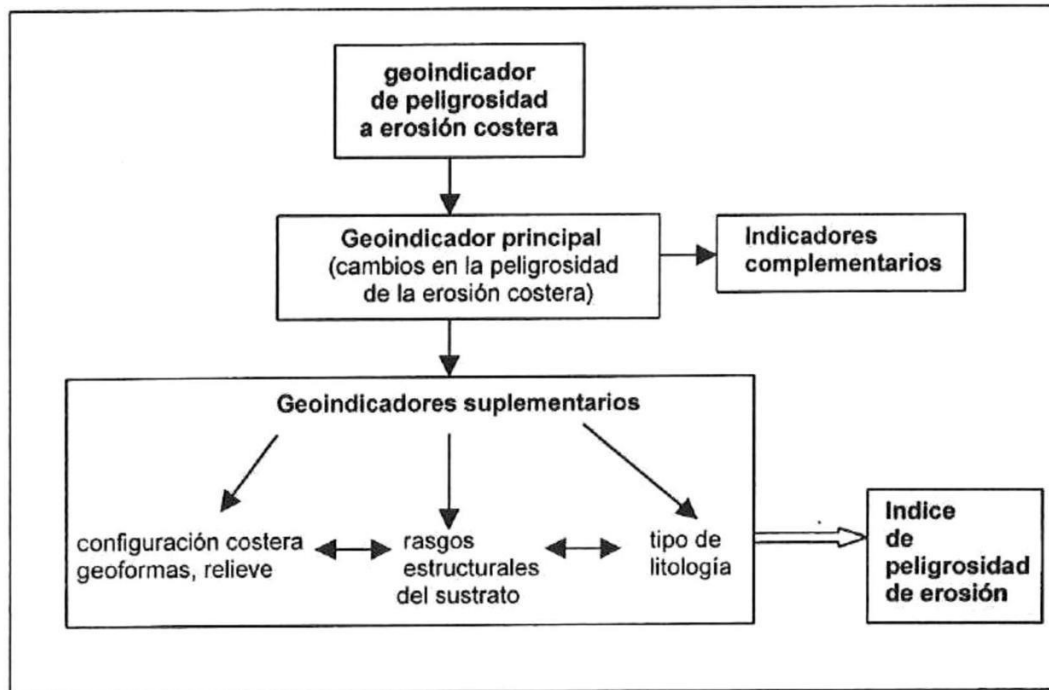


Figura 5. Modelo conceptual de jerarquización de geoindicadores

A partir del marco conceptual mencionado es factible considerar que los factores internos y externos que condicionan la fragilidad de la costa a la erosión (ver Figura 4), constituirían respectivamente, geoindicadores suplementarios e indicadores complementarios de un geoindicador principal. Por lo tanto, si se considera al cambio en la peligrosidad de erosión como un geoindicador principal, es factible realizar su evaluación sobre la base de analizar geoindicadores suplementarios del tipo de los mencionados en Morton (1996). Inclusive, de acuerdo con la pirámide de Scope (1995) dichos geoindicadores suplementarios pueden ser integrados en un índice de peligro de erosión costera con el fin de obtener una visión más sintética aún de la problemática.

V.1.4 Modelo conceptual peligrosidad-vulnerabilidad física-riesgo

En la Figura 6 se presenta un modelo teórico que relaciona los conceptos de fragilidad del paisaje y peligrosidad, con los conceptos de vulnerabilidad física y de elemento expuesto al peligro. A su vez a partir de dichas relaciones y con base en la teoría de indicadores ambientales, se define el concepto de indicador de vulnerabilidad física a la erosión.

La fragilidad es un concepto implícito en la valoración de peligrosidad de la erosión costera, cuya definición es dependiente del tipo, magnitud y frecuencia del proceso e independiente de que existan o no elementos antropogénicos expuestos al peligro. Sin embargo, gran parte de las costas en ó cercanas a áreas urbanas, soportan una notoria presión por desarrollos con la consecuente instalación de distinto tipo de elementos de origen antrópico sobre las mismas.

Así, en aquellas costas donde existen evidencias de peligro de erosión, los elementos localizados en las mismas quedan, en muchos casos, expuestos pasivamente a ese peligro. Incluso si para el emplazamiento de dichos elementos se debieron modificar algunas de las condiciones naturales específicas del sitio, ello puede haber contribuido a incrementar la fragilidad de la costa y por ende las condiciones de peligrosidad de la misma.

Ayala Carcedo (1992) define la exposición al riesgo como el conjunto global de población y bienes o servicios potencialmente expuestos a la acción de un peligro. En este trabajo se limitan los **elementos expuestos** sólo a los bienes físicos, de los cuales aquí se consideran exclusivamente: las infraestructuras en general cuya función puede ser vivienda, recreación o algún otro tipo de servicio y las obras de protección construidas con el fin de mitigar los efectos negativos de los fenómenos naturales sobre las infraestructuras emplazadas en la costa o sobre el sustrato geológico que la conforma.

Por ende, resulta claro visualizar que las estructuras establecidas en zonas con peligros de erosión tienen asociada una susceptibilidad a sufrir daño, la cual esta

relacionada con el grado de exposición y la debilidad de los elementos expuestos a la acción de los fenómenos (Cardona, 1993).

Al respecto, Wilches-Chaux (1993), relaciona el grado de susceptibilidad de los elementos a sufrir daño con el concepto de *vulnerabilidad física*, el cual se refiere a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgos y las deficiencias de sus estructuras físicas para absorber los efectos de esos riesgos.

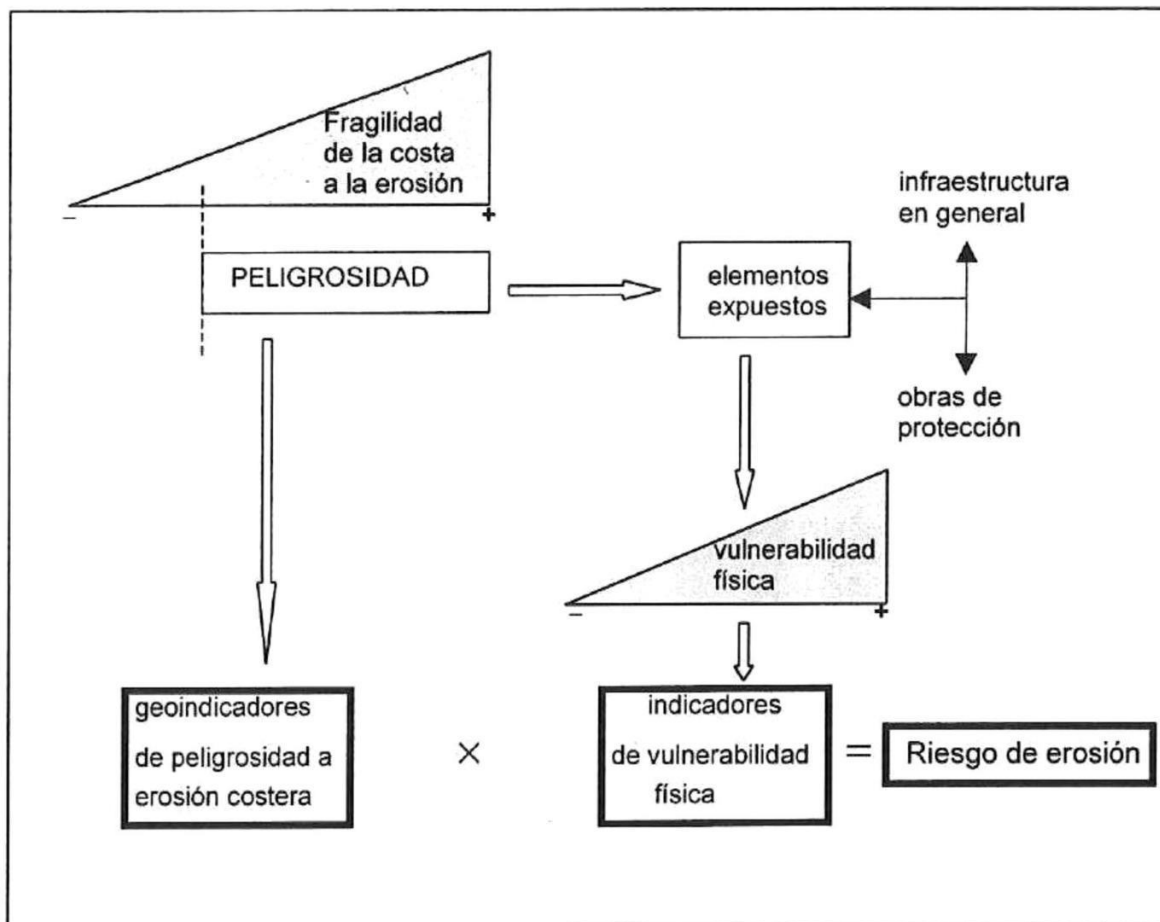


Figura 6. Modelo conceptual para la definición del riesgo de erosión costera a partir de geindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física.

Dado que los elementos expuestos pueden ser vulnerables por origen si fueron contruidos desde un comienzo sin ningún o con muy pocos criterios de seguridad o pueden hacerse progresivamente vulnerables como resultado del deterioro de las estructuras en el tiempo (Romero y Maskrey, 1993) la vulnerabilidad física de los elementos expuestos constituye una condición variable en el tiempo. De tal modo que dicha condición de vulnerabilidad puede cambiar entre un valor mínimo (-) y uno máximo (+). El incremento manifiesta una pérdida de estabilidad de la estructura tanto por destrucción mecánica de la misma como del sustrato que la soporta debido a la acción del proceso de erosión.

Por lo tanto, la vulnerabilidad física y el cambio de estado de la misma puede evidenciarse a partir de rasgos físicos de deterioro visibles en la estructura, los que constituyen atributos o variables que pueden ser identificados y monitoreados de modo de utilizarlos como indicadores del deterioro. Los mismos actuarían como indicadores *proxy* (ver definiciones de indicadores en este trabajo), con la función de *organizar, sistematizar, cuantificar, simplificar y comunicar* información de manera análoga a la establecida para los geoindicadores de peligrosidad definidos en el modelo correspondiente.

Dado que estos indicadores de vulnerabilidad física, se relacionan directamente con niveles de seguridad para el hombre y sus obras, al igual que los geoindicadores de peligrosidad cumplen con el interés social explícito en la definición original de indicadores, y por ende su evaluación también resulta relevante para el establecimiento de políticas costeras frente al riesgo de erosión.

La vulnerabilidad como uno de los factores que influye en la caracterización del riesgo (ver Figura 3) forma parte del modelo conceptual de la Figura 6, en el cual el riesgo a erosión costera queda definido en función de la peligrosidad de erosión costera y la vulnerabilidad física de los elementos expuestos. Ellos son expresados mediante geoindicadores de peligrosidad de erosión costera e indicadores de vulnerabilidad física a la erosión, respectivamente.

V.2 Modelo metodológico para la evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera

V.2.1 Modelo metodológico general

El modelo metodológico de evaluación de riesgo de erosión costera presentado en la Figura 7, está sustentado por los modelos conceptuales explicados en el inciso anterior. Tiene por objetivo desarrollar un esquema sistemático, sencillo y repetible que permita integrar y sintetizar las distintas variables naturales y antropogénicas que condicionan el riesgo de erosión costera. Para esto se proponen una serie de pasos metodológicos que culminan en una cuantificación de la situación imperante mediante el cálculo de un índice agregado de riesgo de erosión.

El modelo está estructurado en 5 pasos contenidos a su vez en dos fases, una primera que corresponde una evaluación cualitativa de la peligrosidad y el riesgo de erosión y una fase final que tiene por objeto lograr una evaluación cuantitativa de la problemática a partir de calcular índices agregados de peligrosidad, vulnerabilidad física y riesgo.

Los pasos metodológicos generales del presente modelo, se han ajustado a la estructura general de evaluación de riesgos propuesta por Cardona (1993), según la cual una evaluación completa debe incluir tres etapas principales:

1. Valoración de la peligrosidad (o amenaza)
2. Análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos
3. Estimación del riesgo

En el esquema de la Figura 7, se destacan las relaciones entre los diferentes pasos metodológicos y sus posibles implicancias para la toma de decisiones. Allí se pueden reconocer tres instancias de tomas decisiones vinculadas con las distintas fases metodológicas. El orden de los pasos, el objetivo principal y la metodología particular de cada uno se resumen en la Tabla II.

