

Análisis de riesgo de la zona costera del departamento de Canelones, Uruguay: la información geográfica como herramienta para la gestión del territorio

Guillermo D'Angelo*

Recibido el 27 de abril de 2017; aceptado el 16 de agosto de 2017

Abstract

Uruguayan coastal zones are an economic asset which produces relevant wealth to the whole national economy. In Uruguay a considerable part of the national and international tourism and its related activities, rely on coastal zones. They are a particular landscape, important from a cultural perspective, inhabited by a significant proportion of the country's population. Considering its geomorphological characteristics, coastal areas can be conceived as a vulnerable system. In particular in the Canelones Department (Uruguay), coastal zones, there are active cliffs, nearby housing and infrastructure with adverse effects on the landscape.

The objective of this work was to quantify the vulnerability of the coastal zones of Canelones Department and to develop a geographical information system methodology to assess this damage, based on physical variables, demographics, land values and infrastructure proximity. This methodology was developed in PostGIS, complemented with GRASS GIS and GDAL libraries for the generation and processing of raster information. The methodology is reproducible and can be adapted to different coastal zones depending on the available information.

Using this methodology we identified six zones at high risk: Fortín, Villa Argentina and Atlántida; Floresta and Costa Azul; Guazuvirá; San Luis and Los Titanes; Santa Lucía del Este; Cuchilla Alta.

Key words: *geographical information systems; vulnerability, coastal geomorphology.*

* Licenciado, Laboratorio de Estudios Socioterritoriales, Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Iguá 4225, 11400, Montevideo, Uruguay, correo electrónico: gdangelo@fcien.edu.uy

Resumo

A costa Uruguia é um recurso econômico, que gera importantes ativos para o país. A grande parte do turismo interno e internacional além das atividades econômicas relacionadas têm uma forte dependência dele. Além disso é uma paisagem singular, de grande importância cultural e perto localiza-se uma parte importante da população do país.

Se as questões já ditas sumamos as características geomorfológicas é possível pensar as costas como um sistema vulnerável. Particularmente as costas do Canelones apresentam zonas de barrancos ativos e em recuo, deixando em perigo as infra-estruturas, moradias e paisagens.

O objetivo deste trabalho foi quantificar a vulnerabilidade que apresentam as costas de Canelones, desenvolvendo uma metodologia um sistema de informação geográfica com dita finalidade, incorporando variáveis físicas, demográficas, o valor do solo e a proximidade as infra-estruturas. A metodologia foi implementada fundamentalmente em PostGIS, complementado com o software GRASS e as bibliotecas GDAL, utilizadas para o desenvolvimento e processamento da informação raster. Dependendo da disponibilidade de informação, a metodologia é adaptável a diferentes espaços costeiros.

Finalmente o resultado da metodologia permitiu identificar seis zonas de vulnerabilidade alta: El Fortín, Villa Argentina e Atlántida; Floresta Costa Azul; Guazuvirá; San Luis Los Titanes; Santa Lucía del Este, y Cuchilla Alta.

Palavra-chave: *sistemas de informação geográfica; vulnerabilidade; geomorfologia costeira.*

Resumen

Las costas uruguayas son un recurso económico, generador de importantes activos para el país. Gran parte del turismo interno e internacional así como las actividades económicas asociadas al mismo son fuertemente dependientes de dicho recurso. A su vez son un paisaje singular, de gran importancia cultural y en cuyas proximidades se asienta una parte significativa de la población del país. Si a las cualidades mencionadas adicionamos sus características geomorfológicas, las costas pueden ser pensadas como un sistema vulnerable. En particular las costas de Canelones presentan zonas con barrancas activas y en retroceso, poniendo en peligro infraestructuras, viviendas y paisajes.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar la vulnerabilidad a la cual se encuentran sometidas las costas de Canelones, desarrollando una metodología en un sistema de información geográfica con dicha finalidad, incorporando variables físicas, demográficas, el valor del suelo y la proximidad a infraestructuras. La metodología

se implementó fundamentalmente en PostGIS, complementando con el software GRASS y las librerías GDAL, utilizadas para la generación y procesamiento de información raster. En función de la disponibilidad de información, la metodología se puede adaptar a diferentes espacios costeros.

