



Geoindicadores de erosión costera en el litoral urbanizado pampeano y patagónico

Alejandro J. A. Monti

Grupo de estudio de Geografía de Espacios Costeros (GECOS). Instituto de Investigaciones Geográficas de la Patagonia (IGEOPAT), FHCS, Universidad de la Patagonia San Juan Bosco; y Centro Nacional Patagónico (CENPAT-CONICET).

En las últimas décadas el proceso de erosión costera comenzó a ser percibido como un problema ambiental destacado, debido al incremento del número de personas que viven en la costa, que se interponen o modifican la dinámica de los procesos naturales y causan un desequilibrio en las condiciones originales del ambiente (Morton, 1996). Ello implica un incremento en el riesgo potencial de sufrir daños sociales, económicos y ecológicos, frente a la acción del proceso erosivo. 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, con directas implicancias socioeconómicas (Sorensen *et al.*, 1992). Esto pone en evidencia la necesidad de predecir el modo en que los sistemas costeros probablemente responderán a cambios ambientales, dinamizando la integración de técnicas y disciplinas con el fin de incorporar dicho tratamiento en el planeamiento y el manejo (Escofet, 2004).

La situación del litoral argentino pampeano y patagónico no es distinta. Pese a la relativamente baja densidad poblacional de la costa patagónica, se han comenzado a evidenciar algunos problemas vinculados con la urbanización del litoral. De acuerdo a Monti *et al.* (2006) la colmatación de los frentes costeros y la competencia por el espacio litoral y el uso de recursos, son situaciones críticas en sectores con peligrosidad de erosión activa, independientemente de la jerarquía urbana, ya sea gran metrópoli,

ciudad intermedia o pequeño asentamiento. Los eventos erosivos recurrentes, las modificaciones antrópicas del borde litoral y los impactos negativos, generados tanto sobre las geoformas costeras como sobre los diversos elementos antrópicos expuestos a la erosión marina en diversas localidades de la costa de Buenos Aires, han sido extensamente documentados por Codignotto (2004).

El espacio litoral posee una dinámica singular, que constituye un condicionante relevante de la intensidad y magnitud de los usos socioeconómicos sustentables. En los últimos años se han explorado distintas metodologías para analizar las problemáticas del ambiente, entre las que se encuentran los indicadores ambientales. Su aplicación permite sintetizar la complejidad de las variables biofísicas y sociales interdependientes en el ambiente antropizado, y a la vez proyectar sus resultados operativamente en la toma de decisiones. Los indicadores ambientales aparecen como una respuesta a la dificultad que conlleva el manejo y transmisión de la gran cantidad de información relacionada con una problemática ambiental determinada, lo cual resulta aún más demandante cuando se trata de espacios complejos, como es el caso de las interfases urbano litorales. Esto se hace particularmente crítico cuando la información es requerida para fundamentar la toma de decisiones sobre el uso, protección y conservación de los recursos naturales, en los ámbitos políticos, económicos, sectoriales y públicos en general (Raimondo y Monti, 2009).

El objetivo de este trabajo fue comparar el estado ambiental de costas urbanizadas pampeanas y patagónicas utilizando geoindicadores de erosión costera como herramientas de diagnóstico. Para ello se analizaron, como casos de estudio, los frentes urbanos costeros de dos ciudades con fuerte perfil turístico: Villa Gesell en la costa bonaerense y Puerto Madryn en la costa norte de la Patagonia.

El análisis ha sido guiado por las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuáles son los procesos geomorfológicos dominantes en los frentes urbanos costeros de estudio y cuál es su relación con la ocupación del litoral? ¿Los procesos de erosión y/o acumulación en ambas localidades son de origen natural, antropogénico o ambos? ¿Existen diferencias en la zonificación de los procesos de erosión y/o acumulación costera entre las localidades analizadas? ¿Se detecta alguna tendencia o patrón de cambio en las condiciones de erosión a lo largo de las costas relevadas? ¿Existe una relación entre los indicadores de erosión costera y el estado de la urbanización de los frentes estudiados? ¿Es razonable proyectar los resultados a otras urbanizaciones de la costa pampeana y patagónica?



Indicadores ambientales: bases conceptuales

Gallopín (1997) señalaba 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 precisión y alcance. Ese autor revisó una serie de definiciones de uso común, las que 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 o 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 mensurable.

De lo mencionado se desprende que no existe uniformidad de criterios, por lo cual en este trabajo se mencionarán algunas de las definiciones que *a priori* resultarían las más claras a juicio de ese autor. En una primera aproximación, Gallopín (1996, 1997) considera que los indicadores son variables (no valores) y define variable como una representación operacional de un atributo (cualidad, característica, propiedad) de un sistema. Así, cada variable señala un atributo no necesariamente tangible, pudiendo ser una abstracción. Se han desarrollado indicadores para distintos campos del conocimiento como son los indicadores económicos, sociales, políticos, ambientales, entre otros.

Resulta interesante destacar que si se extrapola el concepto de Gallopín (1996) al tratamiento de la problemática del ambiente, se infiere que un indicador ambiental es una variable, o incluso una 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 ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones. Por ende, la búsqueda de indicadores responde a un interés social específico y no pretende sólo ser una reproducción científico-conceptual del ambiente físico (Ministerio del Medio Ambiente, 1996). Al respecto OCDE (1995) 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 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 ambiente a un número manejable de parámetros, apropiado para los procesos de toma de decisiones y de información pública.

Neimanis y Kerr (1996) afirman que un indicador ambiental es un estadístico o parámetro que proporciona información y/o tendencias acerca de las condiciones de los procesos ambientales. Los autores señalan que su significado va más allá del estadístico



Organización analítica de indicadores ambientales	Objetivo	Ejemplos	Países
Marco temático	Los problemas ambientales son 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: aéreo, acuático, edáfico.	--	--
Marco causal	Las actividades humanas ejercen presión sobre el medio; éste registra cambios de estado y la sociedad responde a ellos	Presión: emisiones de CO ² . Estado: concentración de plomo en el aire urbano. Respuesta: 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 la escala: local, regional o global.	--	--
Marco sectorial	Considera al 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.	Cultivos, bosques, costas, ambiente urbano.	Suecia

Tabla 1 - Marcos de la organización analítica de indicadores ambientales (Fuente: modificado del Ministerio de Medio Ambiente, 1996)

mismo, ya que pretende proveer información que permita tener una medida de la efectividad de las políticas ambientales. Por eso, los indicadores ambientales constituyen un instrumento útil para organizar, sistematizar, cuantificar, simplificar y comunicar información relativa a distintos aspectos del ambiente, lo cual resulta básico para la toma de decisiones (Cendrero, 1997).

La selección de un indicador ambiental debe tener al menos dos objetivos principales: sintetizar información en una expresión relativamente sencilla y a la vez tener la capacidad de brindar conocimiento sobre el conjunto de variables involucradas en la problemática abordada; y responder a cuestiones que interesan en la toma de decisiones. Los intentos realizados para 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, enfoque espacial, sectorial y ecosistémico; los más difundidos han sido el marco causal y el marco temático (Tabla 1).

Geoindicadores de cambios costeros

Los geoindicadores constituyen un caso particular entre los indicadores ambientales. 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, 1996 a).

