

La vegetación en la evolución de playas arenosas. El caso de la costa uruguaya.

D. Panario, O. Gutiérrez

UNCIEP (Unidad de Ciencias de la Epigénesis), Facultad de Ciencias - Universidad de la República, Iguá 4225, piso 11, Montevideo - Uruguay.

Se analizan las relaciones entre la vegetación y la conservación-degradación de playas en Uruguay, sistematizándose los principales efectos que la misma produce en estos ambientes, y las formas de cuantificarlos. En particular se analizan los efectos de la introducción de especies forestales exóticas sobre el ciclo de la arena y sus consecuencias sobre los procesos de erosión de playas, así como los efectos recíprocos que el déficit de arena produce al permitir la colonización de playas por macrófitas.

Introducción

Las relaciones entre la vegetación y los ambientes de playa son un tema de estudio en la recuperación de ambientes degradados, pero a nuestro juicio, ha sido insuficientemente jerarquizado para explicar variaciones a mediano plazo de la línea de costa.

En el marco de un relevamiento y diagnóstico de la costa uruguaya, se propone que una de las forzantes fundamentales de sus modificaciones, puede ser atribuida a cambios en la cobertura vegetal: a) degradación de la vegetación herbácea del cordón dunar, b) forestación indiscriminada con especies exóticas de los campos dunares, y la consecuente aparición de especies forestales invasoras, y c) invasión de especies nativas de la playa subacuática y/o subaérea por déficit en la circulación de arena en el sistema.

Caracterización de la costa uruguaya

La costa uruguaya es caracterizable como de ambientes dominados por las olas, que constituyen mayoritariamente playas arenosas. Se extiende por aproximadamente 700 km (precisión de escala 1:500.000) entre la desembocadura del Río Negro y el límite con Brasil. Esta franja costera, en su condición original, suele estar asociada a ambientes de dunas activas o con cobertura de vegetación rala. Sus playas desde el punto de vista dinámico, pueden caracterizarse como en equilibrio inestable, es decir que depende de que el ingreso de sedimentos (arena), sea equivalente al egreso por deriva litoral.

La observación de las profundas modificaciones en sus playas llevó al equipo a estudiar, desde fines de la década de 1980, los procesos que pudieran explicar este comportamiento, para deslindar causas naturales de efectos antrópicos derivados de la ausencia de normativa. La misma fue promulgada tardíamente, y a su vez es insuficiente para la correcta preservación del ambiente, por desconocimiento del legislador de las forzantes del sistema costero, pero además esta legislación ha sido ineficazmente aplicada.

El Artículo 153 del Código de Aguas (Ley No 14.859; modificado por el Artículo 193 de la Ley 15.903 de 1987) establece una 'faja de defensa de la rivera del Océano Atlántico, el Río de la Plata, el Río Uruguay y la Laguna Merín, para evitar modificaciones perjudiciales a su configuración y estructura.' El ancho de esta faja es de 250 metros, medidos hacia el interior del territorio a partir del límite superior de la ribera. Esta faja de defensa de costas se ve interrumpida en la mayoría de la extensión costera del Uruguay por rutas y costaneras, lo que significa según la Ley, que la faja de defensa se extenderá solamente hasta estas vías de comunicación.

Básicamente, la naturaleza jurídica de la faja de defensa de costas es considerada una limitación al derecho de propiedad y exige al propietario pedir autorización para poder realizar cualquier acción que modifique su configuración. A esto se le suma que se requiere de un estudio de impacto ambiental antes que pueda otorgarse la autorización.

Dada la escasez de estudios científicos previos, el equipo comenzó haciendo un relevamiento de situaciones, tomando extensas áreas de ambientes representativos de la costa uruguaya (**Fig. 1**):