Como resultado de la aplicación de dicha metodología se identifican seis zonas de vulnerabilidad alta: El Fortín, Villa Argentina y Atlántida; Floresta y Costa Azul; Guazuvirá; San Luis Los Titanes; Santa Lucía del Este; Cuchilla Alta.

Palabras clave: *sistemas de información geográfica; vulnerabilidad; geomorfología costera.*

Introducción

Analizar el riesgo y la vulnerabilidad en la costa de Canelones es un tema relevante tanto desde el punto de vista social como desde el científico. Abordándolo desde el punto de vista social, es decir desde nuestra interpretación sobre aquellos aspectos que hacen de este tema un asunto importante para la sociedad, consideramos que la exposición de los espacios costeros a factores de riesgo afectan las posibilidades de su conservación, su atractivo, su valor económico y las infraestructuras y equipamientos con las cuales ese espacio cuenta. La costa de Canelones tiene un alto valor ya que la explotación de su atractivo turístico es una fuente de recursos importante para el departamento y para el país. Desde el punto de vista científico, nos parece importante generar una metodología para cuantificar el riesgo y la vulnerabilidad de los espacios costeros. Disponer de esa información es un insumo necesario para tomar medidas de mitigación, que atiendan los procesos de degradación que ocurren en aquellos “hot spots” o puntos de máxima vulnerabilidad.

En el apartado correspondiente a la metodología se explicitan los pasos seguidos para producir y manipular información, los geoprocursos realizados así como la operacionalización de las variables en el índice de vulnerabilidad. En el apartado de resultados se analizan seis zonas de alta vulnerabilidad identificadas *a posteriori* de la aplicación del índice. Finalmente, en el apartado de conclusiones se ponderan los resultados obtenidos y se plantean posibles líneas para profundizar el trabajo.

Área de estudio

El departamento de Canelones se ubica al sur del país, en las costas del Río de la Plata, rodeado por los departamentos de Montevideo al suroeste, San José al oeste, Florida al norte, y Lavalleja y Maldonado al este. Está habitado por 520,187 personas, siendo el segundo departamento más poblado luego de Montevideo, según datos del último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2011a).



Figura 1. Mapa general de Uruguay y el departamento de Canelones.

En los segmentos censales correspondientes a localidades definidas por el INE y ubicados en la costa viven 155,874 personas, aproximadamente el 30% de la población de todo el departamento.

Canelones tiene una línea de costa de aproximadamente 65 km de largo, casi el 10% de toda la costa uruguaya. La superficie total de Canelones es de 4,536 km² y la de sus localidades costeras es de 147 km² (INE, 2011a). La densidad de población del departamento es de aproximadamente 115 habitantes por km², mientras que en las localidades costeras es de 1,060 habitantes por km². En una superficie equivalente al 3.2% de todo el departamento vive el 30% de su población. Delimitando una faja costera de 500 metros de ancho hacia el continente, se genera un polígono con una superficie de 66 km², donde viven aproximadamente 70,000 habitantes, lo que representa el 1.4% de la superficie total y el 13% de la población, manteniendo la densidad calculada para las localidades costeras. De los datos mencionados se puede dimensionar el grado de concentración de población en zonas próximas a la costa,

fenómeno que no es exclusivo del departamento de Canelones, sino que también se da en mayor o menor medida en otros departamentos costeros.

Los espacios costeros constituyen zonas particularmente vulnerables, afectadas por fenómenos físicos particulares, con una geomorfología dinámica y a su vez una gran valorización social y económica. Casi un millón de personas vive en zonas costeras del país, y muchos las eligen como lugar de esparcimiento y recreación, lo cual, sumado al turismo internacional atraído por las playas del Uruguay, someten a los espacios costeros a fuertes presiones antrópicas, diferentes a las existentes sobre los espacios agrícolas o industriales. Se utiliza la expresión “espacios costeros”, para referirnos a la categoría geomorfológica “medio litoral”, definida por Javier de Pedraza como “aquella zona de interacción y tránsito entre ambientes acuáticos y terrestres (...)” (De Pedraza Gilsanz, 1996, p. 275).