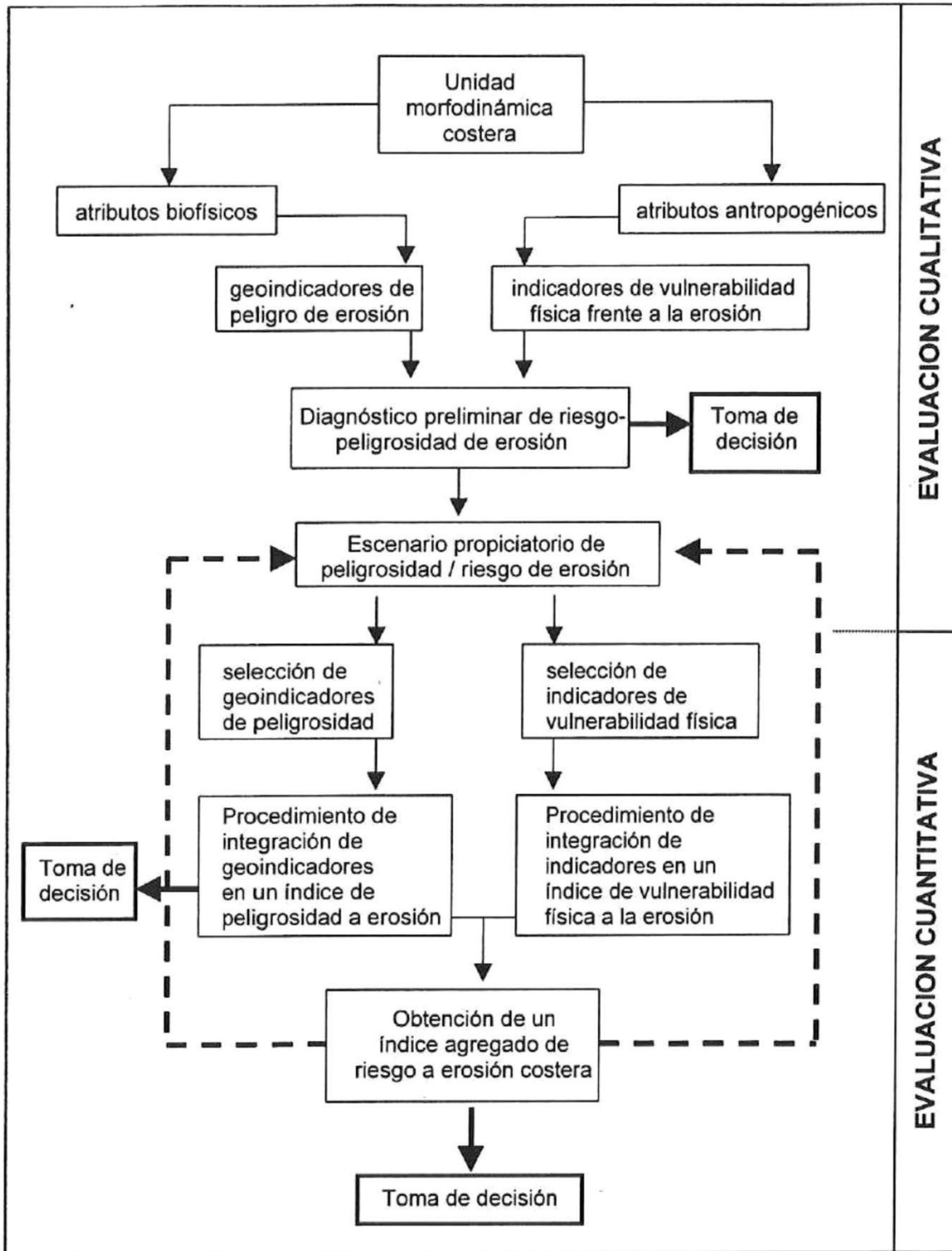


Figura 7. Modelo metodológico para la evaluación de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera basado en geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física.

PASOS	OBJETIVOS	METODOLOGIA PARTICULAR
1. Delimitación de unidades geomorfológicas costeras	Delimitar la disposición espacial de las distintas unidades costeras, homogéneas desde el punto de vista geológico-geomorfológico, considerando los elementos antropogénicos presentes.	Fotointerpretación y/o relevamientos de campo
2. Diagnóstico preliminar cualitativo de la franja costera	Evaluar la problemática de riesgo a erosión costera a partir de la evaluación de geoindicadores de peligro costero e indicadores de vulnerabilidad física de los elementos expuestos al peligro. I Identificar posibles escenarios propiciatorios de riesgo costero.	Documentación bibliográfica y datos de estudios previos. Relevamiento de campo con listados guías de geoindicadores de peligro e indicadores de vulnerabilidad física (Tablas III, IV y V). Adicionalmente con tabla 7. Calificación de la situación por comparación con matriz teórica de diagnóstico (Tabla V). Adicionalmente con Tabla VII.
3. Selección de geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física	Identificar un conjunto mínimo de geoindicadores de peligrosidad costera de erosión e indicadores de vulnerabilidad física que cumplan con los criterios claves de selección. Medición directa de campo de los indicadores seleccionados	Teniendo en cuenta los criterios claves detallados en la tabla 8, la selección se apoya en la experiencia profesional del evaluador. Alternativamente consulta a expertos.
4. Obtención de índices de peligrosidad de erosión costera y vulnerabilidad física a la erosión costera	Integrar los geoindicadores de peligro e indicadores de vulnerabilidad física medidos en índices agregados de peligrosidad y vulnerabilidad física. Clasificación de la peligrosidad y la vulnerabilidad física de la unidad morfodinámica.	Para la agregación de los índices se proponen 7 pasos metodológicos. Se adaptó la metodología propuesta por Batelle (1972) modificada por Cendrero y Fischer (1997) y Cabral et al. (1998). Para la clasificación de peligrosidad y vulnerabilidad física se utiliza una escala aritmética dividida en cuatro clases generales
5. Obtención de un índice agregado de riesgo de erosión costera	Integrar los conceptos de peligrosidad y vulnerabilidad física de los elementos expuestos al peligro en un único valor que represente el riesgo de erosión costera que caracteriza la unidad analizada.	La integración se realiza mediante una expresión matemática que combina los índices agregados de peligrosidad y vulnerabilidad física de los elementos expuestos al riesgo. Para la clasificación del riesgo se utiliza una escala aritmética dividida en cuatro clases generales.

Tabla II. Síntesis de los pasos metodológicos para la evaluación cualitativa y cuantitativa de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera.

V.2.2 Evaluación cualitativa

En los párrafos siguientes se explicarán los pasos metodológicos que permiten realizar la evaluación cualitativa sobre el estado del riesgo y/o peligrosidad de erosión costera propuesta en la sección superior de la Figura 7.

V.2.2.1 Delimitación de unidades morfodinámicas costeras

El modelo fue diseñado con el objetivo de analizar la franja costera en función de rasgos permanentes del terreno. Por ende, la metodología puede aplicarse a unidades de territorio definidas a partir de una regionalización ya existente, como por ejemplo a las unidades costeras definidas en el Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del Corredor costero Tijuana-Ensenada (1993), o generar como parte de la misma metodología una zonificación costera exclusivamente de la parte terrestre. Dicha zonificación permitirá la delimitación de unidades morfodinámicas (Cendrero, 1989) que son homogéneas con respecto a la escala y a los rasgos físicos del terreno que las definen. En el caso de tener que delimitar unidades como parte de la metodología, el primer escollo que se presenta es el de establecer el límite continental de la franja costera de interés.

Dado que aquí se plantea evaluar el riesgo de erosión sustentado en el análisis tanto de rasgos biofísicos como atributos antropogénicos, el límite continental de la franja costera y de las unidades contenidas en ella, deberá estar basado en el alcance de los rasgos que caracterizan la problemática.

De ese modo una unidad morfodinámica podrá ser delimitada a partir de una geoforma mayor (playa, acantilado, etc.), la que a su vez esta compuesta por determinadas características geológicas y tiene sobrepuestos rasgos antropogénicos como viviendas, caminos, obras de protección, etc. Por ende, el límite continental de la franja estará condicionado por el mayor alcance continental que se identifique en cualquiera de los dos atributos de interés, es decir geológicos y antropogénicos.

Una de las propuestas de Sorensen et al. (1992) para establecer límites costeros, considera a la zona costera como un área comprendida entre una distancia arbitraria mar afuera y una distancia arbitraria tierra adentro, ambas medidas desde una determinada línea de marea. En dicha propuesta las distancias arbitrarias están vinculadas con los alcances de los límites administrativos.

El límite continental de la franja costera aquí propuesto es variable. Fue definido con fines operativos y por ende, puede o no coincidir con límites administrativos como, por ejemplo, los límites de la ZOFEMAT (Zona Federal Marítimo Terrestre) o con los límites de zona costera definidos por el Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del Corredor costero Tijuana-Ensenada (1993).

Como los rasgos geológicos y geomorfológicos constituyen uno de los atributos definitorios de la problemática de erosión y ésta a su vez condiciona la delimitación de la franja costera en estudio, es factible definir dicha franja como un sistema morfodinámico en el sentido de Cendrero (1989); el que a su vez está subdividido en unidades morfodinámicas menores.

V.2.2.2 Diagnóstico preliminar de la franja costera

a. Propósito

El diagnóstico preliminar tiene la función de lograr una primera estimación cualitativa del riesgo-peligrosidad de erosión. Por lo tanto, se considera que la metodología para arribar a ese primer resultado debe ser sencilla, repetible y expeditiva.

Con el fin de facilitar la explicación de la metodología se limitará el análisis de la erosión costera a unidades morfodinámicas definidas por acantilados, pero se destaca que el mismo tipo de metodología puede ser aplicada a otro tipo de morfologías costeras, adecuando fundamentalmente los geoindicadores de interés.

Los cambios costeros y los procesos activos que los condicionan pueden ser identificados a partir de factores o rasgos geológicos, los que analizados críticamente pueden auxiliar en la evaluación de la intensidad relativa de los procesos actuales y pasados y por ende proveer evidencias sobre el riesgo asociado con la posibilidad de desarrollo de un determinado sitio (Bush et al., 1999). Vale decir, que con base en estas consideraciones parece factible realizar un diagnóstico preliminar cualitativo (Young et al., 1996) de la peligrosidad de erosión, a partir de inventariar rasgos geológicos, que puedan ser utilizados como geoindicadores suplementarios de peligrosidad de erosión costera.

Adicionalmente, el relevamiento de los rasgos físicos de deterioro de los distintos elementos antropogénicos expuestos al peligro, conceptualizados aquí como indicadores de vulnerabilidad física a la erosión, permiten completar el cuadro de situación con el fin de efectuar una evaluación preliminar del riesgo costero de erosión. Esto último se apoya parcialmente en lo mencionado por Griggs y Fulton-Bennett (1988) sobre que el deterioro físico de las obras es una evidencia visible de los problemas ingenieriles que las afectan y en consecuencia de su probabilidad de daño frente a la acción de proceso.

b. Procedimiento

b.1 Geoindicadores de peligrosidad de erosión costera

De modo similar a la propuesta metodológica de Young et al. (1996) para la evaluación cualitativa de la peligrosidad de erosión, pero adaptado en este caso para costas acantiladas, en la Tabla III se propone un listado de los atributos biofísicos (geoindicadores suplementarios) de escala local y/o específicos del sitio (Bush et al, 1999), más comúnmente reconocidos en la bibliografía consultada como factores que favorecen la erosión o que evidencian erosión costera activa, tanto sea por la acción de procesos marinos como subaéreos (Emery y Kuhn, 1982; Kuhn y Shepard, 1983; Sunamura, 1983; Young et al., 1996; Griggs, 1999; Hampton y Dingler, 1998; Benumof y Griggs, 1999).

Atributos biofísicos que favorecen la erosión	Atributos biofísicos que evidencian erosión activa
Discontinuidades estructurales en la pared del acantilado (fracturas, diaclasas, planos de estratificación) sin cementación.	Cárcavas y rills en el tope y paredes del acantilado. Drenaje pluvial bien definido
Juegos de fracturas en la pared del acantilado con distintas orientaciones	Ausencia de talud en la base del acantilado
Columna estratigrafía con heterogeneidad litológica vertical marcada por la alternancia de rocas con distinta resistencia a la erosión	Perfil acantilado con quiebre de la pendiente siendo más vertical en la base por erosión marina y/o más suave hacia el tope por erosión subaérea.
Playa angosta o ausente en condiciones de alta marea y humedad en la base del acantilado	Presencia de abanicos de detritos en la base del acantilado
Vegetación ausente o efímera sobre el tope y/o la pared del acantilado	Bloques caídos en la base del acantilado y/o sobre la playa adyacente
Acantilado constituido en su mayor parte por material inconsolidado o semiconsolidado.	Deslizamientos traslacionales y rotacionales en la pared o en la base del acantilado
Pendientes con fuerte inclinación (>30°)	Socavamiento de la base del acantilado con formación de voladuras, cavernas, arcos y/o pilares.
Afloramiento de vertientes en la pared del acantilado	Presencia de detritos depositados en la pendiente del acantilado
Inclinación predominante de los planos estratigráficos hacia la línea de marea.	Presencia de plataformas de abrasión de olas frente al acantilado
Configuración costera convexa hacia el mar, formando puntas o cabos marinos.	

Tabla III. Listado de atributos biofísicos que pueden ser utilizados como geoindicadores suplementarios para evaluar el peligro de erosión de una zona costera acantilada.

b.2 Indicadores de vulnerabilidad física a la erosión costera

Análogamente a la propuesta de Guardado France (1997), en la Tabla IV se enlistan aquellos rasgos físicos que son citados en la bibliografía consultada (Griggs y Fulton-Bennett, 1988; Griggs, et al, 1994; Ramos, 1993; Guardado France, 1997 y Griggs, 1999) como evidencias de deterioro de las obras de protección costera y que por ende influyen directamente en su grado de funcionalidad (Edward et al., 1995).

En la Tabla V se propone un listado similar al de la Tabla IV, pero para la inspección visual de los indicadores de vulnerabilidad física de la infraestructura en general (viviendas, caminos, etc.) localizada en la costa. En este caso se consideró adecuado dividir los rasgos de deterioro propios de las construcciones (indicadores de

vulnerabilidad física directos) de aquellos que se definen a partir de la relación espacial entre las construcciones y algún rasgo físico del terreno colindante (indicadores de vulnerabilidad física indirectos), el que puede contribuir a la vulnerabilidad de la infraestructura expuesta pero que no es intrínseco de la misma.

Indicadores de vulnerabilidad física de las obras de protección (muros)
Ausencia de cimientos en la base de las estructuras
Evidencias de erosión lateral en terrenos inmediatamente aledaños a la misma
Hoyos, grietas y derrumbes que evidencian erosión la base de la obra
Grietas y Hoyos en la pared de la estructura
Oxidación en los elementos metálicos que forman parte de la estructura
Bloques de material de la estructura caídos en la playa aledaña.
Escasos tubos de drenaje en los muros de la estructura
Estructura rebasada por el oleaje

Tabla IV. Listado de rasgos físicos que evidencian deterioro de las obras de protección, considerados como indicadores de vulnerabilidad física a la erosión costera.