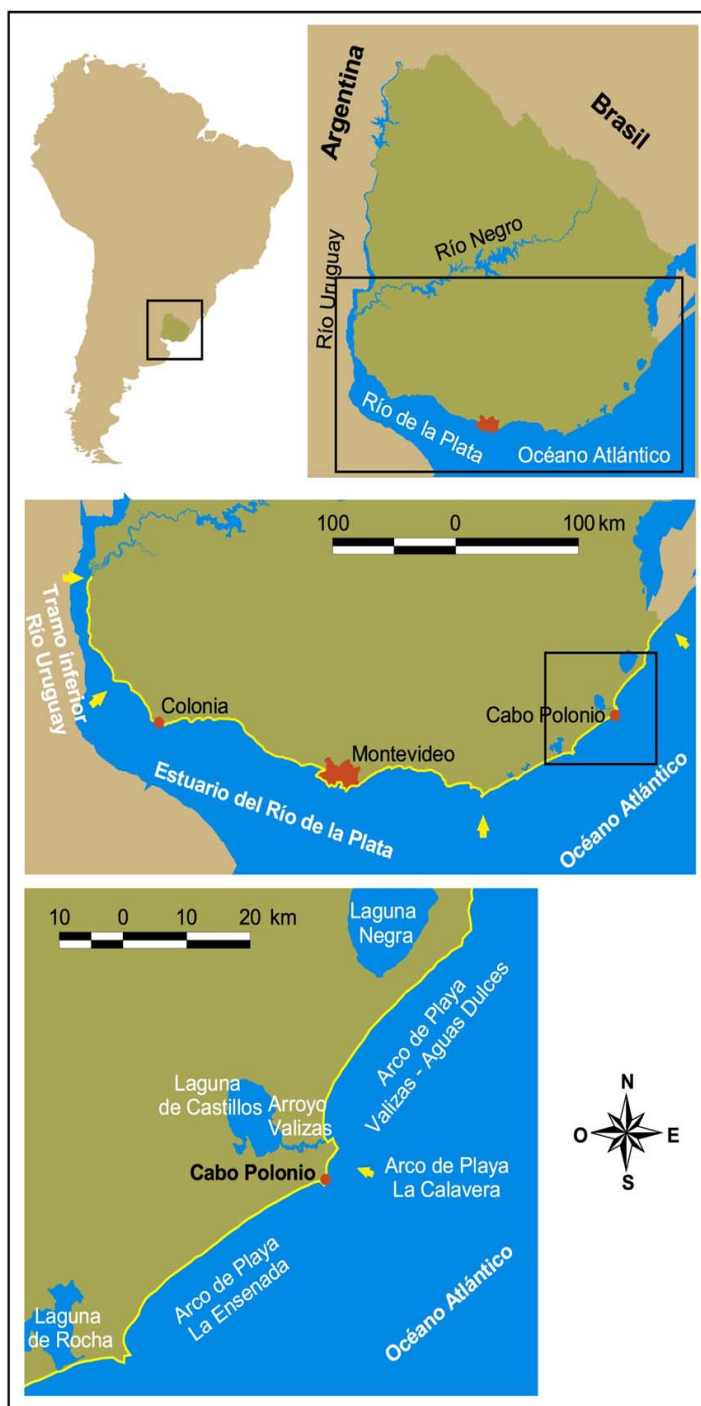


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. En la cartografía se ve la distribución de los ambientes representativos de la costa uruguaya, y en particular, la ubicación de los arcos de playa vinculados al Cabo Polonio.

Ambientes micromareales: Costa del Océano Atlántico, constituida mayoritariamente por ambientes de alta energía, conformando arcos entre puntas rocosas con playas mayoritariamente reflectivas. Arcos de playa del estuario exterior y medio del Río de la Plata, con ambientes de menor energía y playas más disipativas. Playas del estuario interior, de baja energía y disipativas.

Ambientes de olas y crecientes fluviales: El curso inferior del Río Uruguay se incluye por tratarse de playas de ambiente de oleaje y no como podría esperarse, de playas de dinámica fluvial. En efecto, el tramo inferior del Río Uruguay por tener una superficie de espejo de agua expuesto a los fuertes vientos del SW por decenas de kilómetros, y con corrientes fluviales de muy baja competencia, son ambientes dominados por olas de vientos locales.

Para el estudio se eligieron sectores con fuertes interacciones que abarcaran extensas longitudes de playas, como los arcos de costa atlántica a ambos lados del Cabo Polonio, constituyendo una unidad funcional claramente delimitable, luego se estudiaron sitios donde existía información histórica precisa incluyendo todos los sectores de la costa caracterizados por su identidad en relación a procesos geomorfológicos y finalmente, algunos arcos de playa como respuesta a reclamos de la sociedad civil por entender que se estaban degradando.

En la mayoría de los arcos de playa estudiados, se constataron retrocesos de la línea de costa del entorno de los 50 cm/año (1). En el denominado estuario interior del Río de la Plata y costa del Río Uruguay, a la erosión de la línea de costa se le suma en forma creciente, la instalación de macrófitas enraizadas en la estrecha planicie intermareal y playa subacuática, y en el caso particular del Río Uruguay, en algunos casos la propia playa es poblada por vegetación riparia. Estos procesos se desencadenan a partir de la década de 1970; y son atribuibles al déficit de arena circulante en el sistema, vinculable a su continua extracción, desde el siglo XIX.

El resto de los procesos degradativos, ocurrieron mayoritariamente como resultado de la forestación con especies exóticas (pinos, eucaliptos y acacias) de los sistemas dunares, a partir de la década de 1940, período en que se comenzó a forestar agresivamente estos ambientes, para controlar la invasión de campos de pastoreo por dunas transgresivas, y luego se extendió como condición previa que permitiera la urbanización.

Es de destacar que las modificaciones en ecosistemas de playas suelen ser procesos multicausales, en los que suelen estar presentes las causas naturales, a las que pueden sumarse o no, procesos inducidos por actividades humanas. A su vez, están sujetos a fluctuaciones anuales, decadales y centenales, y modificaciones tendenciales resultado de diferentes forzantes actuales como las descritas, y las atribuibles al cambio global, y/o a inercias de un pasado más o menos pretérito que continúa influyendo en nuestros días.

Efectos localizados de la forestación

Las playas se caracterizan por la ausencia de vegetación, ello se explica en parte por la reclasificación de materiales que producen las olas; en efecto, los materiales de menor peso o densidad (como las semillas) no consiguen alcanzar el fondo entre olas sucesivas y son retirados en suspensión de la playa (Silvester y Shu, 1993). Además, la intensa dinámica sedimentaria de estos ambientes, contribuye a impedir el establecimiento de alguna semilla que hubiera podido germinar en periodos de calma.

Hacia el continente, en la medida en que las olas de tormenta alcanzan con menor frecuencia un sitio determinado, comienza a instalarse en él vegetación herbácea (por ejemplo *Panicum racemosum*), que al disminuir la velocidad del viento, propicia la acumulación de arena, conformando un cordón sólo discontinuado por la salida de vías de drenaje. Su altura está dada por el equilibrio entre la velocidad del viento (que se incrementa logarítmicamente con la altura) y su amortiguación por la vegetación. Estas fuerzas contrapuestas dan por resultado una duna de altura homogénea y a una distancia del mar característica de cada ambiente de playa.