Cabe destacar que los geoindicadores, por definición, describen procesos y parámetros que son capaces de cambiar, sin interferencia de los seres humanos, aunque se reconoce que las actividades de estos agentes puedan acelerar, disminuir o disipar los cambios ambientales (Young *et al.*, 1996). 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 intervalos de tiempo que ocupan 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 Gallopín (1997) como indicador proxy, Berger (1996 b) destaca que los geoindicadores proxy representan un gran número de otros parámetros de los cuales dependen. Así, menciona que la posición de la línea de costa puede ser considerada, al menos parcialmente, como un geoindicador proxy de la variación de nivel marino, la subsidencia costera o el clima de olas. Diversos atributos geológicos y geomorfológicos pueden ser usados como indicadores del estado o de la probabilidad de cambio de la fragilidad costera a la erosión. Pueden corresponder a geoformas costeras y atributos particulares del relieve, como son el tipo y la altura de pendientes, los rasgos morfosedimentarios o incluso procesos tales como frecuencia y dimensiones de caída de rocas, deslizamientos, etc. (Forbes y Liverman, 1996).

Morton (1996) establece una jerarquía de geoindicadores y propone a la posición de la línea de costa como un geoindicador principal o primario, que resume los resultados de diversos procesos y atributos costeros. Este autor considera atributos tales como ancho de la playa, tipo de rasgo geomorfológico 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.



Los geoindicadores ambientales como herramientas de gestión costera

En una instancia de toma de decisión sobre el modo e intensidad de usos costeros, proyectar las estimaciones cualitativas de geoindicadores suplementarios significa aceptar los alcances y limitaciones de esta metodología y consecuentemente el nivel de incertidumbre, situación común a todo método cualitativo. Por ello, Young *et al.* (1996) destacan la utilidad de las valoraciones cualitativas en países en desarrollo donde domine la falta de recursos y no existan bases de datos completas a partir de las cuales aplicar metodologías más precisas. En general, se reconoce que los tiempos de la investigación científica y los de toma de decisión no son coincidentes. En esta última instancia, las urgencias de los funcionarios por encontrar respuestas en el corto o mediano plazo, frente a los problemas que los preocupan, puede ser un factor determinante para rescatar el valor de evaluaciones cualitativas, dada su capacidad de obtener resultados de manera más inmediata. Pierce (1990) considera a las estimaciones, que denomina preliminares, herramientas de manejo cruciales en el caso de espacios costeros extensos, donde el evaluador debe incluir aspectos ecológicos y requerimientos socioeconómicos de la región, pero de ningún modo éstas pueden sustituir la calidad y confiabilidad de los resultados que aporta una evaluación de mayor precisión (Elliot, 1996). Por ello, las evaluaciones cualitativas muestran su principal fortaleza como herramientas útiles para estimaciones preliminares y diagnósticos rápidos. Sin embargo, la pertinencia de sustentar decisiones a partir de estimaciones cualitativas debe ser valorada por el evaluador, más aún cuando existen condiciones de peligrosidad, como es el caso de los fenómenos erosivos en costas. En estas situaciones la decisión deberá contemplar un margen de seguridad para los contextos expuestos a dichos fenómenos.

Con el fin de disminuir el grado de incertidumbre implícito en las estimaciones ambientales, el evaluador puede recurrir al principio de precaución, comúnmente utilizado cuando no hay suficientes precisiones sobre consecuencias y/o relaciones causales. Este principio obliga a las autoridades a actuar conservadoramente si existiera alguna razón para sospechar la posibilidad de daño (El-Sabh *et al.*, 1998). Sin embargo, su aplicación no es conveniente sin un diagnóstico que así lo recomiende. En esa situación se revela como aporte valioso el uso de indicadores ambientales, que por definición llevan implícita su utilidad para resolver problemas de relevancia social.

Las funciones asignadas a los indicadores, y en especial a los geoindicadores de cambios costeros, hacen de ellos herramientas de gestión fácilmente comprensibles para el diagnóstico de los impactos de la erosión costera. En relación con la utilidad y función de los geoindicadores, Berger (1996 a) considera que deben auxiliar en la búsqueda de respuestas cuestiones básicas relacionadas con: a) las condiciones y tendencias



ambientales en un determinado sitio; b) las causas y vinculaciones entre la influencia humana, y los procesos naturales, los efectos económicos y ecológicos; y c) las implicancias para el planeamiento y establecimiento de políticas. Benumof *et al.* (1997) sostienen que el significado y valor de la información acerca de la erosión costera para científicos, tomadores de decisión y planificadores en general depende de que exista un claro entendimiento sobre el alcance operativo, las limitaciones metodológicas y la utilización apropiada de los datos en la planificación del uso del territorio. En coincidencia, Forbes y Liverman (1996) afirman que el seguimiento de indicadores apropiados debería ser un componente esencial de cualquier política de manejo.

Área de estudio, estudios previos y estado de situación de la erosión costera

Se han seleccionado para el presente análisis dos ciudades localizadas en las regiones características del litoral marítimo argentino: Puerto Madryn, en la patagónica y Villa Gesell, en la pampeana. Si se toma en cuenta el tamaño poblacional de cada una y se lo integra en una relación rango-tamaño con las categorías urbanas propuestas por Vapñarsky y Gorojovsky (1990), ambas ciudades corresponden a ATIS medias (Aglomeraciones de tipo intermedio), presentando además un fuerte perfil turístico, lo que presupone impactos notorios sobre sus áreas costeras. Además, ambas ciudades presentan antecedentes de eventos de erosión activa, con riesgo de daño de sus frentes urbanos costeros. Los aspectos demográficos y las características fisiográficas generales de las ciudades analizadas son tratados por Perelman (2011, en este volumen).

Erosión costera en Puerto Madryn

El litoral marítimo de Puerto Madryn fue afectado por una intensa transformación, durante las últimas tres décadas, mediante una continua urbanización. La acción antrópica sobre el paisaje original se ha manifestado principalmente en la modificación de las geoformas costeras, la eliminación de la cobertura vegetal y la compactación y movimiento de suelos (Monti, 1996). La configuración de la costa muestra dos asociaciones de geoformas características. Los extremos norte y sur del área urbanizada están dominados por acantilados y plataformas de erosión de olas, labrados sobre rocas sedimentarias del Terciario, con evidencias morfológicas de erosión marina, erosión hídrica pluvial y fenómenos de remoción en masa activos (Monti, *op. cit.*). La ocurrencia de eventos pluviales torrenciales, de baja frecuencia pero intensos, propios de los climas áridos, ha afectado



principalmente los sectores con acantilados y plataformas de abrasión, generando en estos tramos marcados retrocesos de la línea de costa por carcavamiento intenso. En el sector central del golfo se desarrollan, en cambio, morfologías de costas bajas con una típica asociación de playas disipativas de suave pendiente y arenas finas y, en continuidad con la playa posterior, una primera línea de médanos relictuales, parcialmente vegetados. Monti y Bayarsky (1996) mencionan la ocurrencia de rompientes del tipo caída con largos períodos de olas y bajo potencial energético durante el invierno, cambiando en primavera-verano, por el aumento del viento del este y noreste, a rompientes de tipo volutas con menores períodos de olas, mayor potencial energético, y consecuentemente, mayores posibilidades de erosión sobre el sistema playa-médano.

Los eventos de tormentas marinas poco frecuentes, sumados a las condiciones de bahía emplazada dentro de un golfo, con baja energía de olas y dominio de amplitud de mareas medias, son características que no favorecerían fenómenos naturales erosivos de gran magnitud en la costa baja central del frente urbanizado. Al respecto, Monti (1996) sostiene que dicho sector está dominado por procesos naturales de acumulación o estabilidad relativa de la línea de costa, apareciendo fenómenos de erosión sólo como respuesta a la intervención antrópica sobre las morfologías costeras originales. Ello se vincularía fundamentalmente al avance de la urbanización sobre el sistema médano-playa, y el consecuente corte de geoformas para desagües pluviales, desmonte parcial de médanos y compactación de arenas de playas.

Weiler y Gómez Simes (2005) estudiaron la costa baja central y observaron una notable pérdida del ancho de la zona de playa y médanos entre los años 1971 y 2005, documentando un retroceso, según el sector considerado, que abarca entre 2 metros y 19 metros. Las autoras atribuyen el retroceso de la zona de playa y médano al impacto de las modificaciones urbanas llevadas a cabo sobre la primera fila costera.