Indicadores de vulnerabilidad física directos	Indicadores de vulnerabilidad física indirectos
Cimientos de la infraestructura descubiertos	Colindancia de la infraestructura con el tope del acantilado
Fracturamiento y/o huecos en la pared de las construcciones	Ausencia de vegetación entre la infraestructura y el tope del acantilado
Bloques de mampostería en los alrededores de las construcciones	Movimiento de suelos y/o suelos compactados en los alrededores de la infraestructura
Drenajes pluviales de la construcción orientados directamente hacia la pendiente del acantilado	Presencia de suelos con alto contenido de arcillas expansibles
	Caminos asfaltados en los laterales de la construcción, dispuestos perpendiculares a la línea de costa
	Evidencias de escurrimientos pluviales cercanos a la infraestructura

Tabla V. Listado de indicadores de vulnerabilidad física (directos e indirectos) de la infraestructura situada en la costa acantilada sometida a proceso de erosión.

b.3 Método de evaluación

La evaluación esta sustentada en un relevamiento de campo o inclusive una revisión de datos preexistentes del sitio utilizados bajo otra óptica, que igualmente permitan identificar la presencia o ausencia de dos o más geoindicadores de peligrosidad de erosión (ver Tabla III), de dos o más elementos antropogénicos expuestos y de dos o más indicadores de vulnerabilidad física en los mismos (ver Tablas IV y V). Se considera adecuado un número mínimo de dos indicadores a partir de la recomendación de Forbes y Liverman (1996) quienes destacan que una evaluación válida jamás debería basarse en el dato aislado que aporta un solo indicador, el que puede resultar no representativo.

La elección de los sitios para la inspección visual de los rasgos dentro de la unidad tanto como la cantidad de relevamientos estará directamente vinculada con el objetivo principal del estudio, con el tamaño de la unidad morfodinámica y con el criterio del evaluador.

Luego, los resultados del relevamiento visual se ingresan a una matriz teórica de diagnóstico cualitativo del riesgo y peligrosidad a erosión costera (Tabla VI) a partir de la cual caracterizar expeditivamente la situación del área bajo estudio. La matriz está conformada por dos columnas que indican la condición potencial o real de la problemática. Dichas columnas se combinan con siete situaciones vinculadas con los atributos antropogénicos, las que van desde un extremo donde no existen elementos expuestos hasta un extremo donde se tiene la peor condición de éstos.

Por ende, en la Tabla VI quedan definidas 10 posibles situaciones de riesgo y/o peligrosidad, tanto reales como potenciales. Para cada una la matriz admite tres niveles de diagnóstico. Cabe destacar que los cuadros vacíos en la matriz corresponden a situaciones con muy baja probabilidad de ocurrencia ya que en casi todos los casos las obras de protección son construidas en sitios donde la erosión costera es evidente (Griggs et al., 1994) y por ende no aplica en casos de peligrosidad potencial.

En primer término se obtiene una distinción entre situaciones de riesgo y peligrosidad en función de la presencia o la ausencia de elementos expuestos. En segundo término se presenta una calificación del riesgo y de la peligrosidad según su estado potencial o real sobre la base de la presencia o ausencia de evidencias de erosión activa (ver Tabla III).

En tercer término, a partir de la combinación del paso anterior con los resultados de las Tablas IV y V, se obtiene una jerarquización relativa entre las distintas situaciones de riesgo. Dicha evaluación se hace con base en una escala ordinal (mayor que o menor que). Esta escala ordinal se aplica tanto en la condición real como potencial y toma en cuenta la presencia o ausencia de obras de protección y/o de indicadores de vulnerabilidad física en los distintos elementos antropogénicos relevados. Por ejemplo, la situación C es valorada como de riesgo potencial cualitativamente mayor que la B ya que en esta última se reconocen indicadores (directos y/o indirectos) de vulnerabilidad física en la infraestructura, lo cual de un modo cualitativo señalaría una mayor susceptibilidad de la misma frente a la erosión.

La valoración cualitativa de la Tabla VI, admite una valoración adicional en el caso de presencia de obras de protección con indicadores de vulnerabilidad física. Ello se realizaría mediante la propuesta metodológica de Guardado France (1997) que evalúa el estado de la obra y su relación funcional, sobre la base del número de problemas que presenta (Tabla VII). La relación cualitativa ha considerar será que con el aumento del número de problemas, disminuye la funcionalidad de la obra y por ende el riesgo de daño de la misma será mayor y en consecuencia se incrementa la valoración del riesgo del sitio.

atributos biofísicos viene de Tabla III atributos antropogénicos viene de tablas IV y V	Geoindicadores suplementarios que favorecen la erosión costera de acantilados	Geoindicadores suplementarios que evidencian erosión activa en acantilados
No existen elementos antropogénicos expuestos	A PELIGROSIDAD POTENCIAL	D PELIGROSIDAD REAL
Infraestructura sin indicadores de vulnerabilidad física	B RIESGO POTENCIAL menor que C	E RIESGO REAL menor que F
Infraestructura con indicadores de vulnerabilidad física	C RIESGO POTENCIAL mayor que B	F RIESGO REAL mayor que E
Infraestructura y obras de protección sin indicadores de vulnerabilidad física	—	G RIESGO REAL menor que E y F
Infraestructura y obras de protección con indicadores de vulnerabilidad física	—	H RIESGO REAL mayor que G
Infraestructura sin indicadores de vulnerabilidad física y obras de protección con indicadores de vulnerabilidad física	—	I RIESGO REAL menor que E (?)
Infraestructura con indicadores de vulnerabilidad física y obras de protección sin indicadores de vulnerabilidad física	—	J RIESGO REAL menor que F (?)

Tabla VI. Matriz teórica de diagnóstico cualitativo de peligrosidad y riesgo de erosión costera basada en geindicadores de peligrosidad de erosión e indicadores de vulnerabilidad física a la erosión de los elementos expuestos al peligro.

NUMERO DE PROBLEMAS	ESTADO FISICO DE LA OBRA
0 a 1	Excelente
2 a 3	Bueno
4 a 5	Aceptable
6 a 7	Malo
Más de 7	Muy malo

Tabla VII. Asignación del estado físico de la obra de protección en función del número de problemas identificados (extractado de Guardado France, 1997)

Conceptualmente, una situación donde exista algún tipo de atributo antropogénico expuesto a la erosión, sea ésta real o potencial, puede ser considerado como un escenario propiciatorio del riesgo (Funtowicz y Ravetz, 1991), en el cual se combinan una predisposición física del ambiente y prácticas de manejo inadecuadas. Por ende, en la matriz teórica de diagnóstico cualitativo las situaciones B, C, E, F, G, H, I y J, constituyen escenarios teóricos propiciatorios del riesgo de erosión costera.

En consecuencia, uno de los principales resultados que aportaría un diagnóstico cualitativo de la problemática es la identificación expeditiva de estos escenarios con el fin de auxiliar de manera preliminar a la instancia de toma de decisiones.

b.4 Toma de decisiones

Nijkamp et al. (1990) sostienen que toda evaluación es un conjunto de actividades para clasificar y organizar la información necesaria para tomar una decisión, de tal manera que los participantes del proceso puedan realizar su elección de la manera más balanceada posible.

A partir de la evaluación preliminar propuesta en este trabajo se obtiene un primer diagnóstico sobre la problemática vinculada con la peligrosidad y/o el riesgo de erosión costera. Por ende, sobre la base de la definición de Nijkamp et al. (1990) es factible afirmar que los resultados del diagnóstico propuesto, tendrían una relevancia directa para la instancia de toma de decisiones. Ello será discutido con más detalle en el inciso correspondiente a la proyección práctica de las evaluaciones en la toma de decisiones.

V.2.3 Evaluación cuantitativa

La identificación de un escenario propiciatorio del riesgo a partir de la evaluación cualitativa, constituye una señal de alerta sobre el estado del ambiente costero. Esto en principio debería inducir a aplicar una segunda instancia metodológica con el fin de cuantificar las estimaciones cualitativas preliminares. En el presente caso ello se lleva a cabo mediante la integración de indicadores ambientales en índices agregados que sintetizan las variables que contribuyen a la peligrosidad y a la vulnerabilidad física a la erosión costera.

Para el diseño de esta segunda fase se adecuó el esquema metodológico que proponen Cendrero (1997b) y Cendrero y Fischer (1997) para la obtención de índices agregados de calidad ambiental en zonas litorales.

Por lo tanto, la evaluación cuantitativa del riesgo de erosión en la presente propuesta, se estructura según los siguientes pasos principales mencionados en la Figura 7:

1. Selección de geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física
2. Integración de geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física en respectivos índices agregados de peligrosidad de erosión costera y de vulnerabilidad física (de los elementos expuestos) a la erosión costera.
3. Obtención de un índice agregado de riesgo de erosión costera a partir de la integración de los índices obtenidos en el paso 2.

V.2.3.1 Selección de geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física a la erosión costera

En la Tabla VIII se han resumido los criterios claves que se citan en distintas fuentes bibliográficas para seleccionar indicadores ambientales. En este trabajo se proponen dichos criterios como base para seleccionar los geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física que permitan llevar adelante la evaluación y cuantificación del riesgo de erosión costera. Sin embargo, debe destacarse que la

selección de los indicadores está siempre condicionada por la escala y el nivel de detalle del análisis a realizar (Cendrero y Fischer, 1997).

CRITERIOS DE SELECCION	DESCRIPCION
Representatividad, Relevancia y Significancia	Debe ser suficientemente representativo de la condición general y relevante para la problemática a analizar de modo de satisfacer el objetivo prefijado. También debe ser de significativa importancia para el usuario y el establecimiento de políticas.
Validez científica	Debe estar basado en datos científicos bien fundamentados, fiables y de calidad.
Predictivo	Debe tener capacidad de predicción sobre futuras situaciones negativas en los ecosistemas con el fin de utilizarlo como señal de alarma temprana.
Sensibilidad al cambio	Debe ser sensible al cambio para indicar tendencias de corto plazo del ambiente natural y su interacción con el ambiente humano.
Fácilmente mensurable	Los datos deben admitir mediciones prácticas y relativamente sencillas.
Repetible y Comparable	Los indicadores deben estar soportados en datos disponibles o razonablemente sencillos de obtener para así admitir la repetición de las mediciones con el fin de poder comparar los resultados obtenidos en distintos lapsos temporales y así establecer la dinámica del cambio.
Precisión y exactitud.	El indicador debe admitir mediciones precisas a partir de las cuales obtener resultados lo más exactos posibles.
Costo-eficiencia	Debe ser administrativamente eficiente en términos del costo de la obtención de datos y uso de la información resultante de los mismos.
Comprensible	Debe ser claro y simple de visualizar y por ende de fácil comprensión por personas no especialistas que hagan uso del mismo.

Tabla VIII. Criterios claves de selección de indicadores y geoindicadores (extractados de Ministerio del Ambiente, 1996; Forbes y Liverman, 1996; Elliot, 1996 y Neimanis y Kerr, 1996 y Cendrero, 1997b)

La selección es uno de los pasos más complicados del procedimiento, dado que idealmente se deberán identificar en las Tablas III, IV y V, aquellos indicadores que cumplan con el mayor número posible de criterios claves. Asimismo, en caso de que varios de ellos reunieran dicha condición, posiblemente se deba recurrir a una nueva selección con el fin de evitar complicar el análisis con demasiados datos.

Habrán dos aspectos relevantes en el tema de la selección de indicadores: a) decidir la cantidad de indicadores a trabajar, b) establecer una base operativa para llevar adelante el procedimiento de selección.

La cantidad de indicadores a trabajar dependerá de la complejidad de la problemática de erosión bajo estudio. Algunos autores (Cendrero, 1997b, Berger, 1996a, Elliot, 1996, Bush et al., 1999) recomiendan un conjunto mínimo de datos, pero siempre en un número mayor a uno, ya que una evaluación confiable jamás debería estar basada en el dato aislado que aporta un solo indicador (Forbes y Liverman, 1996).

Aunque se trate de indicadores, los que por definición ya son datos agregados, no es posible considerar todos los elementos y sus contribuciones, ya que en muchos casos ello significa listados extremadamente extensos (Cendrero y Fischer, 1997) o una complicación innecesaria del análisis con el consecuente aumento de los costos y el tiempo de la evaluación. Por ello, de acuerdo con Elliot (1996), se considera conveniente acotar el marco de análisis mediante la selección de un conjunto de datos que satisfagan un objetivo o problemática en particular.

El proceso de selección deberá estar principalmente apoyado en la experiencia profesional del evaluador. Sin embargo, en concordancia con Cendrero (1997b) y Cabral et al., (1998), se considera que la realización de cuestionarios sistematizados entre científicos y expertos en zonas litorales pueden ayudar a disminuir el grado de subjetividad implícito en la selección de indicadores por parte de un sólo profesional.

La selección de indicadores y geoindicadores ha ocupado la atención de distintos autores (Ministerio del Ambiente, 1996; Forbes y Liverman, 1996; Elliot, 1996; Neimanis y Kerr, 1996 y Cendrero, 1997b) que coinciden en destacar la relevancia que adquiere el tema, ya que la selección condicionará las evaluaciones y por lo tanto la confiabilidad de los datos resultantes de las mismas. Dado que todo proceso de selección tiene implícito un cierto grado de subjetividad (Cendrero, 1997b) se debe intentar reducir la misma al máximo posible (Forbes y Liverman, 1996) mediante un proceso de selección sustentado en criterios debidamente especificados.