Las relaciones entre el cordón dunar y la estabilidad de la costa son conocidas y utilizadas para restaurar playas. En efecto, cuando la ola de tormenta alcanza el cordón dunar, este se desmorona generando un frente vertical, el volumen de arena desmoronado ¿satura? la corriente de resaca, que ha perdido capacidad de carga, al haberse infiltrado parcialmente en la arena. La siguiente ola, encontrará una pendiente más fuerte y requerirá mayor energía para alcanzar la duna, con lo cual dejará de alcanzarla a menos que la energía continúe en aumento. Con el tiempo, el viento tornará a reconstruirla restableciéndose el equilibrio en el mismo sitio, o próximo a él.

Sin embargo, otras interacciones playa-vegetación han sido menos estudiadas, y son fundamentales para entender los cambios producidos. El tránsito de vehículos o personas ha sido suficiente, en muchos casos, para degradar la vegetación, con la consecuente destrucción (total o parcial) del cordón dunar. Cuando por detrás existen antiguos acantilados, la ola los alcanza provocando efectos similares a los de costaneras o edificios (**Fig. 2**).



Figura 2. En el Balneario Las Vegas (cercano a Montevideo), se ejemplifica como eliminado el cordón dunar por efecto indirecto de la forestación, se produce el retroceso de la línea de costa, el cual intentó ser paliado con la construcción de espigones, que agravaron el proceso. Por detrás, la costanera comienza a desmoronarse. (Fotografía: Dr. Augusto Pérez Alberti).

Son múltiples los factores que han afectado este amortiguador en la costa uruguaya, quizás el más frecuente haya sido la construcción de viviendas o rutas costaneras, sobre o próximas al cordón dunar. En efecto, si el mar alcanza una estructura de este tipo, la resaca de la ola retirará la arena, dejando una playa húmeda sobre la que el viento ya no puede reconstruir la duna.

El efecto sobre las dunas

Según la cartografía y documentación dejada por naturalistas que arribaron a estas costas a partir del siglo XVIII, por detrás de las playas existían extensos campos de dunas activas, sin vegetación arbórea de cierto porte, lo que es confirmado por fotografías aéreas de la década de 1940 (**Fig. 3 y 4**). Seguramente contribuyó a ello la inexistencia de vegetación adaptada a sobrevivir a los fuertes vientos del SW, S y SSE con velocidades que superan los 80 km/hora, durante al menos el 1% del año (Panario y Piñeiro, 1997), fuertemente cargados de aerosol salino. La poca vegetación arbórea nativa existente en la proximidad de la costa, aunque en algunos casos con potencial para alcanzar varios metros de altura, sólo se desarrolla algunos decímetros, presentando su copa acuñada hacia el mar.

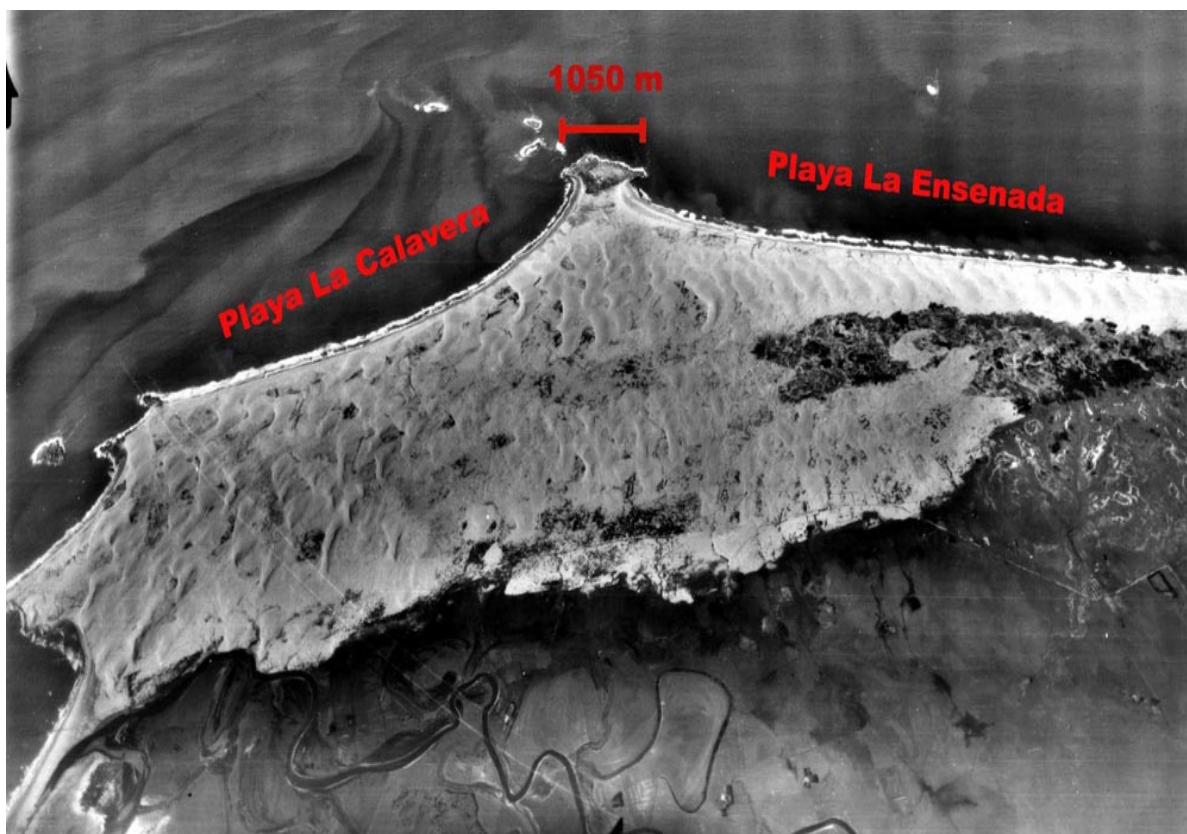


Figura 3. Aerofotografía oblicua del vuelo Trimetrogón, año 1943, en ella puede observarse el amplio tren de dunas que cubre el área por detrás del Cabo Polonio. Para dar una idea de magnitud, se indica el ancho máximo del tómbolo rocoso de aproximadamente un kilómetro. (Aerofotografía del Servicio Geográfico Militar, Uruguay).