Metodología

Mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIGs) se buscó resumir, en forma lo más automatizada posible, información relativa a áreas y geometrías de tipo punto, a lo largo de un segmento de costa. El objetivo de este procedimiento es similar al aplicado en la publicación *Análisis preliminar de la vulnerabilidad de la costa de Andalucía a la potencial subida del nivel del mar asociada al Cambio Climático* (Dirección General de Cambio Climático y Medio Ambiente Urbano, 2011). A diferencia del ejemplo citado, no se utilizan fajas perpendiculares a la línea de costa como territorios adyacentes, sino que se utilizan círculos, es decir *zonas buffer* alrededor de puntos situados a una distancia determinada a lo largo del segmento de costa.

El argumento subyacente en el abordaje actual y el realizado en la mencionada investigación sobre la costa andaluza, es que se entiende que la proximidad en el espacio determina la exposición a procesos físicos similares.

Se implementó una base de datos PostgreSQL con extensión PostGIS (PostGIS PSC, 2015), integrando los shapefiles y rasters a la misma. Mediante una consulta o “query” en lenguaje PostgreSQL se automatiza la construcción de geometrías según parámetros dados y a partir de ellas se calculan datos intersectando espacialmente la información vectorial con los rasters.

Dado que las pendientes y alturas son consideradas determinantes en la intensidad de los procesos erosivos así como en las geoformas que caracterizan la costa, se decidió incorporar dicha información mediante la construcción de un modelo digital de elevaciones. El Servicio Geográfico Militar uruguayo proporcionó las curvas de nivel de 2 m de equidistancia para la zona costera, vectorizadas a partir del Plan Nacional de Cartografía Urbana escala 1:10,000. Luego de una revisión bibliográfica sobre los diferentes métodos de interpolación, se constata que el más

apto incluido en una herramienta libre es el algoritmo *Regularized spline tension* (GRASS Development Team, 2014) del software GRASS GIS. Se aplica el mismo con las curvas de nivel como información de ingreso, obteniendo un modelo digital de elevaciones con una resolución espacial de 15 m.

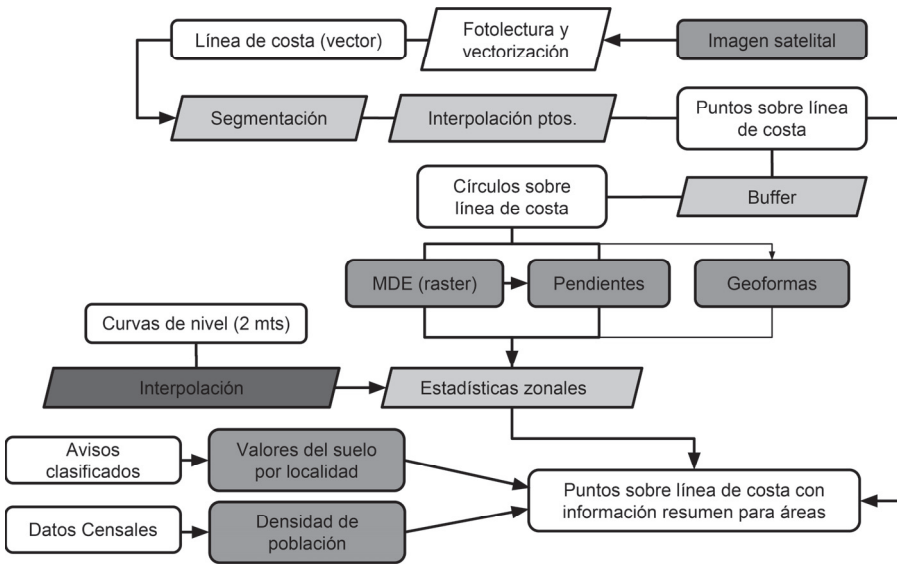


Figura 2. El esquema representa el modelado cartográfico de la metodología aplicada para llegar a los valores finales.