V.2.3.2. Obtención de índices de peligrosidad de erosión costera y vulnerabilidad física a la erosión costera

El objetivo de este paso es llevar a cabo la integración de los geoindicadores de peligrosidad y los indicadores de vulnerabilidad física seleccionados, con el fin de obtener índices de peligrosidad de erosión costera y vulnerabilidad física a la erosión costera respectivamente. De tal modo que los índices a obtener representarán una visión simplificada de las características que contribuyen a la problemática de erosión en la unidad morfodinámica bajo análisis.

Para el procedimiento de integración de los indicadores se adecuó parcialmente la metodología general propuesta por Batelle (1972), adoptada más tarde por Cendrero y Fischer (1997) para el cálculo de índices de calidad ambiental y por Cabral et al. (1998) para cuantificar la peligrosidad de sitios con movimiento de suelos.

El procedimiento de integración de indicadores aquí propuesto se esquematiza en 7 pasos metodológicos principales:

1. Definición de unidades de medición para cada indicador seleccionado.
2. Asignación del intervalo de medición, lo que implica establecer el rango de variación para las medidas realizadas sobre cada indicador.
3. Unificación de escalas de medición, mediante una transformación de la magnitud del indicador a una escala adimensional de 0 y 1, donde 0 corresponde al valor más bajo o mejor condición del indicador y 1 al valor más alto o peor condición del mismo (en este caso vinculada con la máxima vulnerabilidad o peligrosidad de erosión). Los valores intermedios se calculan por interpolación con los extremos.
4. Ponderación de los distintos indicadores para obtener su importancia relativa, mediante la asignación de un peso que puede variar entre 0 y 1.
5. Cálculo de índices temáticos (Cabral et al., 1998) a partir de multiplicar el valor de cada indicador obtenido en los pasos 1 y 2 por el peso asignado a los mismos en el paso 4.

6. Integración de los distintos índices temáticos (INT) por adición ponderada directa para obtener índices agregados (INa): a) de peligrosidad de erosión costera (Igep), b) de vulnerabilidad física de la infraestructura a la erosión (lvfi) y c) de vulnerabilidad física de las obras de protección a la erosión (lvfp). Ello se realiza según la siguiente expresión matemática:

$$INa = \sum INT = \sum P_i \times V_i$$

Donde:

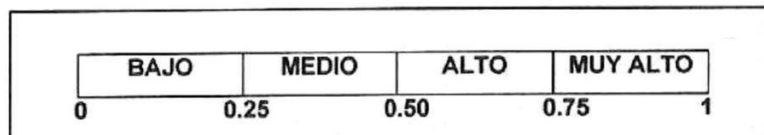
INa = Índice agregado que según sea el caso podrá corresponder a peligrosidad de erosión costera (Igep), de vulnerabilidad física de la infraestructura a la erosión (lvfi) y de vulnerabilidad física de las obras de protección a la erosión (lvfp).

INT = Índice temático

P_i = peso asignado al indicador i

V_i = valor de la medición del indicador i

7. Calificación de la peligrosidad y la vulnerabilidad física en función del valor obtenido para cada índice agregado, a partir de su comparación con una escala aritmética de clases entre 0 y 1, definidas por los cuartiles 25, 50 y 75, las cuales se ordenan de la siguiente manera:



Donde:

0 es la mejor condición de los índices agregados

1 es la peor condición de los índices agregados

En las Tablas IX y X se ordenan los distintos pasos descriptos. Dado que los resultados provienen de dos tipos de análisis diferentes (mediciones directas de campo y operaciones matemáticas) se considera operativo presentarlos en dos tablas distintas. Por ende, la Tabla X concentra los resultados de las operaciones y transformaciones matemáticas y el cálculo de los índices temáticos (INT) que luego se integran para el cálculo final de los índices agregados (INa). Por otra parte, la Tabla IX es fundamental para el análisis, y para futuros seguimientos y monitoreos, ya que constituye el registro de las medidas de campo de cada tipo de indicador e incluye las estimaciones profesionales implícitas en los pasos 1 y 2.

Con el único fin de ejemplificar el proceso metodológico de integración de indicadores se seleccionaron cuatro geoindicadores de los listados en la Tabla III, dos que evidencian erosión activa y dos que favorecen la erosión. Se aclara que un procedimiento similar se deberá seguir para el cálculo de índices de vulnerabilidad física. A los geoindicadores se les asignó una posible unidad de medición y un intervalo de variación a partir de los cuales se calcularon luego los índices temáticos, y el correspondiente índice agregado de peligrosidad de erosión costera.

geoindicador seleccionado	Unidad de medición	Intervalo de medición	Medida resultante
Remoción en masa	Nº de bloques / unidad de superficie (10 m ²)	≤ 1 - ≥ 10	6
Grado de fracturamiento	Nº de fracturas / unidad de superficie (m ²)	≤ 1 - ≥ 30	15
Pendiente del acantilado	grados	≤ 10° - ≥ 50°	20°
carcavamiento	Nº de cárcavas / unidad de longitud (100m)	≤ 1 - ≥ 30	1

Tabla IX. Registro de las medidas de campo realizadas sobre los indicadores ambientales seleccionados.

Geoindicador seleccionado	Medida resultante	Rango para la unificación de escalas	Valor del geoindicador V	Ponderación P	Índices temáticos (Int) (VxP)
Remoción en masa	6	0 - 1	0.6	0.40	0.24
Grado de fracturamiento	15	0 - 1	0.5	0.30	0.15
Pendiente del acantilado	20°	0 - 1	0.4	0.20	0.08
carcavamiento	1	0 - 1	0	0.10	0
Igep =					0.47

Tabla X. Transformaciones matemáticas de las medidas de campo para el cálculo de índices temáticos y el índice agregado de peligrosidad de erosión costera (Igep)

Finalmente, sobre la base de contrastar el valor obtenido para el índice agregado de peligrosidad (Igep) con la escala de clasificación del paso 7, se concluye que a la unidad relevada le correspondería una calificación de peligrosidad de erosión media.

La definición de las unidades y el intervalo de medición apropiado para cada indicador así como la ponderación entre indicadores, constituyen procesos que deben ser especialmente atendidos, ya que al no existir técnicas sistemáticas para los mismos (Cendrero y Fischer, 1997) su determinación se apoya en juicios de valor y por ende puede ser motivo de controversia entre distintos evaluadores. Por lo tanto, de igual modo que para el caso de la selección de indicadores, se considera que dichos procesos deben respaldarse en el criterio y conocimiento profesional del evaluador.

Aquí nuevamente aplicaría la consideración de Cendrero (1997b) y Cabral et al. (1998) respecto a que la realización de cuestionarios sistematizados entre científicos y expertos relacionados con la problemática en estudio, pueden ser considerados como una alternativa válida para disminuir la subjetividad intrínseca de la evaluación unipersonal.

V.2.3.3 Obtención de un índice agregado de riesgo de erosión costera

Luego de la definición de los índices agregados de peligrosidad y vulnerabilidad física, se considera factible obtener una cuantificación mayor de la evaluación y por ende una imagen aún más sintética del riesgo, mediante la combinación de los tres índices agregados que definen la situación en la unidad morfodinámica de análisis. Para ello se propone una expresión matemática que los combine en un único índice que cuantifique y califique el riesgo de erosión costera (ver Figura 7). A continuación se explicará el procedimiento que lleva a la definición del índice mencionado.

La posibilidad de integración de los tres índices en una única expresión se sustenta en la relación conceptual del riesgo de Cardona (1993) que establece:

$$R = P \times V$$

la que también se puede expresar mediante una relación aditiva que es conceptualmente análoga:

$$R = P + V$$

Donde:

R es riesgo (o desastre)

P es peligro (o amenaza)

V es vulnerabilidad

En el presente trabajo la vulnerabilidad se cuantifica por medio de indicadores de vulnerabilidad física de los elementos expuestos, integrados en sus respectivos índices agregados (*lvfi*, *lvfp*). Por ende, la vulnerabilidad física total (*VfT*) será igual al valor del índice de vulnerabilidad de la infraestructura, cuando en el sector costero analizado no existan obras de protección. En caso contrario ambas vulnerabilidades deben combinarse de acuerdo con ciertos criterios que se exponen a continuación.

Edward et al. (1995, citado en Guardado France 1997), establece que uno de los criterios significativos para evaluar la *funcionalidad* de una obra de protección es su estado de deterioro bajo una relación inversamente proporcional. Por lo tanto, de acuerdo con los conceptos que sustentan el presente trabajo es factible afirmar que cuanto mayor sea el índice de vulnerabilidad física de la obra de protección (más cercano a 1) menor será su funcionalidad. De lo mencionado es posible derivar la relación:

$$F = 1 / D$$

$$F = 1 / (1 + lvfp)$$

Donde:

F= funcionalidad de la obra de protección

D= deterioro de la obra de protección

lvfp= índice agregado de la vulnerabilidad de la obra de protección a la erosión costera.

De acuerdo con dicha relación, una obra de protección en el máximo de su funcionalidad (*F* cercano a 1) le resta vulnerabilidad física a la infraestructura protegida por ella, de modo tal que la infraestructura estaría en sus niveles más altos de seguridad. En cambio, en el caso de valores altos de vulnerabilidad física de la obra de protección, la

infraestructura estaría expuesta a las más altas posibilidades de sufrir daño por la acción de un proceso erosivo. Por lo tanto, la relación entre los índices de vulnerabilidades físicas que constituyen la vulnerabilidad total de los elementos expuestos, puede expresarse matemáticamente de la siguiente manera:

$$V_{FT} = I_{vfi} - F = I_{vfi} - 1 / (1 + I_{vfp})$$

Donde:

$$V = V_{FT} = f(I_{vfi}, I_{vfp})$$

I_{vfi} = Índice agregado de vulnerabilidad física de la infraestructura

F = funcionalidad de la obra de protección

I_{vfp} = Índice agregado de vulnerabilidad física de la obra de protección a la erosión costera

Si luego se retoma la relación de riesgo de Cardona (1993) pero expresada como una adición de peligrosidad y vulnerabilidad, y se reemplazan en ella estos términos por las expresiones de los distintos índices agregados y sus interrelaciones, se obtiene la siguiente expresión mediante la cual se considera factible definir un índice de riesgo de erosión costera:

$$R = P + V = P + V_{FT}$$

$$IR = I_{gep} + (1 + I_{vfi} - 1 / 1 + I_{vfp})$$

Donde:

R = riesgo

P = peligrosidad = $f(I_{gep})$

V = V_{FT} = Vulnerabilidad física total = $f(I_{vfi}, I_{vfp})$

IR = Índice de riesgo de erosión costera basado en geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física

I_{gep} = Índice agregado de peligrosidad de erosión costera

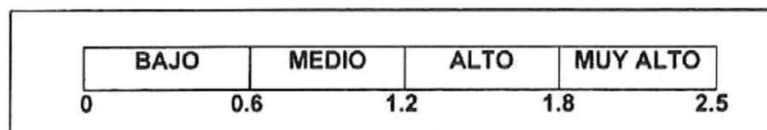
I_{vfi} = Índice agregado de vulnerabilidad física de la infraestructura a la erosión costera

I_{vfp} = Índice agregado de vulnerabilidad física de la obra de protección a la erosión costera

Los distintos índices integrados en la expresión final del índice de riesgo de erosión costera IR, tienen un rango de variación entre 0 y 1. Por lo tanto, si luego se reemplazan en la expresión se reemplazan los índices por sus valores extremos (vale decir por 0 que representa las condiciones de peligrosidad y vulnerabilidad física más

bajas y luego por 1 que corresponde a las peores condiciones de los mismos) se obtienen el rango de variación teórica para el IR entre 0 y 2.5, donde esta última cifra representa la calificación de riesgo más alta posible.

Luego, si el rango de valores entre 0 y 2.5 se divide en cuatro clases iguales se obtiene una clasificación teórica del riesgo, ordenado de la siguiente manera:



Donde:

- 0** constituye la mejor condición del índice de riesgo de erosión costera
- 2.5** constituye la peor condición del índice de riesgo de erosión costera

V.3 Validación teórica del índice de riesgo IR

Con el propósito de comprobar la validez de las relaciones teóricas planteadas entre los índices agregados, en la expresión que define el índice de riesgo de erosión costera se sometió el IR a distintas combinaciones que definen ocho situaciones de riesgo extremas.

En el ejercicio que se presenta se reemplazaron los respectivos índices de vulnerabilidad física y de peligrosidad por sus valores teóricos extremos (ver escala del punto 7 de metodología de integración de indicadores) que caracterizan la peor condición (1) y la mejor condición (0) de los índices.

Luego cada situación fue clasificada según la escala de riesgos definidas en el punto anterior. Los resultados de dicha prueba se presentan en la Tabla XI.

Situación de riesgo	I _{gep}	I _{vfi}	I _{vfp}	IR	Calificación del riesgo
1	0	0	0	0	Mínimo riesgo
2	1	0	0	1.5	Alto
3	0	0	1	0.5	Bajo
4	1	1	0	2	Muy alto
5	0	1	1	1.5	Alto
6	1	1	1	2.5	Máximo riesgo
7	0	1	0	1	Medio
8	1	0	1	1.5	Alto

Tabla XI. Resultados del comportamiento del IR en situaciones teóricas de peligrosidad y vulnerabilidad física extremas (I_{gep}: índice de peligrosidad, I_{vfi}: índice de vulnerabilidad física de la infraestructura, I_{vfp}: índice de vulnerabilidad física de la obra de protección)

A partir de los resultados obtenidos se determina que las situaciones calificadas como de más alto riesgo por el índice, se corresponden con: a) las condiciones más desfavorables tanto de la peligrosidad como de la vulnerabilidad física total, o b) con aquellas donde domina la relación entre una elevada peligrosidad y la condición más desfavorable de vulnerabilidad física de alguno de los dos tipos de elementos expuestos al peligro.