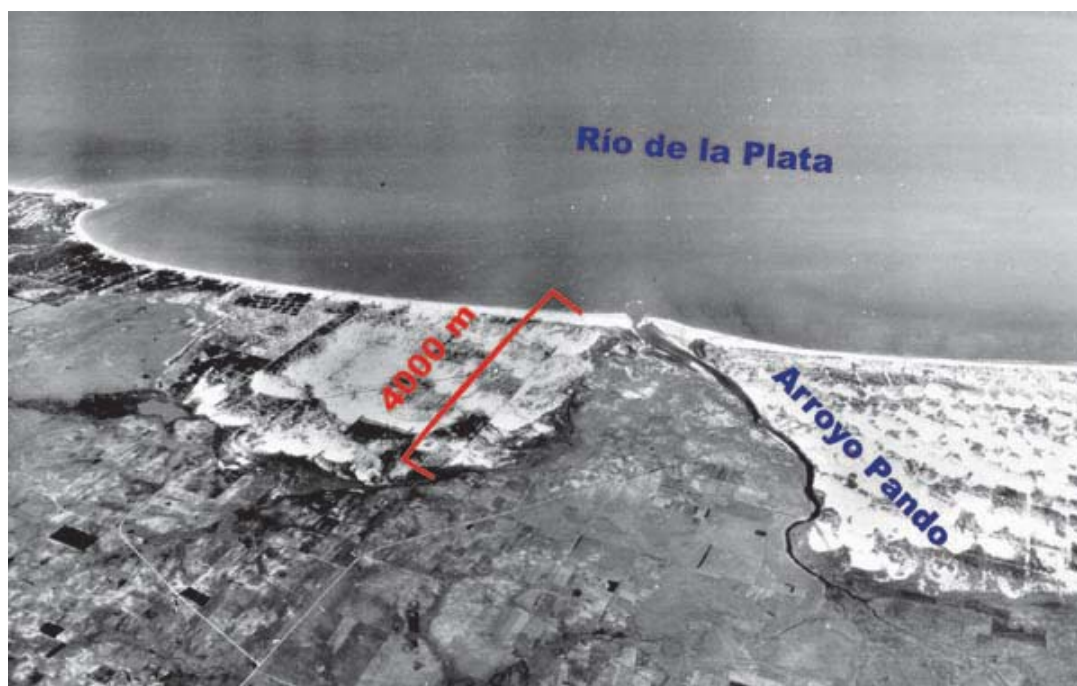


Figura 4. Otra vista aérea oblicua del año 1943, donde se aprecian los campos dunares en la desembocadura del Arroyo Pando. En ella se indica con línea roja una medida de referencia, para dar idea de tamaño. (Aerofotografía del Servicio Geográfico Militar, Uruguay).

La constatación del éxito de las implantaciones forestales y el comienzo de la actividad recreativa sobre la faja costera, intensificó la forestación de las dunas como forma de mejorar el valor inmobiliario de las tierras que hasta la fecha aparecían como improductivas (Lombardi, 1982) (**Fig. 5**). Para facilitar esta operación, se introdujo otra especie que funcionaba como nodriza de la plantación de pinos, la *Acacia trinervis*, la que se naturalizó rápidamente consiguiendo en zonas del estuario medio, colonizar incluso el propio cordón dunar, con el consiguiente resultado de destrucción del mismo al impedir su regeneración tras las tormentas. En efecto, la vegetación arbórea produce una acción de amortiguación o "anteparo" al viento, que impide que la arena eólica alcance el cordón dunar, en tanto no impide que sea alcanzado por las olas.