Monti y Escofet (2009) determinaron para el período 1995-2008 una expansión perforativa de los balnearios sobre el frente externo de las dunas de la zona costera central. Monti (2011) reconstruyó el proceso de balnearización desde 1960 al presente, identificando impactos acumulativos sobre la playa posterior e intermareal, con evidencias de erosión marina activa en los sectores más antropizados por instalación de estructuras rígidas permanentes.

Erosión costera en Villa Gesell

El litoral sudeste de la Provincia de Buenos Aires soporta una intensa presión urbana que, sumada a los reiterados episodios de tormentas (sudestadas) y la consecuente



erosión de playas, define una problemática ambiental compleja. Dicha situación ha motivado la realización de variados estudios de dinámica costera, con el objetivo de establecer las condiciones morfodinámicas actuales de sus playas, y particularmente los ritmos y causas de la erosión costera.

La costa bonaerense ha sido estudiada intensivamente desde la década de 1970. Los trabajos pioneros de Spalleti y Mazzoni (1979), y Mazzoni y Spalleti (1980), por citar sólo dos de los más relevantes, se centraron en estudios granulométricos y mineralógicos de los sedimentos de playas y médanos, como metodología para establecer cambios estacionales en los subambientes de playa y en la dinámica de las corrientes de deriva litoral. Una serie de trabajos realizados entre 1995 y 2005 se sucedieron (Marcomini y López, 1995, 1998, 2001; Kokot, 1997, Isla *et al.*, 1998, 2001 a; Bértola *et al.*, 1999; Bértola y Cortizo, 2005; entre otros) profundizaron los análisis morfodinámicos de costas bajas del sudeste bonaerense. En ellos se incorporaron mediciones sistemáticas de los cambios en las geoformas de los distintos subambientes de playas, utilizados éstos como indicadores de los ritmos de erosión/acumulación costera, y se establecieron relaciones causales con la recurrencia e intensidad de tormentas costeras y con las alteraciones antropogénicas sobre el espacio litoral.

La costa de Villa Gesell, litoral emblemático afectado por sudestadas y por la creciente urbanización, ha sido objeto de estudio en reiteradas oportunidades. La mayoría de las investigaciones publicadas ha centrado su interés en determinar la magnitud y causas del retroceso costero, para lo cual se realizaron mediciones estacionales de rasgos morfológicos de las playas y de parámetros texturales de los sedimentos, así como seguimientos sobre el tipo e intensidad de las modificaciones antrópicas, concluyendo que esas intervenciones interfirieron con la dinámica litoral, alterando el aporte de arenas a las costas y provocando cambios en la estabilidad de las playas. Marcomini y López (1995) estimaron el retroceso de la costa de Villa Gesell, entre 1967 y 1981, en valores que fluctuaban entre un mínimo de 1,23 m por año y un máximo de 2,35 m por año, hallando una relación directa entre el aumento de la erosión y el incremento de la urbanización. Entre las acciones antrópicas relevantes que causan erosión inducida, los autores destacaron la extracción de arena de las playas y dunas costeras y la introducción de vías de drenaje artificiales. Posteriormente, y a partir de perfiles de playa estacionales realizados durante 1995-1996, Marcomini y López (1998) encontraron que la acción de sudestadas, más frecuentes e intensas en primavera-verano, favorecían las condiciones erosivas, siendo más críticas en las playas céntricas, donde la destrucción de las dunas no permitía la recuperación subaérea de la playa por acción eólica, disminuyendo notoriamente el nivel de la misma. Establecieron además que la berma estable, en la playa distal, resultaba un



parámetro sensible para evaluar la recuperación natural frente a fenómenos erosivos, salvo en aquellos sectores marcadamente afectados por urbanización.

En contraposición, Isla *et al.* (1998), también a partir de datos históricos que abarcan un lapso de 24 años (1957-1981), consideraron que el sector urbanizado de Villa Gesell no presentaba erosión significativa en ese período; en cambio, sí detectaron un retroceso costero superior a 0,5 m por año en las localidades de Mar de las Pampas y Mar Azul, situadas al sur. Responsabilizaron de dicha erosión a un déficit de arena provocado por la fijación con vegetación de la barrera medanosa colindante, lo cual generó médanos frontales subalimentados. Mediante seguimientos efectuados entre 1994 y 1996, Bértola *et al.* (1999) estimaron para todo el partido de Villa Gesell un balance general erosivo, que involucraba 12856 m³ de arena, como resultado de ciclos de erosión y acumulación anuales en correspondencia con variaciones estacionales. Determinaron que la mayor erosión ocurría en otoño/invierno, mientras que en verano/otoño registraron una recuperación de las playas. Esos autores destacaron cuatro procesos interactuando en la modificación de las características de estas playas: ciclos estacionales otoño-invierno; ciclos episódicos ligados a tormentas; presencia de bancos submareales que interfieren el ángulo de incidencia del oleaje; y alteraciones antrópicas, tales como urbanizaciones, canalización y cambios inducidos en el perfil de playa.

Metodología

Se llevó a cabo una campaña a campo en cada una de las localidades, coincidente con la temporada baja de turismo (otoño-invierno) y por ende, con menor presión antrópica sobre el litoral urbanizado. Se realizó la documentación visual y registro fotográfico de los atributos geomorfológicos, con especial énfasis en aquellos rasgos de la zona de playa y médano que pudieran evidenciar procesos de erosión activa. El énfasis en la documentación de rasgos físicos del terreno se sustenta en el concepto de indicador proxy (Gallopín, 1997) y geoindicador proxy (Berger, 1996 b). Cuando fue posible, los relevamientos se realizaron, cuadra por cuadra, estableciendo como segmento tipo de medición 100 metros aproximadamente, y considerando como segmentos diferenciados aquellos sectores del litoral coincidentes con la desembocadura de bocacalles perpendiculares a la línea de costa. En todos los casos se puso especial énfasis en documentar las interferencias espaciales entre la dinámica geomorfológica y las modificaciones antrópicas del sustrato original.

Para el caso de Villa Gesell, el trabajo de campo se realizó en mayo de 2007, escogiendo tres tramos comprendidos entre los Paseos 100-110, 119-130, y 140-150.



En Puerto Madryn se concretó el relevamiento durante junio-julio de 2008, abarcando el tramo costero comprendido entre la calle Irigoyen, que desemboca en el Muelle Piedrabuena, y los alrededores del monumento a San Paolo, localizado en el extremo sur de la zona baja central. En ambos casos, el área analizada estaba comprendida entre los terrenos que quedan expuestos en la baja marea normal y la primera fila costera con ocupación antrópica de carácter permanente. En aquellos tramos costeros sin ocupación antrópica consolidada, el área de estudio se extendió hasta el primer camino costero consolidado.

Para la sistematización de los datos de campo se utilizó la metodología cualitativa de Young *et al.* (1996) que propone la confección de matrices comparativas de geoindicadores costeros de erosión para relieves litorales de topografías bajas. La metodología se sustenta en el marco temático de los indicadores y plantea una serie de indicadores visuales geomorfológicos, a partir de los cuales se identifican tres estadios costeros: a) erosión severa, b) erosión y c) acumulación/estabilidad. En las matrices se ha consignado la presencia de geoindicadores suplementarios por tramo relevado y, cuando fue posible, se calificó el origen de la presencia o ausencia del indicador. El signo (+) fue adosado a algunos calificativos para señalar geoindicadores espacialmente más extendidos que el promedio. Las bondades del método de reconocimiento de geoindicadores seleccionado en este caso radican en la misma definición de Elliot (1996), quien destaca a los indicadores geoambientales como parámetros geológicos que permiten identificar cambios en el ambiente (los cuales pueden ser significativos para los seres humanos), útiles para medir cambios rápidos y que deben estar dirigidos al análisis de problemas ambientales específicos.