En cambio, los niveles de riesgo más bajo se alcanzan en situaciones donde: a) los tres componentes definitorios del riesgo están en su mejor condición, o b) la peligrosidad es mínima y alguno de los dos elementos expuestos está en su peor condición.

Cabe destacar que independientemente de la condición de peligrosidad, la peor condición de la infraestructura obtiene una calificación del riesgo algo más alta que cuando dicha situación recae sobre la obra de protección. Ello se considera coherente y puede explicarse a partir por la siguiente situación.

Si la protección esta al máximo de su funcionalidad (I_{vfp} \cong 0) y la infraestructura esta en su peor condición (I_{vfi} \cong 1), el riesgo total estará dominado por la debilidad estructural de la infraestructura y por su relación con la peligrosidad general del sitio. Dado que a la peligrosidad del sitio aportan tanto fenómenos marinos como subáereos, es lógico suponer, al momento de calificar el riesgo total, que la relación peligrosidad-

infraestructura debe tener más peso que el estado de la obra de protección, la que en general busca mitigar solamente los efectos de los fenómenos marinos.

En síntesis, a partir del análisis general de los resultados, se comprueba que las relaciones planteadas en la definición del IR, permiten arribar a calificaciones de riesgo extremas que son coherentes con las valoraciones de peligrosidad y vulnerabilidad física obtenidas a partir de la integración de indicadores en sus respectivos índices agregados.

Por otra parte, las ocho combinaciones extremas que se plantearon delimitan un gran campo de riesgo, el que se puede visualizar mediante un diagrama triangular como el presentado en la Figura 8. En el mismo se definen seis campos teóricos de riesgo en función del rango de variación teórico para cada índice (0-1) y de las calificaciones de peligro y vulnerabilidad física (ver punto 7 de integración de indicadores) según éstas sean mayores o menores que el cuartil 50. Ello, con el fin de poder caracterizar situaciones intermedias.

Cabe destacar que si en el diagrama, se intercambian las posiciones de los índices agregados de vulnerabilidad I_{vfi} e I_{vfp} , a partir de las nuevas posiciones (I_{vfp} y I_{vfi}) se generan dos nuevos campos (7 y 8, respectivamente). Por ende, es factible definir en total 8 situaciones teóricas de riesgo.

Luego, en la tabla XII se presentan las posibles combinaciones de peligrosidad y vulnerabilidad física que definen cada situación representada en la Figura 8. Estas a su vez caracterizan un determinado escenario teórico propiciatorio de riesgo de erosión costera. En consecuencia, quedan definidos: a) dos escenarios teóricos extremos, de máximo y mínimo riesgo, y b) 6 combinaciones en las que domina alguno de los tres componentes definitorios del riesgo de erosión o inclusive la relación entre dos de ellos.

De igual modo que en el caso de la evaluación cualitativa, sobre la base de la definición de evaluación dada por Nijkamp et al. (1990) aquí también es factible vincular cada escenario teórico propiciatorio del riesgo con la instancia de toma de decisiones. Ello se tratará en detalle en el punto referido a proyecciones prácticas de las evaluaciones.

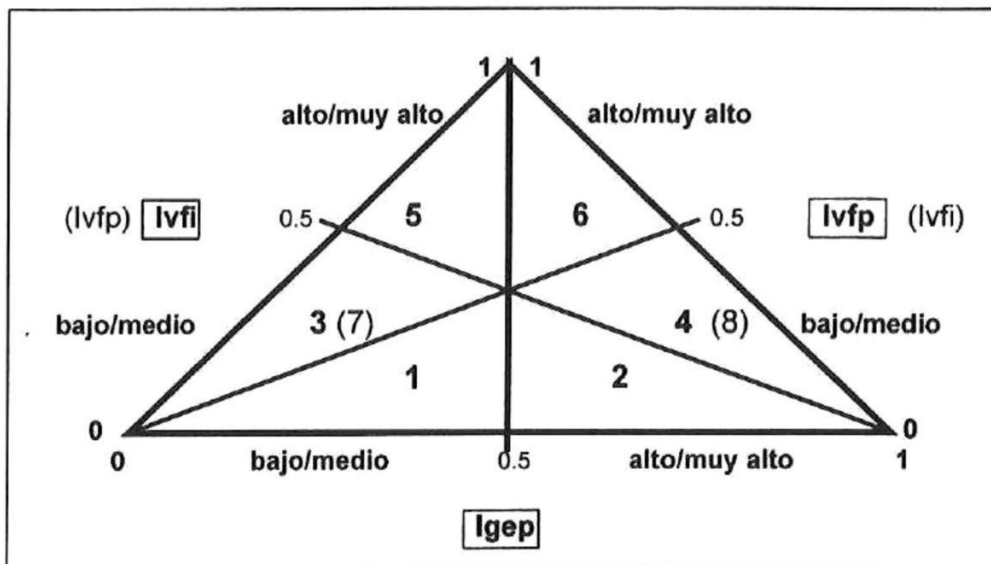


Figura 8. Diagrama de caracterización de campos de riesgos y toma de decisiones

Campos de riesgo	Peligrosidad (Igep)	Vulnerabilidad física de la infraestructura (lvfi)	Vulnerabilidad física de la obra de protección (lvfp)	Escenario propiciatorio de riesgo
1	Baja-media	Baja-media	Baja-media	Menor riesgo posible
2	Alta-muy alta	Baja-media	Baja-media	Domina la peligrosidad
3	Baja-media	Baja-media	Alta-muy alta	Domina la vulnerabilidad física de la obra de protección
4	Alta-muy alta	Alta-muy alta	Baja-media	Domina la relación peligrosidad-infraestructura
5	Baja-media	Alta-muy alta	Alta-muy alta	Domina la vulnerabilidad total de los elementos expuestos
6	Alta-muy alta	Alta-muy alta	Alta-muy alta	Mayor riesgo posible
7	Baja-media	Alta-muy alta	Baja-media	Domina la vulnerabilidad física de la infraestructura
8	Alta-muy alta	Baja-media	Alta muy alta	Domina la relación peligrosidad- obra de protección

Tabla XII. Descripción de los campos de riesgo delimitados en la Figura 8.

V.4 Proyección teórica de la variación espacio-temporal del índice de riesgo IR

En este apartado se realiza un ejercicio teórico con el fin de establecer las posibles variaciones y alcances del índice de riesgo IR, tanto en el plano espacial como en el temporal.

V.4.1 Variación temporal

Ha quedado comprobado que es factible mediante la identificación y medición de indicadores ambientales, luego agregados en sus respectivos índices, calificar el nivel del riesgo teórico que caracteriza distintos escenarios propiciatorios. A partir de ello, el índice de riesgo IR brinda una imagen sinóptica del estado del mismo en cada escenario y en un momento específico del tiempo. Por ende, la relación entre el estado del riesgo y los índices agregados, se expresará:

$$S_{IR} = IR = I_{gep} + (1 + I_{vfi} - 1 / 1 + I_{vfp})$$

Donde:

- S_{IR} = estado del riesgo definido por el IR en un momento específico del tiempo.
- IR = índice de riesgo de erosión costera basado en geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física
- I_{gep} = índice de peligrosidad de erosión costera
- I_{vfi} = índice agregado de vulnerabilidad física de la infraestructura a la erosión costera
- I_{vfp} = índice agregado de vulnerabilidad física de la obra de protección a la erosión costera

Los indicadores ambientales y los índices derivados de ellos, tienen dos funciones principales que son medir las condiciones actuales del ambiente y la tasa de cambio de dichas condiciones (Elliot, 1996). Por ende, de acuerdo con la expresión del IR definida en este trabajo, un cambio de estado en los índices agregados de peligrosidad y vulnerabilidad física, repercutirá directamente en un cambio en el estado del riesgo en cada escenario teórico. En consecuencia, si se aplica el modelo metodológico en dos instantes temporales suficientemente distantes, será factible obtener dos imágenes

distintas de la problemática en la unidad morfodinámica analizada, o lo que es lo mismo dos escenarios propiciatorios del riesgo diferentes (ver Figura 7).

En relación con cuan distantes deberían hacerse las mediciones para captar algún tipo de cambio en el estado del ambiente (en este caso del riesgo) no hay coincidencia en los investigadores y planificadores sobre la frecuencia apropiada para los monitoreos del ambiente. Morton (1996) menciona que para el caso de geoindicadores se manejan dos aproximaciones, una que toma en cuenta períodos de medición constantes y la otra que se rige por la ocurrencia de eventos específicos como tormentas, por ejemplo. Por ende, se considera que la separación entre mediciones dependerá fundamentalmente de los objetivos de la evaluación de riesgo que se vaya a realizar.

De cualquier modo que se condicione la frecuencia del relevamiento, la magnitud del cambio en los estados de riesgo entre dos momentos específicos de tiempo, podrá expresarse como:

$$\Delta S_{IR} = \Delta IR = \Delta I_{gep_{a,b,c}} + (1 + \Delta I_{vfi_{d,e,f}} - 1 / 1 + \Delta I_{vfp_{g,h,i}}) \quad (1)$$

ó

$$\Delta S_{IR} = \Delta IR = I_{gep} + (1 + I_{vfi} - 1 / 1 + I_{vfp}) \quad (2)$$

Donde:

ΔS_{IR} = magnitud del cambio del estado del riesgo IR entre dos momentos específicos caracterizados por dos escenarios teóricos del riesgo

ΔIR = magnitud del cambio del índice de riesgo de erosión costera basado en el cambio del geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física

$\Delta I_{gep_{a,b,c}}$ = magnitud del cambio del índice de peligrosidad de erosión costera a partir de los indicadores a,b,c

$\Delta I_{vfi_{d,e,f}}$ = magnitud del cambio del índice agregado de vulnerabilidad física de la infraestructura a la erosión costera a partir de los indicadores d,e,f

$\Delta I_{vfp_{g,h,i}}$ = magnitud del cambio del índice agregado de vulnerabilidad física de la obra de protección a la erosión costera a partir de los indicadores g,h,i

Pese a que la expresión para la variación temporal del IR, constituye tan sólo una aproximación teórica, se considera que de ésta surgen dos posibles hipótesis para cuantificar la magnitud del cambio en el estado del riesgo. La primera se basaría, como se muestra en la expresión (1), en monitorear el cambio a partir de la comparación

intertemporal de los mismos indicadores que fueron seleccionados en la evaluación inicial. Ello implicaría tener que limitar el análisis siempre a los mismos indicadores, lo cual llevaría implícita la suposición sobre que un cambio del estado del riesgo siempre se manifestaría sólo a partir de dichos indicadores.

En cambio, la otra hipótesis se apoyaría en la comparación intertemporal entre los escenarios teóricos de riesgo. Como se muestra en la expresión (2), la variación del índice IR entre dos momentos distintos, se obtendría independientemente del tipo de indicador considerado en cada relevamiento para el cálculo de los índices agregados que caracterizan el estado de riesgo resultante.

Cendrero y Fischer (1997) consideran que un cambio en la costa puede ser representado por un cambio de calidad ambiental y por ende, un incremento o depreciación del mismo puede ser interpretado como una tendencia a favor o en contra de la sustentabilidad respectivamente. Análogamente, si el estado del riesgo es considerado como un componente de la calidad de las costas, un incremento o una disminución del éste puede ser interpretado como una tendencia a favor o en contra de la sustentabilidad de la costa. Por lo tanto, los distintos escenarios propiciatorios del riesgo que se identifiquen en distintos momentos del tiempo, tendrían implícita una valoración adicional sobre un cambio en la sustentabilidad del área bajo análisis para diversos usos potenciales.

V.4.2 Variación espacial

Tanto la imagen de riesgo determinada para un instante del tiempo, como la magnitud del cambio entre dos instantes quedarán circunscriptas a un espacio de territorio. Si bien la metodología puede ser aplicada a unidades individuales aquí consideradas como unidades morfodinámicas, es conveniente contemplar las interacciones entre unidades aledañas, al momento de evaluar la peligrosidad o el riesgo de erosión total de una unidad dentro de un sistema geomorfológico como el costero, caracterizado por cambios rápidos,

Asimismo, a partir de la integración de unidades aledañas se puede obtener la imagen del riesgo específico de un sistema morfodinámico, definido en el sentido de Cendrero (1989), cuya situación de riesgo estará directamente vinculada con las calificaciones asignadas a las distintas unidades morfodinámicas que lo integran.

V.5 Proyección práctica de las evaluaciones en la toma de decisión

En los párrafos siguientes se presentan los resultados generados a partir de un ejercicio práctico que consistió en asignar a la matriz de diagnóstico cualitativo y al diagrama de escenarios teóricos de riesgos, posibles políticas y estrategias recomendadas por distintos documentos regulatorios para la gestión de sectores costeros en Baja California. Ello se realizó con el fin de ensayar las posibles aplicaciones de las evaluaciones cualitativas y cuantitativas aquí propuestas en la instancia de toma de decisiones.

V.5.1 Evaluación cualitativa

El diagnóstico preliminar aporta un sustento técnico para la toma de decisiones. Dicho aporte tiene asociado un grado de incertidumbre que puede llevar en ciertos casos a una decisión inadecuada y/o ineficiente, debido a un exceso o un defecto en la estimación cualitativa de la peligrosidad o del riesgo. Por lo tanto, con el fin de establecer la operatividad de la evaluación cualitativa, en la Tabla XIII se plantea un cuadro hipotético de decisiones. El mismo fue confeccionado a partir de relacionar las situaciones de peligrosidad y/o riesgo definidas en la matriz de diagnóstico cualitativo (ver Tabla VI) con una determinada política y una estrategia general; las cuales de acuerdo con sus definiciones sean aplicables en cada situación de la matriz.