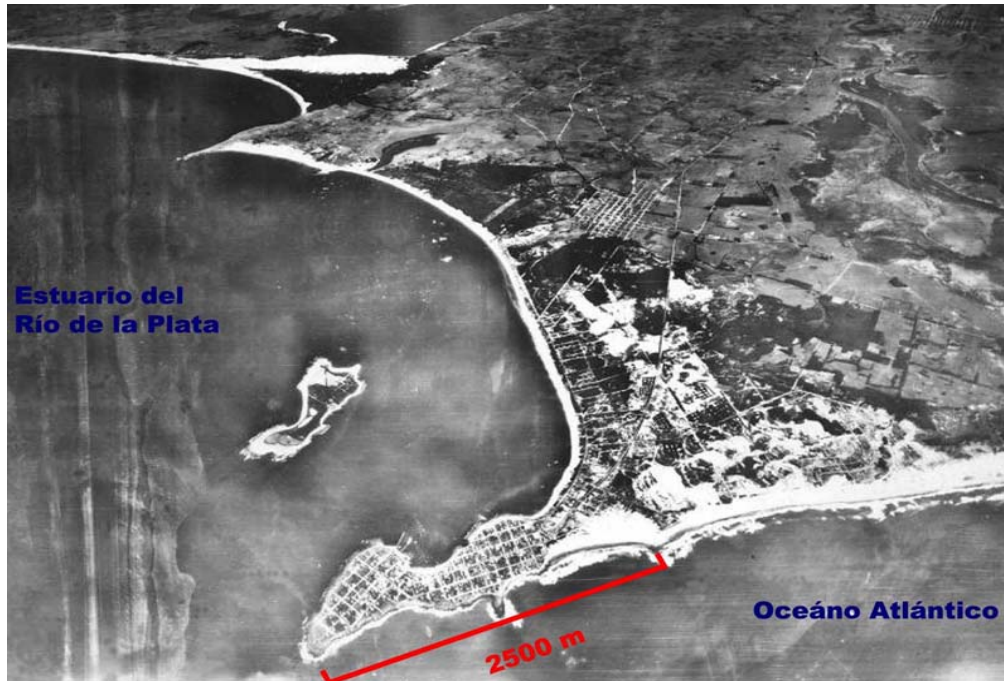


Figura 5. Vista panorámica de Punta del Este en el año 1943. Esta península es el límite este del estuario del Río de la Plata. La línea roja indica el largo de la misma como referencia de tamaño de los campos de dunas, que en este sitio ya comenzaban a ser fijados con forestación con especies exóticas (pinos para esta zona), preparándolos para la posterior urbanización. (Aerofotografía del Servicio Geográfico Militar, Uruguay).

Un ejemplo de sinergia negativa: El Cabo Polonio

La zona conocida como Cabo Polonio (2), por haber sido el último gran sistema dunar activo de la costa uruguaya, permitió a partir de su análisis hacer un pronóstico de evolución futura, y finalmente comprobarlo tras 19 años de seguimiento.

El Cabo Polonio es un tómbolo por detrás del cual se extiende un campo de dunas móviles de estructura barjanoide de unos 25 km², que se desplazan de SW a NE impulsadas por los fuertes vientos de esa dirección. Los arcos de playa que se extienden al norte y sur de dicho sistema abarcan 92 kilómetros de playas que representan el 45% de las de la costa atlántica.

En la década de 1940, el Estado comenzó la forestación de dunas transgresivas que avanzaban sobre la ruta al norte del sistema, y a comienzos de la década de 1970, cortó el sistema transversalmente con el propósito (no concretado) de construir un camino de acceso, mediante una barrera de acacias y pinos, la que al llegar a la costa continuaba paralela a la misma hasta alcanzar el cabo (**Fig. 6**).

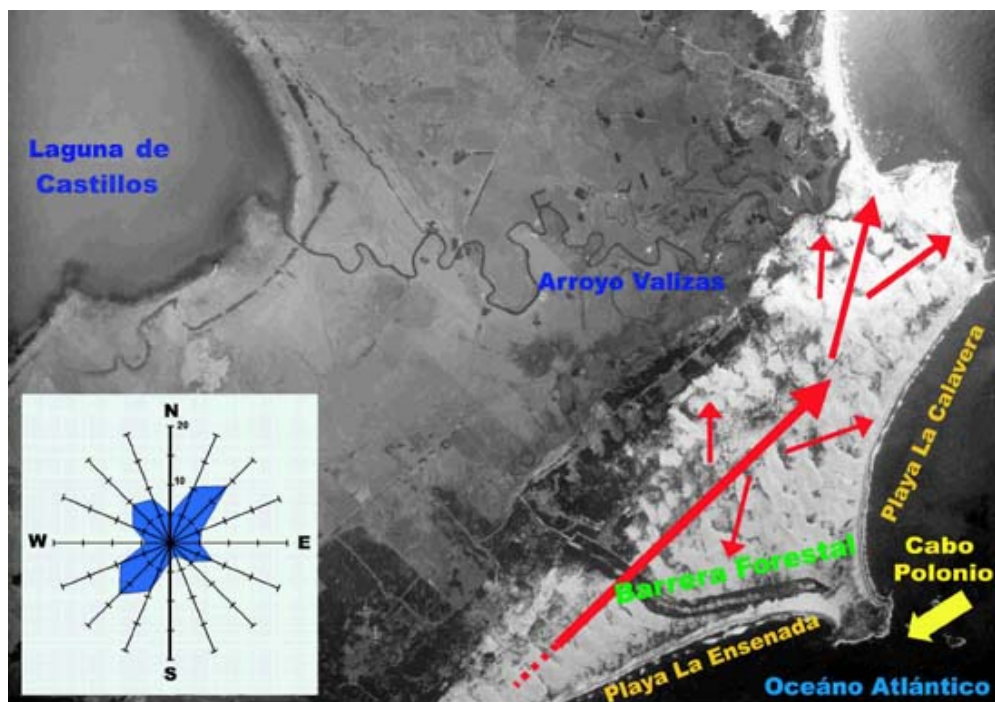


Figura 6. En la foto aérea del Cabo Polonio del 7 de abril de 1986 (escala 1/60.000), se puede observar la forestación con especies exóticas (aun incipiente) y la barrera forestal implantada cortando el campo de dunas. Las **flechas rojas** indican las resultantes del transporte de arena y el grosor de las mismas da idea de su importancia relativa. La presencia y cantidad de algunos minerales en la arena, son usados como indicadores de transporte (como por ejemplo: disminución de la relación Cuarzo/Feldespato, disminución de la abundancia de Circón y Cuarzo Metamórfico, aumento de la abundancia de Piroxeno+Anfibol). La Rosa de los Vientos fuertes (> de 5m/s tomados a 2 m del suelo) confeccionada para esta zona, justifica plenamente las observaciones de direcciones de transporte señaladas. (Aerofotografía del Servicio de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Uruguaya).