Cabe destacar que los resultados obtenidos en el presente trabajo tienen el alcance de un diagnóstico cualitativo, estacional y estático, que muestra el estado de situación al momento del relevamiento. Para lograr un mayor dinamismo de este diagnóstico instantáneo, que no permite identificar la progresión de cambios, es necesario establecer un programa de seguimiento sistemático de los mismos, e incluso avanzar, si fuera posible, en procedimientos de evaluación cuantitativa.

Geoindicadores de erosión en el frente urbano costero de Puerto Madryn

En líneas generales, los geoindicadores identificados no muestran evidencias de erosión costera severa, por causas naturales, en ningún sector del tramo relevado (Tabla 2). El segmento central (que coincide con la mayor antropización sobre la primera fila costera, entre calles Gales y Humphreys) presenta geoindicadores de erosión, generados por la eliminación de



CALLE Y TRAMOS	EROSIÓN SEVERA						EROSIÓN						ACUMULACIÓN / ESTABILIDAD					
	Frente costero sin dunas	Escarpas de erosión sobre bermas	Remanentes de dunas	Canal de mareas expuesto en zona de surf	Costa sin vegetación natural	Estructuras antropogénicas de protección sobre playa	Playas con notorios apilamientos de arena	Dunas discontinuas o con escarpas de erosión	Turba, limo-arcilla, raíces, troncos en playa	Playa angosta o ausencia de playa posterior en alta marea	Abanicos y/o canales de sobrelevado	Vegetación escasa o limitada al tope de la escarpa	Apertura artificial en el frente costero	Dunas robustas, continuas y vegetadas	Playas anchas con bermas robustas y continuas	Frente costero sin sobrelevados	Vegetación desarrollada en dunas y pastos en playa	
Irigoyen	mc	pl	n/a	pl	mc			n/a	pl	pl	n/a	pl	n/a	n/a	pl	n/a		
Irigoyen-Saenz Peña	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	n/a		n/a		
Sáenz Peña	mc	pl	n/a	mc	mc			n/a	pl		n/a	pl	n/a	n/a		n/a		
Sáenz Peña-28 de Julio	mc	mc	n/a	pl	mc			n/a		pl	n/a	pl	n/a	n/a	pl	n/a		
28 de Julio	mc	mc	n/a	pl	mc			n/a			n/a		n/a	n/a		n/a		
28 de Julio-Belgrano	mc	pl	n/a	mc	mc			n/a	pl		n/a	pl	n/a	n/a		n/a		
Belgrano	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	n/a		n/a		
Belgrano-9 de Julio	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	n/a		n/a		
9 de Julio	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	n/a		n/a		
9 de Julio-Sarmiento	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	+		n/a		
Sarmiento	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	+		n/a		
Sarmiento-Gales	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	+		n/a		
Gales	mc	pl	n/a	pl	mc			n/a	pl		n/a	pl	n/a	n/a	pl	n/a		
Gales-Storni	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a	mc		n/a		n/a	n/a		n/a		
Storni	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	+		n/a		
Storni-Lugones	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a		n/a	+		n/a		
Lugones	mc	pl	n/a	mc	mc			n/a	pl	pl	n/a	pl	n/a	+		n/a		
Lugones-Perlotti	ba	ba	n/a	ba	ba			n/a			n/a	ba	n/a	+		n/a		
Perlotti	ba	ba	n/a	ba	ba			n/a			n/a	ba	n/a	+		n/a		
Perlotti-Martín Fierro	mc	mc	n/a	mc	mc			n/a			n/a	n/a	n/a	+		n/a		

Tabla 2 - Matriz de identificación de geoindicadores de erosión/acumulación en Puerto Madryn, Argentina. Los colores indican presencia del geoindicador correspondiente. Referencias: +: con marea > 5,40 m, la playa posterior queda sumergida y el geoindicador no se registra; mc: muro costero; pl: pluvial; pt: vía peatonal; ve: vía vehicular; ba: balneario; an: antropización; n/a: no aplica.



Martín Fierro	mc	pl	n/a	pl	mc		n/a	pl	n/a	pl	n/a	+	n/a	n/a
M Fierro- J Hernández	mc		n/a		mc		n/a		n/a		n/a	+	n/a	n/a
José Hernández	ba		n/a		ba		n/a		n/a	ba	n/a	+	n/a	n/a
J Hernández-A Belgrano	ba				ba					ba	n/a	+		
Acorazado Belgrano	ba				ba					ba	n/a	+		
A Belgrano-F Sarmiento			an				pt			pt	+			
Fragata Sarmiento	ba		an				n/a			ba	+		n/a	
F Sarmiento-PS Teresa								pl			+			
Paq. Sta. Teresa										pl	+			
PS Teresa-H Jones											+			
H Jones							pt			pt	+			
H Jones-Roberts							pt				+			
Roberts-Fogel							pl			pl	+			
Roberts/Fogel-Vesta							pt			pt	+			
Vesta							pl			pl	+			
Vesta-Inacayal			an			an	an			an	+			
Inacayal	ba		n/a		ba		ba			ba	+		n/a	
Inacayal-M Humphreys	an		an		an		an			an	+			
M Humphreys			pt/pl				pt/pl			pe/ve	+			
M Humphreys-Apeleg											+			
Apeleg	pl	pl				pl	pl		n/a	pl	+		n/a	pl
Apeleg-Galats											+			
Galats											+			
Galats-Tehuelches											+			
Tehuelches	pt/ve						pt/ve		n/a	pt/ve	+			
Tehuelches-A Jenkins							pt			pt	+			
A Jenkins-Castelli	pl/pt	pl					pl/pt			pl/pt	+			
Castelli-H Rayentray	ba			ba			ba			ba	+		n/a	
H Rayentray-UNP							pt			pt	+			
UNP	ba			ba			pt			ba	+		n/a	
UNP-San Paolo			pt/ve				pt/ve			pt/ve	an			

- Geoindicador de erosión severa
- Geoindicador de erosión
- Geoindicador de acumulación / estabilidad
- Ausencia de geoindicadores





Fig. 1 - Puerto Madryn. a: Balnearios sobre sectores de médanos; b: paseo peatonal y camino costero; c: erosión sobre playas por salida pluvial; d: corte en médanos para ingreso peatonal; e: afectación de pluviales entubados; f: escarpas en la base de los médanos.

la cadena de médanos para el establecimiento de bares y balnearios, por la construcción del paseo costero (Fig. 1 a, b), o por cortes y escarpas de erosión labradas sobre la playa y los médanos por efecto de los desagües pluviales hacia el mar. Ello favorece los sobrelavados hacia el continente durante eventos de marea alta (Fig. 1 c, d), afectando la base del muro costero, de la salida de las redes pluviales entubadas y/o del frente medanoso (Fig. 1 e, f).





Fig. 2 - Puerto Madryn. a, b: Cortes pluviales sobre bermas y playas de intermarea; c, d: playas anchas y bermas robustas en zona sur; e, f: cortes peatonales y pluviales en médanos.