Posteriormente se traza en forma manual una nueva línea de costa vectorial a partir de las imágenes satelitales proporcionadas por Google (Google Maps, 2015) como forma de subsanar las imprecisiones y errores de la información vectorial de base con la que se contaba. Para el trazado se adoptó el siguiente criterio: “línea de costa estable” (límite entre la playa alta —*backshore*— duna costera —*foredune*— o bien la base del acantilado) siempre que fuese posible. Sólo cuando este límite fue imposible de interpretar se utilizó el criterio de “marca húmeda de la pleamar”. El criterio es el mismo utilizado en la investigación *Análisis preliminar de la vulnerabilidad (...)* (Dirección General de Cambio Climático y Medio Ambiente Urbano, 2011).

En lo que refiere a los valores del suelo, al carecer de datos sobre los mismos, se procedió a producirlos a través de información secundaria. Una fuente posible para acceder a información primaria sobre el tema podrían ser los registros de las transacciones inmobiliarias, es decir los montos y los números de los padrones asociados en determinado corte temporal. Sin embargo esa información es

confidencial, por lo cual se optó por una fuente alternativa, en este caso los avisos clasificados anunciando ofertas de venta de inmuebles (“Alquiler y venta de inmuebles”, 2015). Esta información se resume por localidad y luego se puede unir con los polígonos de localidades. Se relevaron los precios y superficie de inmuebles y terrenos no edificados en 2,455 avisos clasificados de venta de bienes raíces, abarcando 34 localidades costeras. Con esta información se pudo calcular el promedio de valor del metro cuadrado por localidad. Todo el procesamiento se realizó en software R (R Core Team, 2015).

Para dar cuenta de la densidad de población, entendiendo que es un factor a tomar en cuenta para la determinación de la vulnerabilidad, se siguieron los criterios aplicados para incorporar el valor del suelo, ya que se utiliza el dato resumido a la misma unidad espacial (localidades INE).

Otro factor que necesariamente debe ser ponderado en el índice es la proximidad de las infraestructuras, debido a que es uno de los principales activos en riesgo. Cuánto más próximas a la línea de costa estén, dependiendo también de la geomorfología, mayor será el riesgo en el que se encuentran. Partiendo de información vectorial descargada de Open Street Map¹ en formato shapefile, luego de validarla y corregirla contra las imágenes satelitales disponibles, se integró a la base de datos geográfica. Dado que las infraestructuras más cercanas a la costa son caminos y calles, se seleccionó únicamente esta categoría de entidades para el análisis, la cual funciona como “proxy” de otras construcciones (en la costa de Canelones prácticamente no existen viviendas sin una calle para permitir el acceso). Para cada punto se identificó el otro punto más cercano dentro de las geometrías de calles y se midió la distancia euclidiana que los separa, introduciendo los valores en la capa resumen (todas las operaciones se realizaron en forma automatizada).

Para la operacionalización de los indicadores normalizados se aplicó la misma modalidad aplicada en el Coastal Vulnerability Index (Pendleton, Thieler and Williams, 2010). En el caso de la distancia a infraestructuras se toma el valor $(1-d)$, donde d es la distancia a la infraestructura normalizada; esta operación tiene como finalidad ponderar correctamente el indicador, ya que cuanto más cerca de la línea de costa o sea cuanto menor sea la distancia, mayor el riesgo.

La operacionalización quedó formulada de la siguiente manera:

$$\text{Indice} = \left(\sqrt{\frac{h.p.g.(1-d)}{4}} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{IVS.den}{2}} \right) = \sqrt{\frac{h.p.g.(1-d).IVS.den}{8}}$$

¹ Open Street Map es un mapa web colaborativo y libre, se pueden dergar datos de diferentes territorios en el siguiente vínculo: <<http://download.geofabrik.de/>>.