La rosa anual de los vientos fuertes en la zona, no denota direcciones preferenciales muy claras, lo que resultaría contradictorio con la existencia de estos comportamientos unidireccionales de avance de las dunas, los que son explicados por la composición de la arena (dominio de fracción gruesa), que vincula el transporte a la fuerza de los vientos más que a su dirección. A los efectos de determinar la importancia de estos aportes en el comportamiento del sistema se procedió a la cuantificación de los mismos, utilizando el modelo de Fryberger (1979) que determina el transporte neto de arena según la fórmula:

$$UV = [V^2(V - V_t)]/100 \times t$$

UV = unidades vectoriales,

V = velocidad del viento,

V_t = umbral de velocidad requerido para comenzar a mover arena

t = número de mediciones en un tiempo dado.

Las unidades vectoriales son convertidas a $m^3 m^{-1} año^{-1}$ con la relación propuesta por Fryberger *et al.* (1984) donde 14 UV son equivalentes a $1m^3 m^{-1} año^{-1}$. Los resultados fueron contrastados contra el transporte medido en trampas, como las propuestas por Leattermand (1978), midiendo el avance de una duna durante una tormenta de 20 metros por segundo durante 48 horas y analizando una secuencia de fotos aéreas, que abarcan un período de 47 años (1943, 1966, 1967, 1986, 1989, 1990) (Fig. 7).

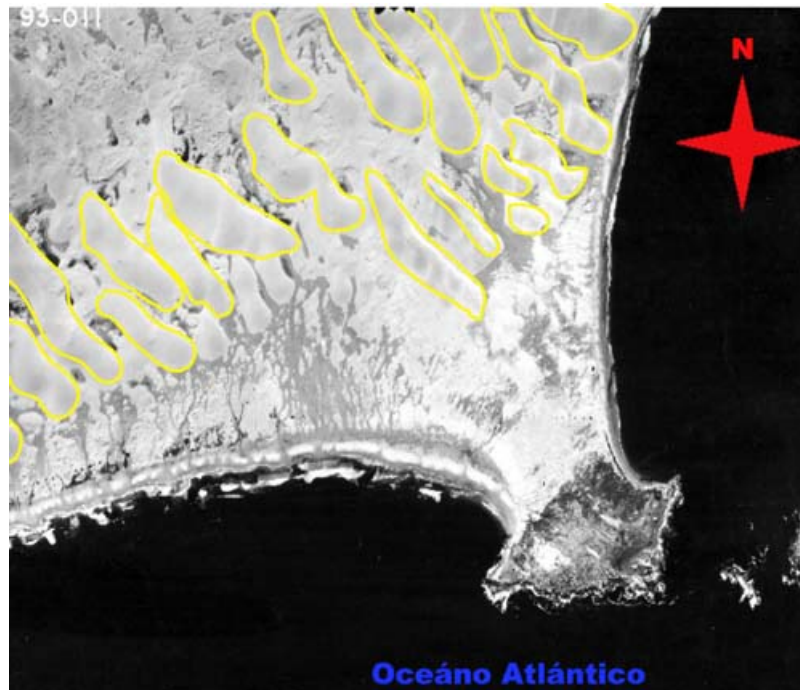


Figura 7. Aerofotografía vertical del Cabo Polonio tomada el 13 de mayo de 1966 (escala original 1:20.000). La línea amarilla resalta el contorno de las dunas barjanoides que avanzan en dirección NE. (Aerofotografía del Servicio Geográfico Militar, Uruguay).

El conjunto de medidas confirma una media de 4,56 metros por año sobre 21 dunas medidas (Piñeiro y Panario, 1993; Panario y Piñeiro, 1997) y una media de transporte neto en dirección NE de $48,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Ello implica un aporte a las playas del orden de $3,7 \times 10^4$ toneladas al año. Puede estimarse que un 70% de dicho aporte fue impedido por la forestación con repercusiones inmediatas sobre la erosión de las playas afectadas (**Fig. 8 y 9**).



Figura 8. Sobre una vista más general de la foto de 1986, con línea amarilla se señala el límite continental del campo de dunas. La línea verde resalta la cortina forestal implantada. (Aerofotografía del Servicio de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Uruguaya).

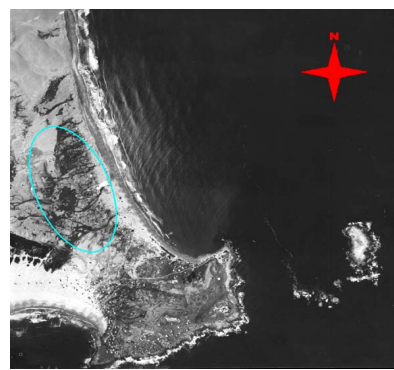


Figura 9. Aerofotografía del 27 de octubre de 1989 (escala original 1/10.000). Nótese los tonos oscuros al NE de la cortina forestal, remarcados por la línea turquesa, que indican la interrupción del tránsito de arena hacia esa zona, compárese con la **figura 7**, que es de fecha anterior a la implantación de los árboles. (Aerofotografía del Servicio de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Uruguaya).

La forestación, al impedir el tránsito de arena desde el SW produjo una serie de cambios en el funcionamiento del sistema dunar que se expresaron primero en un aumento de la distancia entre dunas y pérdida de altura de las mismas, luego en un cambio en su morfología con notoria pérdida de convexidad en la cara a barlovento, seguida de fijación incipiente de algunos sectores por *Panicum racemosum*, y finalmente la formación de cubetas de deflación con una parabolización del sistema de dunas barjanoides (**Fig 10, 11 y 12**). Este proceso que comenzó en las dunas próximas a la barrera forestal fue alcanzando la casi totalidad del campo de dunas en un período de 30 años. Debe destacarse que paralelamente a la forestación, y ante la creciente presión por convertir la zona en parque nacional, la autoridad a cargo de la zona, el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, hizo retirar el ganado que pastoreaba en el sitio, lo que contribuyó significativamente a agravar el proceso.