Los geoindicadores de erosión por causas antrópicas más conspicuos se registraron desde el Muelle Piedrabuena hacia el sur hasta aproximadamente la calle Fragata Sarmiento. Estaban representados por cortes pluviales que afectaban la playa posterior y bermas, y alcanzaban los canales de lavado, incluso la zona de *surf* (Fig. 2 a, b). En cambio, más al sur de la calle Fragata Sarmiento, se registró un notorio incremento en los geoindicadores de acumulación/estabilidad, coincidentemente con





Fig. 3 - Puerto Madryn. a: Balnearios y bares sobre zona de médanos desmontados; b: sectores con médanos y playa posterior amplia; c: playa posterior angosta y bermas poco definidas; d: desarrollo de médanos parcialmente vegetados en tope de la barranca.

un mayor desarrollo tanto de médanos como de playas más anchas, con bermas en general más robustas (Fig. 2 c, d). Pese a ello, los desagües pluviales siguieron siendo la causa principal de la interrupción en la continuidad de la cadena medianosa y de la playa posterior; a eso se sumaban una serie de cortes por tránsito peatonal, que incrementaban la antropización sobre las geoformas litorales (Fig. 2 e, f).

Entre la calle Aaron Jenkins y la última rotonda hacia Punta Cuevas, alternaban dos tipos de tramos costeros: a) sectores con balnearios, bares y estacionamientos emplazados sobre zona de desmonte de médanos y ausencia de playa posterior en condiciones de marea alta; y b) sectores con dominio de médanos en continuidad con playas de mayor desarrollo. Luego de la última rotonda, la marcada ausencia de playa posterior en condiciones de marea alta y la formación de dunas incipientes sobre el material de relleno que conforma la barranca, indicaban dos condiciones de estado. Se reconocieron geoindicadores de erosión en la base del frente costero, en contraste con procesos de acumulación/estabilidad presentes en el tope del mismo (Fig. 3).





Fig. 4 - Puerto Madryn. a: Ingreso de marea extraordinaria a zona de balnearios; b: desaparición de playa posterior y erosión en base de muro; c: escarpa de erosión; d: base de frente de dunas cubierta por marea extraordinaria.

Un relevamiento de geoindicadores realizado luego de una marea extraordinaria puso en evidencia que los sectores con mayor fragilidad frente a la inundación eran aquellos donde se había retirado la cadena de médanos o donde los pluviales labraron canales cortando tanto la berma como la playa de intermarea (zona de *surf*). Ambas situaciones favorecían el sobrelavado hacia el continente, con avance del mar y afectación de distintas instalaciones. En casi toda la costa, la marea extraordinaria había producido la desaparición prácticamente total de la playa posterior, afectando la base de acantilados, del muro, de los pluviales o del frente de médanos, según fuera el sector considerado (Fig. 4).

El análisis integrado de los geoindicadores de erosión (Tabla 2) permitió identificar un gradiente longitudinal de cambio en las condiciones de erosión y de acumulación. Los geoindicadores de acumulación/estabilidad aumentaban hacia el sur, dominando los tramos centro-sur, coincidentemente con la menor artificialización del frente litoral, lo que implica una menor intervención sobre la dinámica natural. Las dunas robustas y continuas, las playas anchas con bermas sin cortes ni escarpas, la





Fig. 5 - Villa Gesell, Argentina. a: Cortes pluviales sobre playa posterior y berma; b: desmonte de médanos para urbanización; c: avance de la urbanización sobre médanos y playas; d: corte en médanos discontinuos parcialmente vegetados; e: pluvial inundado por sobrelavados; f: eliminación parcial de médano para ingreso vehicular.

ausencia de sobrelavados y la vegetación en dunas y playas, fueron los geoindicadores suplementarios más representativos de esta condición costera. Una cierta inversión de la tendencia se registró en el tramo costero terminal hacia Punta Cuevas. Los geoindicadores de erosión por causas naturales estaban prácticamente ausentes en todo el



litoral relevado, lo cual indicaría una situación de relativa estabilidad natural o incluso dominancia de eventos de acumulación sedimentaria para esta costa, de no existir intervención antrópica. Consecuentemente, la mayor densidad de geoindicadores de erosión aumentaba desde la zona central hacia el norte, en los alrededores del Muelle Piedrabuena, acompañando el incremento en la artificialización del frente urbano costero. Allí, la ocupación litoral ha avanzado sobre el sistema médano-playa, generando desmonte de dunas y de vegetación natural, impermeabilización del sustrato, aberturas artificiales en dunas, playas y bermas para desagües pluviales e ingresos peatonales y vehiculares, angostamiento de playa posterior y canales de sobrelavado en zona de *surf*.

En síntesis, los geoindicadores de erosión, generados por procesos antrópicos y los geoindicadores de acumulación o estabilidad a partir de procesos naturales, resultaron ser los más extendidos en el frente estudiado de Puerto Madryn, admitiendo una sectorización coincidente con el grado de artificialización del sistema médano-playa.

Geoindicadores de erosión costera en el frente urbano de Villa Gesell

Durante el período de relevamiento en el sector estudiado no se identificaron geoindicadores de erosión severa por causas naturales (Tabla 3), a diferencia de lo que documentaron estudios previos que abarcaron los efectos de sudestadas recurrentes en dicho litoral. En cambio, en este estudio sí fue posible determinar la distribución espacial de evidencias de erosión severa promovida a partir de las transformaciones antrópicas sobre el sistema médano-playa.

Los tramos que se extienden entre la Avda. Buenos Aires y el Paseo 110, y entre los Paseos 126 y 130 mostraban la mayor densidad de urbanización de la fachada marítima, en coincidencia con la mayor cantidad de geoindicadores de erosión severa y de erosión, evidenciados por la ausencia o discontinuidad de médanos y vegetación natural, playa posterior angosta, y aberturas artificiales sobre playa y bermas para salidas pluviales, ingresos vehiculares y pasarelas peatonales (Fig. 5).

Los geoindicadores de acumulación/estabilidad reconocidos se vinculaban con el desarrollo de playas posteriores anchas con bermas mejor definidas, frentes costeros sin sobrelavados y dunas continuas con vegetación (Fig. 6). Estos atributos aparecieron en mayor medida hacia el sur del Paseo 126, incrementándose notablemente a partir del Paseo 140, donde la artificialización del medio y el patrón de urbanización han eliminado una menor cantidad de geoformas costeras originales.

El análisis integrado de geoindicadores de erosión evidenció la existencia de un gradiente de cambio en las condiciones de erosión y de acumulación (Tabla 3).



PASEOS Y TRAMOS	ACUMULACIÓN / ESTABILIDAD				EROSIÓN				EROSIÓN SEVERA								
	Vegetación desarrollada en dunas y pastos en playa	Frente costero sin sobrelavados	Playas anchas con bermas robustas y continuas	Dunas robustas, continuas y vegetadas	Apertura artificial en el frente costero	Vegetación escasa o limitada al tope de la escarpa	Abanicos y/o canales de sobrelavado	Playa angosta o ausencia de playa posterior en alta marea	Turba, limo-arcilla, raíces, troncos en playa	Dunas discontinuas o con escarpas de erosión	Playas con notorios apilamientos de arena	Estructuras antropogénicas de protección sobre playa	Costa sin vegetación natural	Canal de mareas expuesto en zona de surf	Remanentes de dunas	Escarpas de erosión sobre bermas	Frente costero sin dunas
100		pl			pl							an					an
100-103												an					an
103		pl			pl							an					an
103-103bis			xt									an					an
103bis			xt		pl							an					an
103bis-104			xt									an					an
104				pl								an					an
104-105					pt							an					an
105					pl							an					an
105-107												an					an
107					pl							an					an
107-108												an					an
108					pl							an					an
108-109												an					an
109												an					an
109-110												an					an
110												an					an
119												an					an
119-121												an					an
121												an					an
121-123												an					an

Tabla 3 - Matriz de identificación de geoindicadores de erosión/acumulación en Villa Gesell. Los colores indican presencia del geoindicador correspondiente. Referencias: +: con marea > 5,40 m, la playa posterior queda sumergida y el geoindicador no se registra; mc: muro costero; pl: pluvial; ps: pasarela; pt: vía peatonal; ve: vía vehicular; ba: balneario; an: antropización; nq: enquinchados; xt: exóticas; nt: nativas; bp: berma poco desarrollada; n/a: no aplica.