Dónde:

h = valor promedio normalizado de alturas dentro del buffer

P = valor promedio normalizado de pendientes, como porcentaje, dentro del buffer

G = valor promedio de la geoforma según categorización, ponderado por el área ocupada dentro del buffer

D = distancia normalizada a la infraestructura más cercana.

Luego se incorporan los datos de valor del suelo a través del *IVS*, y los datos de densidad de población.

Como complemento al procesamiento informático de información cuantitativa, se realizaron dos entrevistas, la primera fue a la doctora Filomena Cardoso Martins, *Professora Associada* del *Departamento de Ambiente e Ordenamento* de la *Universidade de Aveiro*, Portugal. La doctora Martins es una académica experta en riesgos costeros, con gran formación y experiencia en el tema. La segunda entrevista fue al ingeniero Agr. Gerardo Vanerio y al profesor Juan Carbajal, ambos forman parte de la Dirección General de Gestión Ambiental de la Intendencia de Canelones.²

Resultados

Luego del cálculo del índice 1, el cual se centra en indicadores de vulnerabilidad física, se clasificó la información de los 130 puntos en quintiles de 26 puntos cada uno, usando QGIS (QGIS Development Team, 2016). Se identificaron seis zonas de alta vulnerabilidad. Incorporando la densidad de población y el *IVS*, se mantienen las mismas zonas que surgen como vulnerables aplicando el índice exclusivamente físico, aunque existen algunas diferencias. La “Ciudad de la Costa” presenta mayores valores del índice en general, y particularmente altos en las localidades de Lomas de Solymar y El Pinar. Los altos valores del suelo y la gran densidad de población determinan estos resultados. A su vez, se puede distinguir una reducción de los valores hacia el este del departamento, en las siguientes localidades: El Galeón, Santa Ana, Balneario Argentino y Jaureguiberry.

- *Zona 1. El Fortín, Villa Argentina y Atlántida*: presenta una zona de barrancas activas y una playa con poca arena situada aproximadamente a lo largo de un kilómetro al oeste de Villa Argentina, sin infraestructuras o viviendas en riesgo. Sobre Villa Argentina se encuentra la conocida zona de “El Águila”. El área de dicha construcción se ha estabilizado mediante la colocación de gaviones en la barranca, debajo de la construcción (Goso *et al.*, 2014), sin embargo a su alrededor sigue habiendo zonas en riesgo. Presenta barrancas activas, con

² Las intendencias corresponden al segundo nivel de gobierno del Uruguay, los gobiernos departamentales.

infraestructuras cercanas en riesgo; los espigones retienen poca arena en la base del barranco. Hacia la zona de Atlántida, cambia de un barranco en retroceso a uno intervenido.

- *Zona 2. La Floresta y Costa Azul:* la zona oeste del balneario La Floresta presenta barrancos muy activos, en donde el retroceso del mismo ha afectado infraestructuras y amenaza con afectar viviendas. Los espigones no retienen arena en su inicio, al no extenderse hasta la base barranco (son llamados “espigones descalzos” en el artículo “Vulnerabilidades geoambientales de la costa del departamento de Canelones” (Goso *et al.*, 2014) y “espigones socavados” en el “Estudio de la zona costera de La Floresta” realizado por el Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental —IMFIA, 2008). Como medidas de mitigación “blandas” se ha implantado vegetación en la base del barranco y se han colocado restos de poda, con el objetivo de retención de arena cual cercas captoras.



Figura 3. Fotografía de espigón socavado, no cumple su función original, retener arena transportada por la deriva litoral, ni evita el retroceso del barranco.

El caso de La Floresta preocupa a las autoridades locales y a los vecinos, quienes son conscientes del riesgo al que están expuestas sus propiedades (“Malestar en La Floresta por situación de playas”, s.f.) y (“La Floresta busca soluciones (...)”, s.f.). Se han realizado consultorías para encontrar una solución al problema (IMFIA, 2008), y para evaluar el impacto ambiental de dichas soluciones (INCOIV, 2013). En particular, con colocación de un rompeolas de geotubo entre algunos espigones, con el objetivo de disipar la energía de la ola antes de que llegue a la costa y de generar punto subacuático para retener arena, según el modelo aplicado se espera la posible formación de una saliente o de un tómbolo (según la disponibilidad de arena en el sistema). Sumado a esto se propone reparar los espigones socavados.