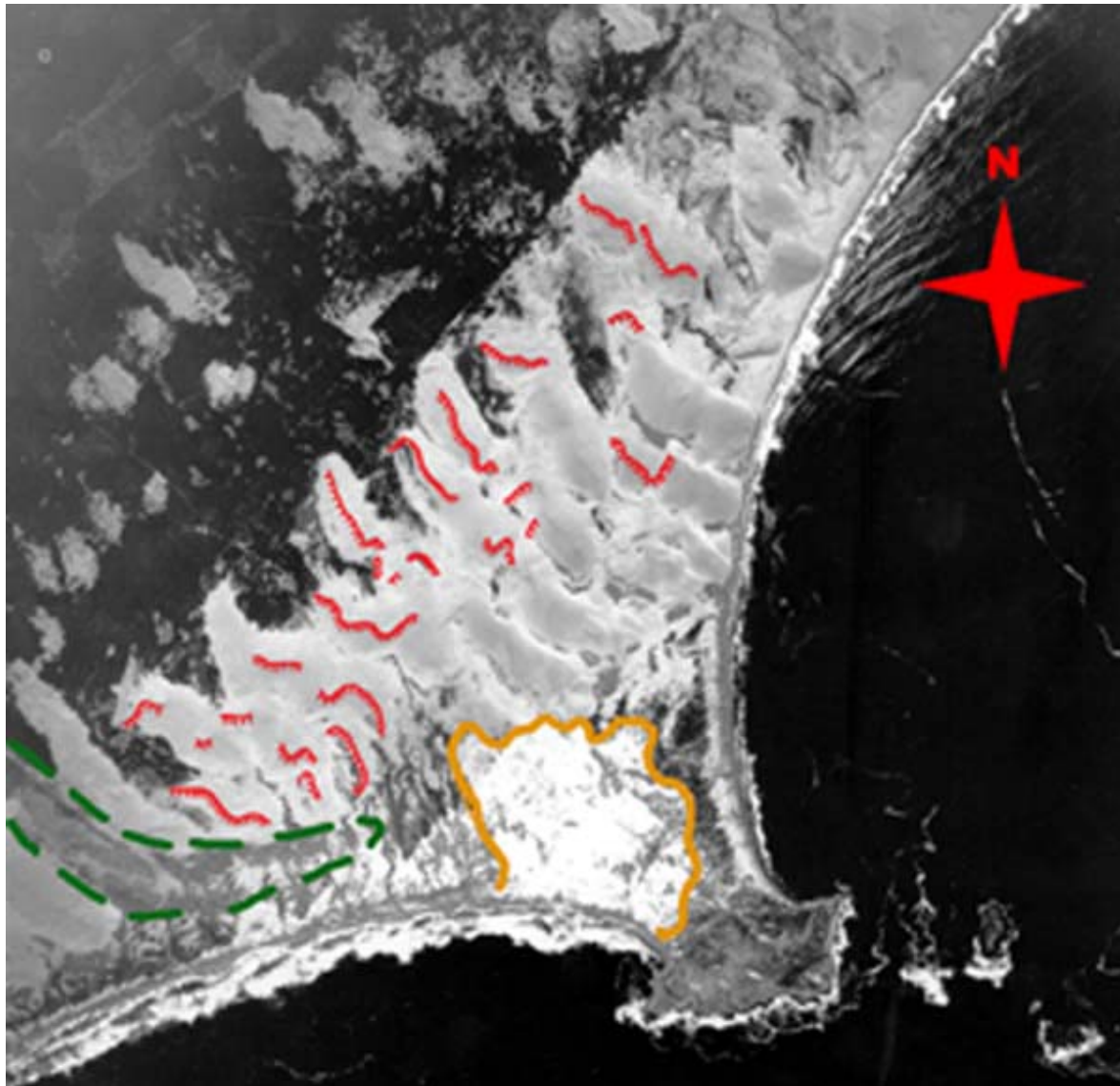


Figura 10. Aerofotografía del 31 de agosto de 1998 (escala original 1/25.000). La línea naranja marca el límite del área de deflación que se ha formado a partir del retiro de la cortina forestal y la demolición de una línea de casas sin haber tomado las medidas necesarias de reconstrucción y mantenimiento del cordón dunar. En línea verde punteada se indican los restos de la cortina forestal que luego de cortada no fue completamente retirada. En rojo se señalan las escarpas de la parabolización de las dunas barjanoides. (Aerofotografía del Servicio de Sensores Remotos de la Fuerza Aérea Uruguaya).



Figura 11. Vista del área de deflación desde la playa de La Ensenada, nótese en colores claros la circulación de la arena, que apenas construye incipientes estructuras eólicas, y circula ?fugándose? del sistema por las zonas más bajas y con menos rugosidad. Algunas zonas vegetadas funcionan como trampa, mostrando un panorama desolador de lo que antes fue la zona de ubicación de los cordones dunares. (Fotografía: Dr. Augusto Pérez Alberti).



Figura 12. Panorama desde el área de deflación mostrando la línea de casas ubicadas en el arco de La Calavera (contiguo al Cabo Polonio). (Fotografía: Dr. Augusto Pérez Alberti).