Fig. 6 - Villa Gesell. a: playas anchas sin cortes ni sobrelavados; b: dunas altas y vegetadas; c: primera fila de médanos, continua y vegetada, y frente urbano costero retrasado hacia continente; d: playas amplias con médanos continuos cerca del Paseo 150.

Los geoindicadores de acumulación/estabilidad aumentaban hacia el sur, dominando el tramo centro-sur a partir del Paseo 130 aproximadamente; ello coincidía con una disminución paulatina de la intervención antrópica sobre las condiciones de la dinámica natural en igual sentido. La cadena de médanos mejor conservada y continua, las playas anchas con bermas sin cortes ni escarpas erosivas, la ausencia de sobrelavados y la vegetación natural en dunas y playas resultaron ser los geoindicadores suplementarios de estabilidad más representativos de este tramo.

Se registró en cambio una mayor densidad de geoindicadores de erosión desde la zona central hacia el norte, hasta los alrededores de la Avda. Buenos Aires, acompañando el incremento en la artificialización del litoral en igual sentido. El patrón de ocupación urbana afectó de manera muy notoria el sistema médano-playa, promoviendo la eliminación total o parcial de la cadena de médanos y/o la vegetación natural de los mismos, y generando cortes erosivos sobre playas y bermas por desagües pluviales e ingresos peatonales y vehiculares, con canales de sobrelavado sobre la playa posterior



e intermareal. Entre los Paseos 119 y 126 parecía disminuir el efecto erosivo, posiblemente debido al emplazamiento de enquinchados para recuperar la primera fila de médanos, en continuidad con la playa posterior.

En resumen, los geoindicadores de erosión por acción antrópica resultaron ser los más extendidos en este espacio costero. En cambio, los geoindicadores de acumulación/estabilidad más conspicuos aparecieron recién al sur del Paseo 130, donde el avance de la urbanización sobre el sistema médano-playa registraba una menor densificación.

Utilidad de los geoindicadores propuestos

El concepto de geoindicador suplementario, tomado como evidencia clave de erosión, fue adecuado para documentar no sólo la distribución de los rasgos geomorfológicos, sino también el tipo e intensidad de las intervenciones del medio social sobre las geoformas naturales y el estado de degradación o modificación de las mismas, en las localidades seleccionadas de la costa pampeana y patagónica. Los resultados obtenidos permiten inferir que la jerarquía urbana y la forma de ocupación de la primera fila costera aparecerían como limitantes para aplicar este método. La extensión de la urbanización costera, relativamente acotada de Puerto Madryn y Villa Gesell, es un factor común que facilitó la aplicación del método en ambos casos.

La lista de geoindicadores de erosión y de acumulación/estabilidad obtenida para cada localidad puede ser parte de una línea de base para futuros controles. La escala de detalle seleccionada para el trabajo a campo permitió zonificar el tramo costero estudiado, relacionar los geoindicadores con la trama urbana, y en consecuencia identificar un gradiente de cambio espacial en las condiciones de erosión y/o acumulación/estabilidad, coincidente con el avance de la artificialización a lo largo de la costa, con sentido sur en ambos casos.

Las posibilidades de utilizar geoindicadores suplementarios como evidencia clave para caracterizar el estado de la erosión se reducen considerablemente cuando aumenta la densidad de edificación y/o el avance pronunciado de la misma hacia la zona de playa (Fig. 7). Asimismo, la dominancia de usos y actividades consuntivos, competitivos y no dependientes de la costa, muchas veces facilitado por un perfil más industrial que turístico de las ciudades litorales (Monti *et. al.*, 2006; Raimondo, 2011, en este volumen), puede también constituirse en un factor limitante para la utilización de geoindicadores, al quedar las geoformas costeras totalmente modificadas u ocultas bajo la infraestructura emplazada en la costa.

La primera línea urbana costera de Villa Gesell está dominada por usos de tipo residencial, vinculados casi exclusivamente con actividades de ocio y turismo, promovidos





Fig. 7 - Avance marcado de la edificación sobre los sectores de playa posterior e intermareal, en el litoral de Puerto Madryn (A), y Villa Gesel (B).

por la amenidad que brinda el entorno de topografías bajas y regulares, y por la accesibilidad directa a la playa. Puerto Madryn también presenta un fuerte perfil turístico que domina su tramo costero central, caracterizado por topografías bajas que facilitan el desarrollo de actividades de sol y playa, náuticas y avistaje de fauna. Sin embargo, a diferencia de Villa Gesell, los usos residenciales de la primera fila son para viviendas de residentes permanentes y en los extremos de su frente urbano costero, donde las topografías son más elevadas, también se encuentran asentadas actividades industriales. El avance de la presión antrópica sobre el sistema médano-playa es una característica común de ambos litorales, lo cual indicaría que el turismo no es el único factor que ha promovido la erosión inducida. En Puerto Madryn, como en otras localidades patagónicas, las particularidades desérticas del entorno y el amplio acantilado dominante han estimulado la ocupación urbana de los escasos sectores bajos, por sobre otros territorios más continentales con mayor rigurosidad climática y menor oferta de recursos (Monti, 1996). Esta situación es distinta en la costa pampeana, con climas húmedos, diversidad de actividades económicas, oferta de recursos en toda la región y características fisiográficas con preponderancia de costas bajas.

Aspectos vinculados con los frentes urbanos costeros analizados

Los diagnósticos llevados a cabo en los casos de estudio muestran características comunes, ya sea en lo referido a la calificación de los estadios erosivos y su relación con la urbanización, como a la distribución espacial de los geoindicadores y sus tendencias de cambio a lo largo de la costa. En ambos se registró un decrecimiento





Fig. 8 - Interrupción de la continuidad de las geoformas de acumulación costera y afectación en el transporte natural de arenas en playas y médanos por acción antrópica sobre el litoral en Puerto Madryn (A), y Villa Gesell (B).

de los geoindicadores de erosión severa de norte a sur, siendo éstos más frecuentes en el segmento norte de Puerto Madryn (51% en el tramo Irigoyen-José Hernández *vs* 42% entre José Hernández - San Paolo) y norte de Villa Gesell (28% en el tramo Avda. Buenos Aires - Paseo 126 *vs* 18% entre Paseos 126 y 150). El porcentaje de geoindicadores de erosión no registraba variaciones significativas entre los tramos norte y sur (respectivamente, 22% y 29% en Puerto Madryn y 26% y 23% en Villa Gesell). En cambio, los geoindicadores de acumulación/estabilidad presentaban una clara tendencia a incrementarse hacia el sur, con valores algo mayores en el madryense (27% a 53%) que en el gesellino (32% y 49%). Esta tendencia común puede explicarse a partir de las modalidades de urbanización del litoral, muy similares en ambas ciudades.

La urbanización costera en las dos localidades se ha consolidado primero en la zona norte, promoviendo luego un crecimiento gradual hacia el sur. Por otra parte, la modificación de la costa no ha sido homogénea. En ambos casos la urbanización más antigua y los usos asociados han sido mucho más consuntivos y competitivos que los posteriores. En los tramos urbanizados más recientemente, el frente de construcción se ha retirado hacia el continente, respetando la primera línea de médanos y la playa posterior, y disminuyendo a la vez la densidad de ocupación. En consecuencia, los geoindicadores de erosión severa y de erosión resultaron ser más abundantes en los tramos septentrionales de las costas relevadas, donde la artificialización del paisaje natural ha sido más intensa.