La playa de Costa Azul también presenta altos valores en el índice, aunque derivados de la altura y pendiente que existe en el lugar. No hay barrancas en retroceso, sino un área estabilizada por la vegetación.



Figura 4. Barranca activa en Costa Azul, La Floresta.

- *Zona 3. Guazuvirá:* en el balneario Guazuvirá hay escaso desarrollo urbano y por ende muy baja densidad de población. Se puede ver un pequeño barranco hacia el este, moderadamente activo. Aunque la playa consta de poca arena, la vegetación parece estabilizar algunas zonas de barranco, evitando un grado de retroceso más intenso.
- *Zona 4. San Luis y Los Titanes:* el balneario San Luis presenta barrancos activos hacia el oeste, cercanos al arroyo Del Bagre. En La zona sin urbanizar entre San Luis y Los Titanes existe un barranco activo pequeño.
- *Zona 5. Santa Lucía del Este:* presenta barrancos activos, aunque muy levemente. La altura de la zona, y por ende las pendientes acentuadas determinan principalmente los resultados del índice.
- *Zona 6. Cuchilla Alta:* el balneario Cuchilla Alta no presenta barrancos activos. La zona de afloramientos rocosos determinó altos valores en el índice, derivados de los datos alturas y pendientes, sin embargo la geología de la zona indica que es un lugar de bajo riesgo. Hacia el oeste, coincidiendo con el balneario Biarritz, se encuentran barrancos activos, aunque forestados y sin infraestructuras cerca.

A partir de los datos obtenidos por la aplicación del índice, el contraste con la bibliografía especializada y las entrevistas realizadas podemos profundizar en el análisis de la vulnerabilidad costera en el departamento. El primer factor a tener en

cuenta para esbozar una evolución histórica de los factores de vulnerabilidad es la fijación de los campos dunares que componían el paisaje de la costa de Canelones mediante la implantación de vegetación y forestación, modificando el ciclo de la arena de la zona. Dicho proceso de antropización fue el primer paso hacia la posterior urbanización (parcelamiento, trazado de calles, construcción de viviendas e infraestructura, etc.), es decir un proceso de antropización de mayor intensidad. A su vez, nos referimos a una urbanización no planificada y sin criterios explícitos de ordenamiento territorial. Estas circunstancias consolidan una situación de vulnerabilidad que en términos del geógrafo Allan Lavell podemos calificar como un “mal desarrollo”, un desarrollo que consolida las vulnerabilidades (Lavell, *s.f.*). A lo mencionado se suma la preferencia de una parte de la población por los lugares próximos a la costa, asociados al valor cultural de la misma.

A pesar de lo mencionado, actualmente no existe evidencia suficiente ni consenso en el ámbito académico como para afirmar que los procesos erosivos en la costa de Canelones tengan origen en factores antrópicos o sean exclusivamente procesos de la dinámica costera que ocurrirían aún sin la intervención humana del paisaje, aunque es probable que ambos factores sean determinantes.

Con posterioridad a la consolidación de la situación de vulnerabilidad debida a la urbanización de la zona costera junto con el retroceso de barrancos y la pérdida de arena en las playas, como en el caso de La Floresta, comenzaron los intentos de mitigación de tipo ingenieril, en este caso los espigones. No hay estudios que permitan discernir si los espigones funcionaron para retardar el retroceso del barranco o sí, contrariamente lo esperado por los gobiernos que los construyeron, aceleraron los procesos erosivos. Actualmente, en el caso de La Floresta, los espigones no protegen la base del barranco, especialmente durante eventos extremos de tormenta, cuando la creciente puede derivar en remoción de arena por detrás del espigón y destrucción de vegetación protectora.