Efectos sobre los arcos de playa

El arco de La Ensenada de 46 km de largo (ver **Fig. 1**), forestado en un tramo cercano al Polonio con *Acacia trinervis* en las proximidades del cordón dunar (ver ubicación de la cortina forestal en **Figura 8**), produjo inicialmente la generación de un segundo cordón por delante del primero, y en la medida en que los árboles crecieron en altura, un tercer cordón con la consiguiente ampliación de la playa. En una segunda instancia, la playa que había perdido su alimentación desde el sistema dunar por efecto de la barrera forestal, llegó a un punto crítico de pérdida de arena por deriva litoral, y el mar alcanzó a los cordones, los que fueron eliminados, y la playa fue erosionada hasta el nivel de la freática. Este proceso conllevó un agudo retroceso de la línea de costa, que se extiende hacia el SW al menos por más de 20 km (**Fig. 13**). Es de señalar, que la

respuesta a la forestación, no siempre es en una primera etapa la ampliación de la playa, y puede relacionarse la misma al tipo de arboles implantados, su arreglo (densidad, altura, ubicación respecto al cordón) y al *fetch* de arena de playa. Si el *fetch* es estrecho se produce la inmediata erosión del cordón forestado.



Figura 13. El retroceso de la línea de costa, ha llevado a exponer por varios kilómetros una barranca sedimentaria con fuerte componente arcilloso. La vegetación brinda una estabilidad relativa a la parte superior del perfil (arenosa), mientras las olas actúan socabando la barranca en su parte inferior (depósitos cuaternarios pelíticos), los bloques superiores caen al quedar descalzados, manteniéndose un perfil recto que impide su estabilización. (Fotografía: Dr. Augusto Pérez Alberti).

El arco de playa La Calavera de 5 km de largo, continúa recibiendo en su sector central el ingreso directo de dunas móviles al mar, con lo cual mientras este proceso continúe, sólo la porción más al SW que dependía de la arena eólica proveniente de los vientos del NE, sufrirá erosión (ver zona señalada en turquesa **Figura 9**).

En el arco de playa Valizas-Aguas Dulces que tiene una longitud de 41 km, la alimentación de arena tenía diferentes orígenes: el primer tramo de playa hasta la desembocadura del A° Valizas, recibía arena eólica directamente desde las dunas, mientras que el resto de la playa tenía un mecanismo de reposición más complejo. El aporte eólico de SW a NE provocaba que la arena ingresara en una alta proporción al propio cauce del A° Valizas (ver **Fig. 6**), que si bien tiene un comportamiento típicamente estuarial, durante las grandes crecientes pluviales, reequilibra su cauce arrastrando el exceso de arena recibida de las dunas hacia el mar. La deriva litoral en la costa uruguaya a partir de la cabecera sur del arco de playa Valizas-Aguas Dulces hasta el Brasil, es con dirección SW a NE, debido a la orientación que la misma presenta a las olas de mar de fondo **(3)**. Por lo tanto, al disminuir el volumen de arena proveniente del A° Valizas, se disminuye la alimentación de las playas ubicadas hacia el NE, las que sufren erosión con destrucción de viviendas en los balnearios Valizas y Aguas Dulces.

Conclusiones

La vegetación en la costa Uruguaya, juega un rol fundamental en la dinámica de las playas arenosas, este rol puede ser positivo en la construcción del cordón dunar o duna primaria, o negativo cuando la forestación interrumpe el flujo normal de sedimentos entre las dunas y las playas o entre las dunas y las desembocaduras de los cursos fluviales. En otros casos, la colonización de playas por especies nativas en sitios que previamente no las presentaban, puede considerarse diagnóstico de un déficit en la circulación de sedimentos atribuible a otras causas. Se requerirían nuevas investigaciones en otras zonas

costeras, a los efectos de determinar si estos resultados son generalizables a otras regiones con condiciones climáticas similares.

Agradecimientos

Al Dr. Estanislao de Luis Calabuig por sus comentarios y sugerencias y al Dr. Augusto Pérez Alberti por permitirnos utilizar su colección de fotografías.

(1) No se descarta un cierto sesgo por no haber sido los casos elegidos al azar.

(2) Latitud Sur 34° 24' 3" Longitud 53° 46' 7" WGS84.

(3) La deriva litoral dominante en la costa Uruguaya es de NE a SW debido a la orientación general de la costa respecto a las olas de mar de fondo (*swell*).

Referencias

Fryberger, S.G. 1979. Dune forms and wind regime. McKee, E.D. (ed.) A study of global sand seas. *Prof Pap US Geol Surv*, 1052:137-169.

Fryberger, S.G., Al-Sari, A.M., Clisham, T. J., Rizvi, S.A.R., y Al-Hinai, K.G. 1984. Wind sedimentation in the Jafurah sand sea, Saudi Arabia. *Sedimentology*, 31:413-431.

Leattermand, S.P. 1978. A new eolian sand trap design. *Sedimentology*, 25:303-306.

Lombardi, M. 1982. Urbanización y medio ambiente: el desarrollo turístico en la costa uruguaya. *In: Medio ambiente y urbanización*. Buenos Aires, CLACSO/CIFCA, vol. 2, 83-101 pp.

Panario, D. y Piñeiro, G. 1997. Vulnerability of oceanic dune systems under wind pattern change scenarios in Uruguay. *Climate Research*, 9(1-2): 67-72.

Piñeiro, G. y Panario, D. 1993. *Dinámica sedimentaria y geomorfológica de dunas y playas en Cabo Polonio, Rocha*. Montevideo, UNCIEP, Facultad de Ciencias, 35 p. y anexos.

Silvester, R. y Hsu, J.R.C. 1993. *Coastal stabilization. Innovative concepts*. Prentice Hall, New Jersey.