Para las políticas ambientales se tomaron en cuenta las definiciones mencionadas en el Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del Corredor Costero Tijuana-Ensenada (1993) y en el Plan de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Baja California (1994):

- ♦ **Aprovechamiento:** proporciona medidas técnicas normativas necesarias para la utilización de los recursos naturales de forma tal que propicie el desarrollo sustentable. Se aplica en áreas con usos

productivos actuales y potenciales, así como en áreas con características adecuadas para el desarrollo urbano.

- ♦ **Protección:** proporciona medidas técnicas normativas necesarias para prevenir el deterioro ambiental y cuando sea necesario la restauración. Se aplica en áreas con ecosistemas de relevancia ecológica, existencia de recursos naturales de importancia económica y presencia de riesgos naturales.

Las estrategias generales aquí planteadas, se corresponden con los tres enfoques integrales del ambiente y el desarrollo establecidos por Maragos et al. (1983, citado en Gómez Morín 1994).

- ♦ **Evitación:** es de particular importancia en planificación restrictiva, la que busca evitar la asignación de usos en zonas donde existe alto riesgo o vulnerabilidad a peligros o amenazas naturales.
- ♦ **Mitigación / Mejoramiento:** estrategia tendiente a reducir los impactos inevitables de cualquier desarrollo costero, a través de técnicas de tratamiento, dilución ubicación óptima, confinamiento y controles periódicos.
- ♦ **Compensación / Realce:** busca la compensación ante la pérdida inevitable de cantidades calculadas (en área, en número) de hábitats por el impacto del desarrollo, a través de la restauración o la creación de oportunidades para el mismo hábitat o ecosistema en otro sitio. (En este trabajo se proyecta también la compensación a los bienes expuestos al peligro)

Situación Diagnóstica (viene de Tabla VI)	Calificación de peligrosidad o riesgo de erosión costera	Políticas Costeras	Estrategias generales
A	Peligrosidad potencial	<i>Aprovechamiento</i>	<i>Mitigación</i>
B	Riesgo potencial menor que C	<i>Aprovechamiento</i>	<i>Mitigación</i>
C	Riesgo potencial mayor que B	<i>Aprovechamiento</i>	<i>Mitigación</i>
D	Peligrosidad real	<i>Aprovechamiento</i>	<i>Mitigación</i>
E	Riesgo real menor que F	<i>Protección</i>	<i>Mitigación</i> <i>Evitación</i>
F	Riesgo real mayor que E	<i>Protección</i>	<i>Evitación</i> <i>Mitigación</i> <i>Compensación</i>
G	Riesgo real menor que E y F	<i>Aprovechamiento (?)</i> <i>Protección (?)</i>	<i>Mitigación</i>
H	Riesgo real mayor que G	<i>Protección</i>	<i>Evitación</i> <i>Mitigación</i> <i>Compensación</i>
I	Riesgo real menor que E (?)	<i>Protección</i>	<i>Mitigación</i> <i>Compensación</i>
J	Riesgo real menor que F (?)	<i>Protección</i>	<i>Mitigación</i> <i>Compensación</i>

Tabla XIII. Vinculación entre el diagnóstico cualitativo y la instancia de toma de decisiones.

A partir de los resultados de la Tabla XIII, se determina que en aquellas situaciones en las que hay peligro o riesgo potencial de erosión (situaciones A a D) sería factible recomendar una política de aprovechamiento del sitio con una estrategia prioritaria de mitigación del riesgo y peligrosidad frente a un problema que se vislumbra como posible pero que aún no es evidente.

Por otra parte, las situaciones con riesgo real requerirían, de acuerdo con las definiciones expuestas, una política de protección (situaciones E a J, salvo la situación G que permite también una política de aprovechamiento con dudas). Dicha política de protección admitiría distintas combinaciones de estrategias de mitigación, evitación y/o compensación con base en la clasificación del riesgo relativo que recibe cada una de las situaciones o escenarios de riesgo considerados.

Por ejemplo en las situaciones de mayor riesgo (E, F y H) debería considerarse la aplicación de estrategias generales orientadas a: a) evitar exposición al peligro, b) mitigar los efectos adversos de la situación de riesgo imperante y c) compensar ante posible pérdidas inevitables de bienes expuestos al peligro.

Los resultados de la evaluación cualitativa no permiten obtener precisión sobre los distintos niveles de peligrosidad ni de vulnerabilidad física de los elementos expuestos. Por lo tanto, tampoco será posible realizar una estimación relativa del peso que, cada uno de los factores (peligrosidad y vulnerabilidad), tiene en los distintos escenarios de riesgo identificados. Se considera que dicha situación limita directamente la toma de decisiones, ya que debido a lo expeditivo de la evaluación y de sus resultados, no sería posible proponer, con un margen de seguridad aceptable¹, políticas ambientales específicas ni priorizar las estrategias incluidas en la Tabla XIII.

¹ Nivel de protección o seguridad que cubre razonablemente el nivel de incertidumbre de la posible magnitud de acciones extremas, la imprecisión de la modelación analítica y la aproximación de hipótesis simplificadoras (Cardona, 1993).

V.5.2 Evaluación cuantitativa

A partir de la cuantificación de indicadores y su posterior integración en índices agregados se logran estimaciones sobre los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad física a la erosión costera en la unidad morfodinámica en estudio. Consecuentemente, ello influye directamente en la precisión de la calificación final de los distintos escenarios propiciatorios del riesgo de la Figura 8.

Debido a que los índices agregados son calculados de manera independiente entre sí, ello permite que la evaluación cuantitativa pueda ser aplicada en situaciones donde existan o no elementos expuestos al peligro, es decir tanto en situaciones de riesgo como de peligrosidad respectivamente. En el caso que no se identifiquen elementos expuestos, se calcularán sólo índices agregados a partir del análisis de geoindicadores y la toma de decisiones (ver Figura 7), estará fundamentada en la calificación que se obtenga sobre el estado de peligrosidad en la unidad morfodinámica de estudio.

En cambio, si la unidad posee infraestructura y/u obras de protección expuestas al peligro, la toma de decisión deberá apoyarse en los resultados que aportan los tres índices agregados que definen el estado del riesgo de erosión costera en cada escenario. Así, el resultado particular de cada índice o la integración de los mismos en el IR, podrá ser considerado como la línea inicial o línea cero para la aplicación de las políticas.

Con el fin de establecer de manera práctica el alcance y la utilidad de las estimaciones cuantitativas para la gestión de zonas costeras, se confeccionó la Tabla XIV donde se vinculan los distintos escenarios teóricos de riesgo (ver Figura 8 y Tabla XII) con políticas ambientales específicas y una serie de estrategias asociadas con las mismas.

Para el ejercicio se seleccionaron las políticas específicas, incluidas en el Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del Corredor Costero Tijuana-Ensenada (1993) y del Plan de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de Baja California (1994), que mejor se ajustaban a la problemática aquí tratada:

- ◆ **Protección con uso pasivo:** se aplica en áreas de relevancia ecológica o ante la existencia de una alta vulnerabilidad vinculada con riesgos naturales que requieran prevención y control del deterioro ambiental. Obliga a la exclusión de partes del territorio de su incorporación a la base económica regional en términos de actividades productivas.
- ◆ **Protección con uso activo:** se aplica en áreas que requieran medidas de regulación y control en el uso de los recursos o medidas de restablecimiento ambiental en ecosistemas afectados por el desarrollo. Se permite la construcción de infraestructura básica de baja densidad, para la realización de actividades científicas, de educación y recreación. Todos ello bajo programas de control y manejo.
- ◆ **Aprovechamiento con regulación:** se aplica en áreas que requieran optimización y control del ritmo actual de crecimiento de las actividades productivas con el propósito de disminuir los impactos secundarios, actuales y potenciales en el área.

Asimismo, para ejemplificar la vinculación teórica entre los escenarios de riesgo y las estrategias de gestión, se plantearon en la Tabla XIV tres estrategias específicas basadas en el marco general de Maragos et al. (1983, citado en Gómez Morín, 1994) pero aquí orientadas a concretar acciones específicas vinculadas con la peligrosidad de erosión y/o con la vulnerabilidad de los elementos expuestos al peligro. Cabe destacar que las estrategias propuestas no constituyen alternativas excluyentes.

Campos de riesgo	Escenario propiciatorio de riesgo	Políticas específicas admisibles para cada situación de riesgo	Posibles estrategias específicas ha implementar
1	Menor riesgo posible	<ul style="list-style-type: none"> Protección con uso activo Aprovechamiento del sitio con regulaciones 	<ol style="list-style-type: none"> Mitigar los efectos adversos ante un posible incremento de la peligrosidad del sitio.
2	Domina la peligrosidad	<ul style="list-style-type: none"> Protección con uso pasivo 	<ol style="list-style-type: none"> Evitar asentamientos con carácter permanente. Mitigar los efectos adversos de la elevada peligrosidad del sitio. Posible reubicación de los elementos expuestos.
3	Domina vulnerabilidad física de la obra de protección	<ul style="list-style-type: none"> Protección con uso activo Aprovechamiento del sitio con regulaciones 	<ol style="list-style-type: none"> Medidas correctivas de la vulnerabilidad física de la obra de protección. Mitigar los efectos adversos ante un posible incremento de la peligrosidad del sitio.
4	Domina relación peligrosidad- infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> Protección con uso pasivo 	<ol style="list-style-type: none"> Evitar asentamientos con carácter permanente. Medidas correctivas de la vulnerabilidad física de la infraestructura ya existente. Posible reubicación de los elementos expuestos. Mitigar los efectos adversos de la elevada peligrosidad del sitio.
5	Domina vulnerabilidad física de los elementos expuestos	<ul style="list-style-type: none"> Protección con uso activo Aprovechamiento del sitio con regulaciones 	<ol style="list-style-type: none"> Medidas correctivas de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos. Mitigar los efectos adversos ante un posible incremento de la peligrosidad del sitio.
6	Mayor riesgo posible	<ul style="list-style-type: none"> Protección con uso pasivo 	<ol style="list-style-type: none"> Evitar asentamientos con carácter permanente. Medidas correctivas de la vulnerabilidad física de los elementos expuestos. Posible reubicación de los elementos expuestos. Mitigar los efectos adversos de la elevada peligrosidad del sitio.
7	Domina vulnerabilidad física de la infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> Protección con uso activo Aprovechamiento del sitio con regulaciones 	<ol style="list-style-type: none"> Medidas correctivas de la vulnerabilidad física de la infraestructura. Mitigar los efectos adversos ante un posible incremento de la peligrosidad del sitio.
8	Domina relación peligrosidad- obra de protección	<ul style="list-style-type: none"> Protección con uso activo Aprovechamiento del sitio con regulaciones 	<ol style="list-style-type: none"> Medidas correctivas de la vulnerabilidad física de las obras de protección ya existentes. Evitar asentamientos con carácter permanente. Mitigar los efectos adversos de la elevada peligrosidad del sitio.

Tabla XIV. Vinculación entre los escenarios teóricos propiciatorios del riesgo y la instancia de toma de decisiones.

A partir de los resultados expuestos en la Tabla XIV es factible afirmar que:

- a) La mayor precisión en la definición de los estados de riesgo de cada escenario, a partir de la cuantificación y clasificación de los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad física, hace posible asignar a cada escenario políticas y estrategias con mayor detalle y especificidad que aquellas propuestas a partir de valoraciones cualitativas.

- b) Algunos escenarios teóricos de riesgo costero admitirían más de una política ambiental para llevar adelante la gestión de los mismos.

- c) A partir de la cuantificación relativa de la peligrosidad y la vulnerabilidad física es posible realizar una priorización de las estrategias específicas. Ello se manifiesta por el cambio de posición de las tres estrategias consideradas en los distintos escenarios teóricos identificados. Por ejemplo, en un escenario donde domina la peligrosidad por sobre la vulnerabilidad física de los elementos expuestos (campo de riesgo 2 en la Figura 8 y Tablas XI, XII y XIV) el decisor debería centrarse en evitar o restringir los asentamientos con carácter permanente por sobre las acciones dirigidas a la mitigación de los efectos adversos mediante la reparación de las construcciones o inclusive su reubicación. Similares observaciones pueden realizarse para los restantes escenarios teóricos siempre recordando que las estrategias aquí planteadas no se consideran alternativas excluyentes.

VI. DISCUSIONES GENERALES

Varios aspectos del modelo conceptual y metodológico han sido discutidos en los pasos definatorios del mismo, ya que se consideró más claro, a los fines facilitar la lectura, vincular las discusiones particulares directamente con los distintos resultados. Por lo tanto, se reservaron para este capítulo las discusiones generales relacionadas con el marco teórico del riesgo en el cual se inserta el índice de riesgo definido en este trabajo, así como con el análisis de los alcances del modelo metodológico en la toma de decisiones.

VI.1. Relación entre el índice de riesgo y la valoración de las pérdidas esperadas

Algunas de las definiciones de riesgo más difundidas (UNDRO, 1979; Spence, 1990, Cardona, 1993) establecen una valoración del mismo en función del grado de pérdidas esperadas ante la ocurrencia de un evento particular. El grado de pérdida se mide como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a la propiedad y/o efectos sobre la actividad económica.

Al respecto algunas expresiones para valorar el riesgo y el grado de pérdida potencial, como las propuestas respectivamente por Fournier d'Albe (1979) y Alfors (1973), ambos citados en Cendrero (1997b), incluyen algún factor que necesita de su cuantificación mediante unidades monetarias.