Tanto en Puerto Madryn, como en Villa Gesell, los geoindicadores de acumulación/estabilidad indicarían la predominancia de los factores naturales, a diferencia de





Fig. 9 - Evidencias de erosión natural e inducida en litorales urbanizados pampeanos y patagónicos, con vocación turística. (A) Erosión marina activa y obras de protección en Playa Magagna, Chubut; (B) Desmonte de médanos costeros para urbanización en Mar Azul, Buenos Aires.

los geoindicadores de erosión, los cuales en su mayor parte pueden ser relacionados con actividades y usos antrópicos. En ambas localidades existe una interdependencia entre las condiciones de erosión severa y erosión, y los tramos donde la ocupación urbana ha avanzado sobre los ambientes naturales mediante la instalación de desagües pluviales con sobreelevados, aberturas artificiales con cortes en playa y berma, eliminación de vegetación natural y de médanos (Fig. 8). Contrariamente, los sectores con menor intervención antrópica, y por lo tanto mejor conservación de la dinámica natural médano-playa, son los que presentaron la mayoría de los geoindicadores suplementarios de acumulación y/o estabilidad costera. La continuidad lateral de médanos vegetados, bermas y playas posteriores amplias y sin escarpas de erosión, resultan ser los geoindicadores suplementarios más notorios de la ausencia de pulsos erosivos de origen natural durante el período de relevamiento (Tablas 2 y 3).

Proyecciones a otras áreas del litoral argentino

En la costa patagónica, la dinámica y magnitud de los procesos de erosión costera, y sus impactos sobre el medio socioeconómico expuesto, han sido documentados para el Golfo San Jorge, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly y Caleta Olivia, por Codignotto y del Valle (1995), Kokot *et al.* (1996) y Quintón Piegas (1997). En la costa patagónica norte, Monti (1999) y Monti y Lanza (2003) han reportado las características y los efectos de la erosión costera sobre el litoral urbanizado de Playa Magagna y Codignotto (2004) ha documentado fenómenos erosivos, naturales e inducidos, para Balneario Las Grutas. Todos los casos mencionados evidenciaban ocupación de la primera



fila costera similar a las descritas para Puerto Madryn y Villa Gesell, pese a que las dos únicas localidades con perfil turístico, además de Puerto Madryn, son Playa Magagna y Balneario Las Grutas. Por lo tanto, los litorales urbanizados de Patagonia estarían dominados por un proceso de artificialización intenso, que genera el deterioro de la capacidad de soporte del sustrato y, consecuentemente, la aparición de rasgos morfológicos por erosión inducida en los tramos costeros más intervenidos.

En el litoral pampeano, las ciudades con fuerte perfil turístico son más abundantes que las localizadas en la costa patagónica. En siete partidos costeros (La Costa, Pinamar, Villa Gesell, General Pueyrredón, General Alvarado, Necochea y Monte Hermoso), el turismo es una de las actividades económicas principales (Dadon y Matteucci, 2006). La mayoría de las ciudades costeras están expuestas a fenómenos activos de erosión intensa y en casi todas la ocupación urbana ha avanzado sobre la geoformas de la primera fila, independientemente de que se trate de cadena de médanos o costas acantiladas. Esta situación ha modificando intensamente las condiciones originales, al establecer infraestructura diversa que interfiere con la dinámica natural. Isla *et al.* (2001 b) consideran que en la costa pampeana existe una componente de erosión inducida por el emplazamiento inadecuado de puertos y urbanizaciones turísticas. Dadon (2002) menciona que en los sectores más urbanizados del litoral bonaerense, la cadena de médanos ha sido eliminada para instalar avenidas costaneras asfaltadas, con el consecuente incremento de la erosión de las playas. Codignotto (2004) presenta una zonificación del tramo comprendido entre Bahía de Samborombón y Mar del Plata, de acuerdo a la velocidad y magnitud de los fenómenos de erosión natural e inducida, identificando al Partido de La Costa como el tramo con mayor efecto de erosión inducida debido a un manejo inadecuado del litoral, y a la costa de Mar Chiquita y su prolongación hacia el sur en Mar del Plata, como el sector con erosión natural más crítica.

De ese modo, los fenómenos activos de erosión natural e inducida antrópicamente aparecen como una característica común a distintos litorales urbanizados, tanto de la región patagónica como de la pampeana (Fig. 9). La dominancia del perfil turístico de la ciudad aparecería como un factor promotor del avance de la urbanización sobre las geoformas originales de la primera fila costera, aunque no de modo excluyente. Se han mencionado ejemplos en el litoral patagónico, donde se reconoce el mismo patrón de artificialización y densidad de ocupación, en ciudades con perfil industrial y de servicios. Es factible suponer que la jerarquía urbana de éstas, la oferta de recursos vivos para actividades extractivas primarias en las costas patagónicas y las condiciones de aridez del entorno, constituyan factores promotores de la ocupación del litoral, tanto o más relevantes que la actividad turística para la costa pampeana.



Aplicar la metodología de geoindicadores de cambios costeros, como se ha hecho en el presente trabajo, a otros tramos urbanizados del litoral argentino, no sólo permitiría sistematizar los diagnósticos sobre la dinámica y distribución espacial de los fenómenos de erosión, sino también hacerlos operativos para la toma de decisiones y el establecimiento de políticas ambientales. En futuros estudios, la definición de geoindicadores suplementarios de erosión costera y su interpretación como evidencia clave del deterioro de litorales urbanizados y de sus impactos socioeconómicos, necesitaría incorporar el conjunto de atributos definidos por Hodge *et al.* (1995, en Hodge, 1996): a) el horizonte temporal; b) el marco espacial; c) el ecosistema como un 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 nivel de participación social en la toma de decisiones. Ello permitiría proyectar escenarios alternativos de posibles cambios en los sistemas litorales, con el fin de afianzar una gestión de tipo prospectiva, que asegure el desarrollo armónico y sustentable de las urbanizaciones turísticas de la costa marítima argentina.

Bibliografía

- Benumof, B, G Griggs y L Moore, 1997. Coastal erosion; the state of the problem and the problem of the state. En: California and the World Ocean '97 (1) (OT Magoon, H Converse, B Baird, y M Miller-Henson, eds.). American Society of Civil Engineers, Virginia.
- Berger, A, 1996 a. Introduction to geoindicator checklist. En: Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems (A Berger y W lam, eds.). Balkema, Rotterdam.
- Berger, A, 1996 b. The geoindicator concept and its application: an introduction. En: Assessing rapid environmental geoindicators changes in earth systems (A Berger y W lam, eds.). AA Balkema, Rotterdam.
- Bértola, G y L Cortizo, 2005. Transporte de arena en médanos litorales activos y colgados del sudeste de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60(1):174-184.
- Bértola, G, M Farenga, L Cortizo y Fl Isla, 1999. Dinámica morfológica de las playas de Villa Gesell (1994-1996), Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 54(1):23-35.
- Cendrero, A, 1997. Indicadores de desarrollo sostenible para la toma de decisiones. Naturzale 12:5-25.
- Cendrero, A y RM Charlier, 1990. Coastal zone resources, occupance and land use problems. A review and assesment. Geolis 3(1-2):40-60.
- Codignotto, JO y MC del Valle, 1995. Evaluación cualitativa de los factores de riesgo geológico en Rada Tilly, Chubut. Revista Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería 9:64-77.
- Codignotto, JO, 2004. Erosión Costera. En: Peligrosidad Geológica en Argentina (MA González y N Bejerman, eds.). Publicación Especial 4. ASAGAI, Buenos Aires. (CD-Rom).
- Dadon, JR, 2002. El impacto del turismo sobre los recursos naturales en la costa pampeana argentina. En: Zona Costera de la Pampa Argentina. Recursos Naturales, Sustentabilidad, Turismo, Gestión, Derecho Ambiental (JR Dadon y SD Matteucci, eds.). Lugar Editorial, Buenos Aires.