Vale destacar la utilidad de la metodología planteada, aun teniendo en cuenta que los resultados coinciden con otros aportes recabados en la revisión bibliográfica (Goso, *op. cit.*). También es preciso mencionar que los resultados son innovadores en tanto no existen aportes sistemáticos para la cuantificación de la vulnerabilidad costera de Canelones; sí existe una investigación centrada solo en la costá atlántica, pero el método de la clasificación de la vulnerabilidad es cualitativo, basado en la geomorfología, técnicas de fotolectura y observación en campo (Alvez, 2011). En el mismo sentido, consideramos que el índice aplicado resulta una forma apropiada de operacionalizar el concepto de vulnerabilidad.

La posibilidad de aplicación a escala departamental y la facilidad con que se podría “escalar” la metodología para aplicarla a nivel nacional o regional, sostienen la afirmación anterior. Producir información a esa escala con otros métodos

(entrevistas a informantes calificados, observación en campo) es más costoso en el sentido amplio que la propuesta metodológica realizada.

Conclusión y posibilidades de desarrollo a futuro

Consideramos que el presente trabajo logra su objetivo general, analizar y cuantificar el riesgo y la vulnerabilidad en la zona costera del departamento de Canelones, a pesar de las limitantes que presenta la información de base. Se desarrolló una metodología en SIG, con fuerte énfasis en PostGIS aunque incluyendo otras herramientas, procurando la máxima automatización posible del procesamiento. La metodología desarrollada y aplicada facilitó el abordaje del problema desde su espacialidad.

A modo de conclusión general, vale destacar como fundamental el uso de tecnologías de la información geográfica para hacer análisis espacial de la vulnerabilidad. Realizar el presente trabajo sin dichas tecnologías no hubiera sido posible. En particular el uso de los SIGs, las bases de datos geográficas, las imágenes satelitales y fotos aéreas se vuelven imprescindibles al momento de trabajar con grandes volúmenes de información e intentar operar con ella. Tanto más si la escala geográfica del trabajo es pequeña, es decir se abarcan espacios geográficos considerables como departamentos o estados. En este caso, para una escala departamental, resultaron fundamentales.

En lo que refiere al desarrollo en PostGIS destacamos que es una herramienta de gran utilidad, dado que se tuvo que revisar constantemente el geo-procesamiento, yendo sistemáticamente del inicio al final, para realizar ajustes y cambios importantes. Es recomendable buscar este tipo de soluciones ya que permite realizar correcciones que de otro modo serían muy costosas para el proceso de trabajo.

Producto de la entrevista realizada a la doctora Filomena Martins se puede concluir que es necesario profundizar en la percepción social de los riesgos que recaen sobre la población costera, así como utilizar esta información tanto para el ordenamiento territorial como para generar estrategias de divulgación sobre el tema. Finalmente, a partir de la entrevista realizada al ingeniero Gerardo Vanerio se destaca la pertinencia de la temática, la necesidad de criterios técnicos para planificar la mitigación, de inversión pública tanto en infraestructuras de mitigación, investigación, gestión y políticas de ordenamiento territorial específicas.

El presente trabajo cuenta con algunos aspectos que podrían ser profundizados a futuro. En primer lugar se podría aportar más información vectorizando la línea de costa en tiempo pasado y comparándola con la línea de costa actual. Así se podría llegar a un índice de la tasa de cambio de la línea de costa, similar al proceso realizado en la investigación sobre la costa de Andalucía citada anteriormente (Méndez y López, 2010). De esa forma se incorporaría otro indicador relevante al índice,

especialmente considerando la variación de las desembocaduras de los cursos de agua.

En segundo lugar, en lo que respecta a los valores del suelo, se podrían tomar algunas iniciativas para mejorar la calidad del dato, por ejemplo aplicar la misma técnica pero durante un lapso temporal más extenso.

En lo que refiere al MDE, se hace necesario contar con relevamientos más precisos y constantes en el tiempo en la zona de barrancos. Se podría utilizar tecnología LIDAR para generar un modelo digital de terreno de mayor precisión; aunque dicha tecnología es costosa, se está abaratando por el uso de drones fotogramétricos.