A diferencia de las expresiones de Fournier d'Albe (1979) y Alfors (1973), el índice de riesgo aquí propuesto no aporta valoraciones monetarias o porcentajes posibles de pérdidas. En cambio, sobre la base de la cuantificación y calificación de la peligrosidad y la vulnerabilidad permite identificar distintos escenarios propiciatorios del riesgo de erosión costera para orientar la toma de decisión. Cabe destacarse que en una concepción algo distinta a las citadas anteriormente, Cardona (1993) menciona que la dificultad que significa estimar un riesgo en unidades monetarias o en vidas humanas ha llevado a que en general se acepte referirse al riesgo haciendo alusión a un riesgo específico representativo para una región, por ejemplo riesgo de inundación, sísmico, de

erosión, etc. El índice de riesgo definido en el presente trabajo se enmarca en dicha línea conceptual.

Más allá de lo mencionado se considera factible efectuar, a partir de los resultados de la validación teórica del índice IR, una valoración cualitativa de posibles grados de pérdidas en cada situación. Así, un mayor grado de pérdidas, ocurrirá en aquellos escenarios calificados con el mayor riesgo, donde domina la vulnerabilidad física de los elementos expuestos o donde domina la peligrosidad. Luego, una posible medida para el grado de pérdida sería la proporción o el número de los elementos expuestos que probablemente sufrirían daño en cada escenario propiciatorio ante la acción de un evento de peligro. Esta propuesta debería ser probada en situaciones concretas o mediante casos históricos, para luego analizar la forma de integrar el resultado como un factor adicional a la expresión del IR, aquí definida.

VI.2 Análisis de los alcances del modelo metodológico

A continuación se discutirán las limitaciones de las fases cualitativas y cuantitativas del modelo metodológico de evaluación del riesgo a erosión costera aquí propuesto, con énfasis en aspectos vinculados con la toma de decisiones.

VI.2.1 Evaluación cualitativa

La evaluación cualitativa aporta un diagnóstico preliminar que permite la identificación de situaciones que constituyen una imagen aproximada del peligro o el riesgo que afecta a un sector costero. Sin embargo, dicho diagnóstico presentará ciertas limitaciones propias de la calidad de los datos que se manejan en el plano cualitativo (Morton, 1996). Ello se discutirá a continuación.

A partir del ejercicio práctico se vio que es factible relacionar el diagnóstico cualitativo de la peligrosidad y el riesgo de erosión costera con la instancia de la toma de decisiones. Sin embargo, aplicar un cuadro de decisiones como el presentado (ver Tabla XIII) implica aceptar la limitación de los resultados basados en aproximaciones y

consecuentemente la incertidumbre en la decisión tomada. Por lo tanto, el diagnóstico cualitativo debería ser considerado una alternativa válida de evaluación especialmente en situaciones donde se combina la escasez de recursos financieros o de personal disponible para llevar adelante metodologías de mayor detalle, con la urgencia por algún tipo de resultado sobre la problemática planteada. Ello de

Al respecto, Young et al, (1996) destacan la utilidad de las valoraciones cualitativas en países en desarrollo donde domine la falta de recursos monetarios y una base de datos suficientemente completa de la franja costera, a partir de los cuales aplicar metodologías más precisas. Complementariamente, Pierce (1990, citado en Escofet y Espejel, 1999) considera a las estimaciones preliminares herramientas de manejo cruciales en caso de espacios costeros extensos donde el evaluador debe incluir aspectos ecológicos del ambiente y requerimientos socioeconómicos de la región. Sin embargo, ello de ningún modo podrá sustituir la calidad y confiabilidad de los resultados que aporta una evaluación de mayor precisión (Elliot, 1996).

Así, la posibilidad de sustentar las decisiones a partir de estimaciones cualitativas debe ser particularmente valorada por el evaluador, más aún cuando existen elementos expuestos al peligro ya que la decisión deberá contemplar un margen de seguridad para los mismos.

Ante la situación descrita y con el fin de disminuir el grado de incertidumbre de la estimación cualitativa, el evaluador puede recurrir al *principio de precautoriedad*, el cual es comúnmente utilizado en situaciones con ausencia de certeza sobre las consecuencias y/o las relaciones causales. El mismo obliga a las autoridades a actuar conservadoramente si existiera alguna razón para sospechar la posibilidad daño (El-Sabh et al., 1998).

Si bien este principio no ha sido incluido de modo explícito en los componentes valorados por el modelo, la aplicación del mismo tendría directa incidencia en la recomendación de políticas y estrategias para la toma de decisiones.

Por ejemplo, a partir de aplicar el principio de precautoriedad a los resultados de la Tabla XIII sería factible delinear un nuevo cuadro hipotético. En éste idealmente tan sólo las situaciones A y D admitirían una toma de decisión sobre resultados cualitativos con un margen de seguridad aceptable al no existir al momento del relevamiento elementos expuestos al peligro. En cambio, la identificación de un escenario propiciatorio del riesgo, especialmente de riesgo real, señalaría la necesidad de una evaluación de mayor precisión. Ello con el fin de superar las limitaciones del diagnóstico cualitativo y consecuentemente disminuir el grado de incertidumbre de los resultados que sustentarían las decisiones para el manejo del peligro y el riesgo de erosión costera.

VI.2.2 Evaluación cuantitativa

La definición de índices agregados que cuantifican mediante indicadores la peligrosidad, la vulnerabilidad física y el riesgo de erosión costera, debe considerarse un paso fundamental del modelo para obtener resultados más precisos y amplios que los cualitativos. Ello se apoya en lo mencionado por Berger (1996a) sobre que un indicador ambiental, idealmente, debe ser capaz de medir la "integridad", "estabilidad" y "sustentabilidad" de un ambiente físico y biológico, dando una medida cuantitativa y simple de un fenómeno complejo.

Así la evaluación cuantitativa propuesta, aporta un sustento técnico con un grado de certidumbre mayor a partir del cual justificar científicamente la toma de decisiones ante la identificación de escenarios propiciatorios del riesgo. Al respecto, Funtowicz y Ravetz (1991) citan que detrás de los mayores desastres ambientales que han ocurrido, era factible reconocer condiciones que analizadas oportunamente hubieran servido como una señal de alerta sobre la probabilidad de ocurrencia del desastre.

A partir de la vinculación de los escenarios teóricos delimitados en la Figura 8 con distintas políticas y estrategias específicas incluidas en la Tabla XIV, el diagrama de campo de riesgos se transforma en un campo de decisiones. De ese modo los indicadores y particularmente los índices agregados de peligrosidad, vulnerabilidad y

riesgo se convierten en herramientas de gestión fácilmente comprensibles para el tratamiento de la erosión costera.

Lo mencionado coincide con lo que destacan Benumof et al. (1997) sobre que el significado y valor de la información de la erosión costera para científicos, tomadores de decisión y planificadores en general, depende de que exista un claro entendimiento de las limitaciones y uso apropiado de los datos de erosión costera en la planificación de uso territorial. Asimismo, Forbes y Liverman (1996) sostienen un monitoreo de indicadores apropiados debería ser considerada una componente esencial de cualquier política de manejo costero.

El método cuantitativo propuesto (ver Figura 7) admite la obtención de resultados alternativos según existan o no elementos expuestos al peligro lo cual se relaciona directamente con dos instancias de toma de decisiones. Cuando no se identifican elementos expuestos el método aporta una calificación de peligrosidad sobre la base de la cual justificar la política ambiental propuesta. En el caso de que la unidad posea infraestructura y/u obras de protección expuestas al peligro, la toma de decisión deberá apoyarse en los resultados que aportan los tres índices agregados que definen el estado del riesgo de erosión costera. Claramente, el grado de precisión y diversidad de resultados que aporta los índices agregados no es posible de obtener a partir de las valoraciones cualitativas.

VI.2.3 Integración de las fases de evaluación

Se considera que los resultados que aportaría la implementación de las dos fases del modelo metodológico tienen altas posibilidades de éxito como herramienta para la toma de decisión. Ello se fundamenta en que el modelo se ajusta notoriamente al conjunto de principios operativos, definidos en Hodge et al. (1995, citado en Hodge, 1996), que deben gobernar el desarrollo de políticas, la toma de decisiones y en particular las estimaciones y monitoreos ambientales. Estos principios se vinculan con: a) el horizonte temporal, b) el marco espacial, c) el ecosistema como una todo, d) la presión de usos, e) la capacidad predictiva, f) la incertidumbre, g) la valoración de alternativas y h) la

valoración de costos, beneficios y participación en la toma de decisiones. Todos los principios operativos mencionados han sido incluidos de manera explícita o implícita en el desarrollo y discusión del modelo metodológico aquí presentado.

Las dos fases de evaluación que componen el modelo metodológico general no son excluyentes entre sí ya que cada una tiene objetivos y alcances específicos, los que deberán ser contemplados por los evaluadores al momento de considerar su aplicación potencial en el contexto general de una determinada problemática de erosión costera. Habrá casos en que tan sólo con la estimación cualitativa del riesgo se podrán obtener resultados que satisfagan el objetivo inicial del análisis de riesgo de erosión y otros casos en los que será necesario aplicar las dos fases del modelo.

Hope (1995) destaca que para la descripción del riesgo ecológico que caracteriza un determinado sitio, es factible utilizar una combinación de datos cualitativos y cuantitativos mediante una ponderación de las evidencias reunidas por uno y otro procedimiento. Inclusive con el fin de determinar las fortalezas y debilidades relativas de las evidencias y de la estimación del riesgo del conjunto, menciona la necesidad de realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de la incertidumbre.

Si bien las evaluaciones del modelo aportan a la instancia de toma de decisiones datos e información técnicamente justificada, los resultados de ninguna de ellas deberían ser considerados definitorios por sí mismos para el establecimiento de una política ambiental.

En el contexto del manejo integrado de zonas costeras, Sorensen et al: (1992) destacan el objetivo programático del mismo que busca optimizar la protección ambiental, el uso público y el desarrollo económico. De ello puede interpretarse que un manejo integrado debería basarse en dos grandes grupos de estimaciones relacionadas con: a) el ambiente biofísico y b) el marco socioeconómico de una región.

Los índices agregados de peligrosidad y vulnerabilidad física, y en particular el índice de riesgo aquí definidos, pueden ser considerados herramientas de gestión fundamentadas en datos científicos relevantes, cuya obtención y comparación temporal

es posible a partir de la sistematización de su tratamiento analítico, basada en una jerarquización de la información como la que propone SCOPE (1995, citado en Cendrero, 1997b).

Sin embargo, habrá que recordar que los índices aquí definidos brindan una imagen parcial de la problemática. El resultado de la cuantificación del riesgo propuesta se vincula sólo con estimaciones científicas sobre el medio biofísico y no toma en cuenta la percepción del usuario sobre el riesgo; salvo de manera tangencial en la definición teórica de geoindicador de peligrosidad.

Con frecuencia la percepción del riesgo del usuario común es notoriamente divergente respecto de la percepción de los expertos (Cendrero y Fischer, 1997). Al respecto, Cardona (1993) menciona que mientras las evaluaciones de riesgo en general aportan un valor de riesgo específico para una región², las decisiones deberían basarse en valoraciones de riesgo aceptable³.

En síntesis, será elaboración del decisor integrar los resultados de la peligrosidad y/o el riesgo específico aportados por este modelo, con otro tipo valoraciones (sociales, económicas, etc.) con el fin de encontrar la respuesta más aceptable para la resolución de la problemática del riesgo de erosión en la costa de interés.

² pérdida esperada en un período de tiempo dado para una región ejemplificado como riesgo de inundación, sísmico, de erosión, etc.

³ valor admisible de probabilidad de consecuencias sociales y económicas que a juicio de autoridades que regulan las decisiones, se considera suficientemente bajo para permitir su uso en planificación física.

VII. CONCLUSIONES

1. Es posible definir un geoindicador de peligrosidad de erosión costera sobre la base de relacionar los atributos geológicos-geomorfológicos conceptualizados como geoindicadores de cambios costeros, con el concepto de fragilidad del paisaje y la percepción humana del peligro. A partir de ello los geoindicadores de peligrosidad aquí definidos tienen implícito un objetivo social que es adicional al de sintetizar información sobre los cambios costeros.
2. Fue factible establecer un modelo conceptual que sustenta la estimación del riesgo de erosión costera con base en el análisis de indicadores ambientales, a partir de considerar las relaciones causales entre los rasgos geológicos, los procesos naturales, la fragilidad del paisaje, la percepción humana del peligro y la vulnerabilidad física de los elementos expuestos al mismo.
3. A partir de la formulación de rutinas de campo y gabinete, basadas en el análisis de geoindicadores de peligrosidad e indicadores de vulnerabilidad física, fue factible desarrollar un modelo metodológico que se apege al marco conceptual propuesto y sea al mismo tiempo sencillo, sistemático y repetible con el fin de realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa del riesgo de erosión costera.
4. El establecimiento de relaciones causales entre los índices agregados de peligrosidad y vulnerabilidad física a la erosión costera permitieron definir un índice de riesgo de erosión costera que cuantifica la situación dominante en distintos escenarios costeros teóricos.
5. El modelo metodológico diseñado tiene asociado tres niveles de toma de decisión con un grado de incertidumbre que es mayor en la fase cualitativa y se hace progresivamente menor hacia la fase cuantitativa.
6. A partir de establecer relaciones entre cada escenario teórico de riesgo y políticas y estrategias definidas para áreas costeras, se comprueba la utilidad práctica de los indicadores y particularmente de los índices agregados de peligrosidad, vulnerabilidad física y riesgo como herramientas de gestión para el tratamiento de la erosión costera.