- Dadon, JR y SD Matteucci, 2006. Caracterización de las grandes regiones costeras de la Argentina. En: Manual de Manejo Costero para la Provincia de Buenos Aires (FI Isla y CA Lasta, eds.). EUDEM, Mar del Plata.
- Elliott, DC, 1996. A conceptual framework for geoenvironmental indicators. En: Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in earth systems (AR Berger y WJ Iams, eds.). AA Balkema, Rotterdam.
- El-Sabh, M, S Demers y D Lafontaine, 1998. Coastal management and sustainable development: from Stockholm to Rimouski. *Ocean and Coastal Management* 39:1-24.
- Environment Canada, 1991. A report on Canada's progress towards a national set of environmental indicators. SOE Report 91-1.
- Escofet, A, 2004. Marco operativo de macro y mesoescala para estudios de planeación de zona costera en el Pacífico mexicano. En: El Manejo Costero en México (E Rivera Arriaga, G Villalobos Zapata, I Azuz Adeath y F Rosado May, eds.). Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS, Universidad de Quintana Roo.
- Forbes, DL y DGE Liverman, 1996. Geological indicators in the coastal zone. En: Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in earth systems (AR Berger y WJ Iams, eds.). AA Balkema, Rotterdam.
- Gallopin, GC, 1996. Environmental and sustainability indicators and the concepts of situational indicators. A systems approach. *Environmental Modelling & Assessment* 1:101-117.
- Gallopin, GC, 1997. Indicators and their use: Information for decision making. En: Sustainability Indicators: a report of the project on Indicators of Sustainable Development (B Moldan, S Billharz y R Matravets, eds.). SCOPE Report 58. John Wiley & Sons, Chichester.
- Hodge, RA, 1996. Indicators and their role in assessing progress toward sustainability. En: Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in earth systems (AR Berger y WJ Iams, eds.). AA Balkema, Rotterdam.
- Isla, FI, G Bértola., M Farenga, S Serra y L Cortizo, 1998. Villa Gesell: un desequilibrio sedimentario inducido por fijación de médanos. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 5(1):41-51.
- Isla, FI, G Bértola., M Farenga y L Cortizo, 2001 a. Variaciones antropogénicas de las playas del sudeste de Buenos Aires, Argentina. *Revista Pesquisas en Geociencias* 28(1):27-35.
- Isla, FI, G Bértola, M Farenga, S Serra y L Cortizo, 2001 b. Morfodinámica y balance sedimentario de playas del partido de Pinamar (1995-1999), Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(2):150-160.
- Kokot, RR, 1997. Littoral drift, evolution and management in Punta Médanos, Argentina. *Journal of Coastal Research* 13(1):192-197.
- Kokot, RR, MC del Valle y JO Codignotto, 1996. Aspectos ambientales y riesgo geológico costero en zonas urbanas del Golfo San Jorge. *Revista Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 10:169-186.
- Marcomini, S y R López, 1995. Monitoreo costero en Villa Gesell. Resúmenes del VI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Mar del Plata.
- Marcomini, S y R López, 1998. Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 4(2):79-96.
- Marcomini, S y R López, 2001. Método de evaluación de vulnerabilidad de playas. Caso tipo: Las Toninas. Resúmenes de la III Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio y I Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Área MERCOSUR, Mar del Plata.
- Mazzoni, M y L Spalleti, 1980. Características de playas en erosión y en acreción. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35(3):55-63.
- 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, Madrid.
- Monti, AJA, 1996. Características geológicas, zonificación y usos de la costa en la ciudad de Puerto Madryn, Chubut. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 10:199-212.



- Monti, AJA, 1999. Evaluación geoambiental preliminar de riesgo costero en playa Magagna, Chubut. *Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 13:125-136.
- Monti, AJA, 2011. Evolución, impactos y proyecciones del proceso de balnearización del sistema médano-playa en Puerto Madryn, Chubut. *Resúmenes VIII Jornadas Patagónicas de Geografía, Comodoro Rivadavia*.
- Monti, AJA y A Bayarsky, 1996. Tendencias generales del transporte de sedimentos en la playa de Puerto Madryn, Chubut. *Actas de la VI Reunión Argentina de Sedimentología, Bahía Blanca*.
- Monti, AJA y A Escofet, 2009. Evolución del frente litoral urbanizado de Puerto Madryn (Chubut): un análisis de heterogeneidad orientado a la gestión de riesgos. *Segundo Congreso de Geografía de las Universidades Nacionales. Revista Huellas* 13. UNLP, Santa Rosa.
- Monti, AJA, M García y AM Raimondo, 2006. Corredor Costero de la Patagonia Norte: usos, actividades socioeconómicas y conflictos espaciales en ciudades con distinta jerarquía urbana. *Resúmenes VI Jornadas Nacionales de Ciencias del mar, Puerto Madryn*.
- Monti, AJA y S Lanza, 2003. Problemática ambiental y percepción social del riesgo costero en Playa Magagna, Chubut. *Resúmenes de las Quintas Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Mar del Plata*.
- Morton, RA, 1996. Geoindicators of coastal wetlands and shorelines. En: *Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in earth systems* (AR Berger y WJ Iams, eds.). AA Balkema, Rotterdam.
- Neimanis, V y A Kerr, 1996. Developing national environmental indicators. En: *Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in earth systems* (AR Berger y WJ Iams, eds.). AA Balkema, Rotterdam.
- OCDE, 1995. *Gestión de zonas costeras: políticas integradas*. Ediciones Mundiprensa, Madrid.
- Perelman, PE, 2011. Ciudades costeras turísticas argentinas. En: *Ciudad, Paisaje, Turismo. Frentes Urbanos Costeros* (JR Dadon, ed.). *Gestión de Espacios Costeros (GEC)*, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires; y Nobuko, Buenos Aires.
- Pierce, ARG, 1990. Rapid assessment of coastal zone management requirements: a case study from Arabian Gulf. *Ocean Shoreline Management* 13:1-19.
- Quintón Piegas, F, 1997. Manejo urbano costero en Caleta Olivia, Provincia de Santa Cruz. *Revista Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería* 11:168-187.
- Raimondo, AM, 2011. Usos y actividades en áreas costeras: heterogeneidad y complejidad en Villa Gesell y Puerto Madryn. En: *Ciudad, Paisaje, Turismo. Frentes Urbanos Costeros* (JR Dadon, ed.). *Gestión de Espacios Costeros (GEC)*, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires; y Nobuko, Buenos Aires.
- Raimondo, AM y AJA Monti, 2009. Usos y actividades como indicadores de heterogeneidad y complejidad costera en la Bahía de San Julián (Santa Cruz, Patagonia Argentina). *Actas del XII Encuentro de Geógrafos de América Latina. Universidad de la República, Montevideo*.
- Sorensen, JC, ST Mc Creary y A Brandani, 1992. *Costas: arreglos institucionales para manejar ambientes y recursos costeros*. United State Agency for International Development. International Coastal Resources Center, University of Rhode Island.
- Spalleti, L y M Mazzoni, 1979. Caracteres granulométricos de arenas de playa frontal, playa distal y médano del litoral bonaerense. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34(1):12-30.
- Vapñarsky C y N Gorojovsky, 1990. *El crecimiento urbano en la Argentina*. Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires.
- Young, RS, DM Bush, O Pilkey y WJ Neal, 1996. Evaluating shoreline change and associated risk from coastal hazard: an inexpensive qualitative approach. En: *Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in earth systems* (AR Berger y WJ Iams, eds.). AA Balkema, Rotterdam.
- Weiler, N y E Gómez Simes, 2005. Análisis ambiental de la zona de playa y médanos de la localidad de Puerto Madryn. *Provincia del Chubut, Argentina. Párrafos Geográficos* (4):190-206.