Para mejorar el abordaje de la geomorfología, se podrían delimitar unidades geomorfológicas más detalladas, acotadas exclusivamente a la zona costera. Contar con esa información permitiría llegar a un resultado de mayor precisión, que pondere las particularidades del espacio costero a una escala mayor.

Introducirse en aspectos sociales, asociando la percepción social de los riesgos costeros con los instrumentos de ordenamiento territorial, las intervenciones por parte de los diferentes niveles de gobierno y las visiones que los pobladores tienen sobre los problemas de la costa, es necesario para planificar intervenciones tendientes a minimizar la vulnerabilidad. A su vez, acudir a metodologías propias de las tecnologías de la información geográfica para procesar datos de diferentes fuentes posibilita acercarse más y mejor a la evaluación de la vulnerabilidad, y por consiguiente al riesgo que afecta un territorio tan complejo como es la zona costera.

Agradecimientos

Gracias a Elena Vasilskis y Carlos Acosta por su asistencia en la redacción de este artículo.

Bibliografía

- Alvez, M.D.C. (2011). *Aspectos geomorfológicos de la costa atlántica uruguaya*, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- D'Angelo, G. (2016). "Análisis de riesgo de la zona costera de Canelones", Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Disponible en: <<http://www.bib.fcien.edu.uy/files/etd/pasan/uy24-18286.pdf>>.
- De Pedraza Gilsanz, J., *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*, Rueda, Madrid, 1996.
- Dirección General de Cambio Climático y Medio Ambiente Urbano (Ed.). *Análisis preliminar de la vulnerabilidad de la costa de Andalucía a la potencial subida del nivel del mar asociada al Cambio Climático*, Sevilla, 2011.
- Goso, C.; Faure, J.; Pratto, D.; Barreto, L.; Picchi, D.; Scaglia *et. al.*, "Vulnerabilidades geoambientales de la costa del departamento de Canelones",

- en *Problemática de los ambientes costeros. Sur de Brasil, Uruguay y Argentina*, pp. 173-196, Montevideo, 2011, 400 p.
- GRASS Development Team, "GRASS GIS manual: v.surf.rst". Recuperado 10 de diciembre de 2015, a partir de <<https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/v.surf.rst.html>>.
- IMFIA, *Estudio de la zona costera de La Floresta*, 2008.
- INCOCIV, *Obras de Recuperación del Arco de Playa en el balneario La Floresta*, 2013.
- INE. (2011a). Censo 2011. Recuperado a partir de <<http://www.ine.gub.uy/censos2011/resultadosfinales/canelones.html>>.
- INE. (2011b). Microdatos Censo 2011. Recuperado a partir de <<http://www.ine.gub.uy/censos2011/microdatos/micromacro.html>>
- Lavell, A. (s.f.), "Desarrollo y prevención de desastres". Recuperado a partir de: <<http://www.flacoandes.edu.ec/biblio/catalog/resGet.php?resId=24706>>.
- Mandelbrot, B., "How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension", *Science*, vol. 156, núm. 3775, pp. 636-638, 1967.
- Méndez, R., y López, C., "Evaluación de exactitud vertical comparativa entre el ASTER GDEM y el MDT del Conjunto de Datos Provisorios" en *AGESIC (Ed.), I Congreso Uruguayo de Infraestructura de Datos Espaciales*, pp. 268-274, Montevideo, 2011, p. 350.
- MINTUR, *Anuario 2015. Estadísticas de turismo*, 2015.
- Pendleton, E.A.; Thieler, E.R., and Williams, S.J., "Importance of Coastal Change Variables in Determining Vulnerability to Sea- and Lake-Level Change" en *Journal of Coastal Research*, no. 261, pp. 176-183. <<https://doi.org/10.2112/08-1102.1,2010>>.
- QGIS Development Team. (2016). QGIS Geographic Information System (Versión 2.14). Open Source Geospatial Foundation. Recuperado a partir de <<http://qgis.osgeo.org>>.
- R Core Team, "R: A Language and Environment for Statistical Computing". R Foundation for Statistical Computing". Recuperado a partir de <<https://www.R-project.org>>, 2015.