VIII. RECOMENDACIONES

A continuación se listan una serie de recomendaciones para futuras aplicaciones del modelo:

1. Es necesario poner a prueba la metodología de evaluación de riesgos en sus dos fases, cualitativa y cuantitativa, con el fin de comprobar su utilidad tanto en situaciones de peligrosidad como de riesgos, real o potencial, y las posibles limitaciones asociadas con el desarrollo de los distintos pasos propuestos.
2. Comprobar el comportamiento estadístico de los índices de erosión, peligrosidad y vulnerabilidad física dentro de los rangos de variación aquí establecidos para cada uno de ellos.
3. Aplicar la metodología de cuantificación de riesgos a estudios cualitativos preexistentes sobre un determinado sector costero para comprobar la eficiencia de los índices aquí propuestos en la corrección y/o ajuste de estimaciones previas realizadas sobre la base de valoraciones cualitativas.
4. Debido a que la selección de indicadores es un paso fundamental, deberá determinarse cuantos de los criterios considerados como claves en la bibliografía consultada, son realmente compatibles con los tipos de indicadores y geoindicadores aquí propuestos para la evaluación del riesgo de erosión costera.
5. La futura utilización de la modelo debería contemplar la posibilidad de su aplicación en problemáticas complejas donde se identifiquen convergencia de intereses, con el fin de validar la utilidad de los escenarios teóricos del riesgo para la recomendación de políticas y estrategias específicas compatibles con el resto de aspectos que debe considerar un tomador de decisión para llevar adelante un manejo integrado de la zona costera.

IX. CITAS BIBLIOGRAFICAS

- Alfors, J., Burnett, J.L. y Gay, T.E., 1973. Urban geology master plan for California: the nature, magnitud and cost of geologic hazards in California and recommendations for their mitigation. Bulletin California Division of Mines and Geology. 198
- Ayala Carcedo, F.J., 1992. Conceptos y problemas en mapas geotécnicos de movimiento de ladera. Tercer Simposio sobre taludes y laderas inestables. Actas .805-825. La coruña, España.
- Batelle Columbus Laboratory, 1972. Environmental evaluation system for water resource planning. Batelle columbus Laboratory, Springfield.
- Benumof, B. y Griggs, G., 1999. The dependence of seacliffs erosion rates on material properties and physical processes: San Diego County, California. Shore & Beach, 67 (4): 29-41
- Benumof, B., Griggs, G. y Moore, L., 1997. Coastal erosion; the state of the problem and the problem of the state. En: Magoon, O.T., Converse, H., Baird, B. y Miller-Henson, M. (Ed.). California and the World Ocean '97. (1): 505-514. American Society of Civil Engineers. Virginia
- Berger, A., 1996a. The geoinicator concept and its application: an introduction. 1-14. En Berger, A. y lam W. (Ed.) Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems. 466p Balkema, Rotterdam.
- Berger, A., 1996b. Introduction to geoinicator checklist. 383-393. En Berger, A. y lam W. (Ed.) Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems. 466p.Balkema, Rotterdam.
- Brundtland Report, 1987. World Commision on Environmental and Development, Our Common Future. Oxford University Press. Oxford.
- Bush, D.M., Neal, W.J., Young, R.S. y Pilkey, O., 1999. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. Ocean & Coastal management. 42: 647-670.
- Cabral, M., Giménez, J.E. y Hurtado, M.A., 1998. Descripción de indicadores para la obtención de un índice de peligrosidad de cavas, como una herramienta para la gestión ambiental. Quintas Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses Actas: 73-81. Mar del Plata, Argentina.
- Cardona, O.D., 1993. Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. 51-74. En: Andrew Maskrey (Ed.). Los desastres no son naturales: LA RED de estudios sociales. Primera edición. 167pp. Bogotá.

- Cendrero, A., 1989. Mapping and evaluation of coastal areas for planning. *Ocean and shoreline management*, 12(5-6): 427-469
- Cendrero, A., 1997a. Riesgos naturales e impacto ambiental. En *Fundación Universidad-Empresa (Ed): La interpretación de la problemática ambiental, enfoques básicos II*. 23-84. Madrid.
- Cendrero, A., 1997b. Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones. *Naturzale* 12: 5-25
- Cendrero, A. y Charlier, R.M., 1990. Coastal zone resources, occupance and land use problems. A review and assesment. *Geolis* 3(1-2):40-60
- Cendrero, A. y Fischer, D., 1997. A procedure for assesing the environmental quality of coastal areas for planning and management. *Journal of Coastal Research* 13(3):732-744.
- Doornkamp, J.C., 1998. Coastal flooding, global warming and environmental management. *Journal Environmental Management* 52: 327-333.
- Edward, F.T., Donald, L.W., Domurat, G.W., Pirre, D.M. y Oliver, J., 1995. General design process for coastal projects. *Journal of the American Shore and Beach Preservation Association*, V 11 (2).
- Emery, K.O. y Kuhn, G.G., 1982. Sea cliffs: their processes, profiles and classification. *Geological Society of America Bulletin*, 93: 644-654.
- Environment Canada, 1991. A report on Canada's progress towards a national set of environmental indicators. SOE Report.91-1
- Elliot, D.C., 1996. A conceptual framework for geoenviromental indicators. 337-349. En Berger, A. y lam W. (Ed.) *Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems*. 466p. Balkema, Rotterdam.
- El-Sabh, M., Demers, S. y Lafontaine, D., 1998. Coastal management and sustainable development: from Stockholm to Rimouski. *Ocean and Coastal management* 39: 1-24
- Escofet, A. y Espejel, I., 1999. Conservation and management oriented ecological research in the coastal zone of Baja California, México. *Journal of Coastal Conservation*, 5: 43-50.
- Forbes, D.L. y Liverman, D.G.E, 1996. Geological indicators in the coastal zone. 175-192. En Berger, A. y lam W. (Ed.) *Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems*. 466p. Balkema, Rotterdam.
- Fournier, D'Albe E. M., 1979. Objectives of volcanic monitoring and predictions. *Journal of Geological Society of London*, 136:321-326

- Fournier, D'Albe E. M., 1985. The quantification of seismic hazard for the purposes of risk assessment. International Conference on Reconstruction, Restoration and Urban Planning of Towns and regions in Seismic Prone Areas, Skopje.
- Funtowicz, S. y Ravetz, J., 1991. A new scientific methodology for global environmental issues. 137-152. En: Costanza, R. (Ed.) Ecological Economics. The science and management of sustainability. 517p. New York.
- Gallopín, G.C., 1996. Environmental and sustainability indicators and the concepts of situational indicators. A systems approach. Environmental Modelling & Assessment 1: 101-117
- Gallopín, G.C., 1997. Indicators and their use: Information for decision making.13-27. En: Moldan, B. , Billharz, S. y Matravers R. (Ed.). Sustainability Indicators: a report of the project on Indicators of Sustainable Development. SCOPE report 58. Chichester. John Wiley & Sons.
- García Gastellum, A., 1999. Integración del concepto de indicadores ambientales dentro del marco metodológico de la planificación ambiental: caso de estudio Valle de San Quintín, B.C., México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 72p. Inédito
- Gómez-Morín, L., 1994. Marco conceptual y metodológico para la planificación ambiental del desarrollo costero en México: La experiencia en Baja California. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 87p. Inédito
- Goudie, A., 1990. The human impact on the natural environment. Third edition. Oxford. Blackwell.
- Griggs, G., 1997. The armoring of California's coast. Proceedings of California and the World Ocean '97. Magoon, O., Converse, H., Baird, B. y Miller-Henson, M. (Ed). V.1: 515-526.
- Griggs, G., 1999. The protection of California's Coast: Past, Present and Future. Shore & Beach, 67 (1): 18-28
- Griggs, G. y Fulton-Bennett, K., 1988. Rip-Rap revetments and seawalls and their effectiveness along the central coast of California. Shore & Beach :3-11.
- Griggs, G.; Tait, J. y Corona, W., 1994. The interaction of seawalls and beaches: seven years of monitoring, Monterey Bay, California. Shore & Beach, 62 (3):21-28.
- Guardado France, R., 1997. Funcionalidad de las obras de protección costera construídas en la Bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 145p. Inédito

- Hampton, M.A. y Dingler, J.R., 1998. Short-term evolution of three Coastal cliffs in San Mateo County, California. *Shore & Beach*, 66 (4): 24-30.
- Hodge, R.A., 1996. Indicators and their role in assessing progress toward sustainability: 19-24. En Berger, A. y lam W. (Ed.) *Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems*. 466p. Balkema, Rotterdam.
- Hodge, R.A., Holtz, S., Smith, C. Y Baxter, K.H., (eds.) 1995. *Pathways to sustainability: assessing our progress*. Ottawa: National Round Table on the Environment and the Economy.
- Hope, B.K., 1995. Ecological risk assessment in a project management context. *The Environmental Professional*. V 17: 91-19
- Krumbein, W.C., 1963. A geological processes-response model for analysis of beach phenomena. *Bulletin of the beach Erosion Board* 17:1-15
- Komar, P., 2000. Coastal Erosion-Underlying Factors and human Impacts. *Shore & Beach*, 68 (1): 3-16
- Khun, G.G. y Shepard, F.P., 1984. Beach processes and sea cliff erosion in San Diego County, California. 267-284. En Komar, P. (Ed.) *CRC Handbook of coastal processes and erosion*. 303p. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Maragos, J.E., Soegianto, A., Gómez, E.D. y Dow, M.A., 1983. Development Planning for Tropical Coastal Ecosystem: 228-298.. En: R. Carpenter (Ed.): *Natural Systems for Development: What planners need to know*. MacMillan Publishing Co. New York, N. Y.
- Merino, M., 1987. The coastal zone of Mexico. *Coastal management* 15: 27-42.
- Ministerio del Medio Ambiente, 1996. Síntesis de indicadores ambientales: conceptos básicos. En: *Indicadores ambientales: una propuesta para España*. Serie Monografías. Dirección General de calidad y evaluación ambiental. Secretaría General de medio Ambiente 146p. Madrid
- Morton, R.A., 1996. Geoindicators of coastal wetlands and shorelines. 207-232. En Berger, A. y lam W. (Ed.) *Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems*. 466p. Balkema, Rotterdam.
- Munasinghe, M. y Shearer, W., 1995. *Defining and measuring sustainability: the biogeophysical foundation*. The World Bank. Washington D.C.
- Neimanis, V. y Kerr, A., 1996. Developing national environmental indicators. 369-376. En Berger, A. y lam W. (Ed.) *Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems*. 466p. Balkema, Rotterdam.
- Nijkamp, P., Rietveld, P. y Voogh, H., 1990. *Multicriteria evaluation in Physical Planning*, North Holland. 219 p. Amsterdam.

- OCDE, 1994. OCDE Environmental indicators. OCDE.
- OCDE, 1995. Gestión de zonas costeras: políticas integradas. 206p. Ediciones Mundiprensa. Madrid. Barcelona. México.
- Plan de Ordenamiento Ecológico del Estado de Baja California, 1994. Gobierno del Estado de Baja California, B.C., Tijuana. 137p.
- Price, A.R.G., 1990. Rapid assessment of coastal zone management requirements: a case study from Arabian Gulf. *Ocean Shoreline Management*, 13: 1-19.
- Programa de Medio Ambiente (1995-2000). Diario Oficial de la Federación. 3 de abril de 1996.
- Programa Regional de Desarrollo Urbano, Turístico y Ecológico del corredor costero Tijuana-Ensenada, 1994. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Estado de Baja California,. 49p. versión abreviada.
- Ramos, R., 1993. Cantiles en la zona de El Sauzal de Rodríguez: Perfiles, Procesos y Problemas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 35p. Inédito
- Romero, G. y Maskrey, A., 1993. Como entender los desastres naturales. 1-8. En: Andrew Maskrey (Ed.). *Los desastres no son naturales: LA RED de estudios sociales*. Primera edición. 167pp. Bogotá.
- SCOPE, 1995. Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on the environment in the context of sustainable development. In: Gouzee, N., Mazjin, B. y Billharz S. (Ed.). *Indicators of sustainable development for decision making*. 25 p. Federal Planning Office, Bruselas.
- Sorensen, J. C., Mc Creary, S.T. y Brandani, A., 1992. *Costas: arreglos institucionales para manejar ambientes y recursos costeros*. 185p. United State Agency for International development. International Coastal Resources Center. University of Rhode island.
- Spence, R.J.S., 1990. "Seismic risk modeling-A review methods", contributions to "Velso in New Planning", University of Napole, papers of Martin Centers for Architectural and Urban Studies, Cambridge.
- Sunamura, T. Processes of cliff and platform erosion. 233-265. En Komar, P. (Ed.) *CRC Handbook of coastal processes and erosion*. 303p. CRC press. Boca Raton, Florida.
- Thomas, D.S.G. y Allison, R.J. (eds.), 1993. *Landscape sensitivity*. Chichester. John Wiley & Sons.
- Turner, B.L., W.C. Clarke, R.W., Kates, J.L., Richards, J.T., Matthews y W.B. Meyer, 1990. *The earth as transformed by human action-global and regional changes in the biosphere over the past 300 years*. Cambridge. Cambridge University Press.

-
- UNDRO, 1979. Natural disasters and vulnerability analysis. Report of experts group meeting, Génova.
- Varnes, D.J., 1984. Landslides hazard zonation, a review of principles and practice. Special papers. UNESCO. 63p. Paris.
- Wilches-Chaux, G., 1993. La vulnerabilidad global. 9-50. En: Andrew Maskrey (Ed.). Los desastres no son naturales: LA RED de estudios sociales. Primera edición. 167pp. Bogotá.
- Young, R.S., Bush, D.M, Pilkey, O. y Neal, W.J., 1996. Evaluating shoreline change and associated risk from coastal hazard: an inexpensive qualitative approach. 193-206. En Berger, A. y lam W. (Ed.) Assessing rapid environmental Geoindicators changes in earth systems. 466 p. Balkema, Rotterdam.