

TRANSPORTE DE ARENA EN PLAYAS URBANIZADAS: MODELOS Y REALIDAD.

Piñeiro, G.¹; Norbis, W.²; Panario, D.³

^{1/} Departamento de Evolución de Cuencas, Instituto de Geociencias, Facultad de Ciencias, UdelaR, Uruguay, gaitapi@gmail.com. ^{2/} FREP, Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, UdelaR, Uruguay. ^{3/} UNCIEP, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales (IECA), Facultad de Ciencias, UdelaR, Uruguay.

RESUMEN

Las playas de la ciudad de Montevideo han sufrido un gradual deterioro acompañado con el crecimiento urbano. La gestión costera precisa modelos simples y eficientes que describan los cambios en las playas para optimizar las tareas y costos de mantenimiento y conservación. En ese sentido ha sido comparado el transporte eólico previsto en 12 modelos con datos tomados con trampas y con datos compilados en la literatura especializada (velocidad del viento vs transporte). El transporte y velocidades observados oscilaron entre 11 y 216 kg/m/hora y entre 8 y 15m/s (estación Carrasco). El transporte se ajustó significativamente al modelo de Kawamura (1951). El perfil del viento en la playa se asoció a un modelo de perfil del viento semilogarítmico con un punto focal de 5m/s a 10mm de la superficie. Aplicados ambos modelos a datos anuales del viento de esa estación meteorológica, el transporte total es 15m³/m/año y el transporte resultante de la suma vectorial de los componentes sectoriales tiene una magnitud de 6m³/m/año y azimut 035. Los resultados son coherentes con una concentración de la erosión en los sectores meridionales y de la sedimentación en los sectores septentrionales. La generación de dunas artificiales vegetadas y el retiro de las construcciones de la playa supramareal (a más de 100m de la línea de costa) podrían revertir la actual tendencia erosiva. Aplicado a otros sectores de la costa uruguaya, el modelo predice pérdidas de arena importantes durante vientos extraordinarios (Fuerza Beaufort >8) lo que constituiría un riesgo geológico a ser estudiado.

Palabras claves:

Geomorfología, geología ambiental, transporte eólico de arena, geología ambiental, Montevideo

ANTECEDENTES

La importancia del transporte de arena por el viento en ambientes naturales de Uruguay fue tempranamente señalada para Cabo Polonio (departamento de Rocha) por Arctowski (1901). En 1936, O'Brien y Rindlaub publican datos de observaciones sobre las relaciones entre el transporte de arena y la velocidad del viento. Pocos años después, Bagnold (1941) desarrolló un modelo en base al análisis teórico, experimentos en túneles de viento y observaciones de terreno en el desierto de Libia, tanto del perfil del viento como del transporte de arena. El modelo, en su versión más citada, supone una relación aproximadamente lineal entre la velocidad del viento (U) y su fricción contra el suelo (U^*) así como una relación potencial con el transporte (Q) con un exponente con un valor próximo a 3, resultando en $Q=k.(U^*)^3$, donde k es una constante empírica. Algunos autores han realizado evaluaciones o calibraciones del modelo basadas en datos de terreno, en latitudes medias (30 a 35°S) y climas (Cfa) semejantes a los de Montevideo, en particular, en el SE de Australia (Chapman 1990; Hesp y Thom 1990), el SE de Sudáfrica (Illenberger y Rust 1988) y el SE de Uruguay (Panario y Piñeiro 1997). Estos estudios concluyen que la acción del viento puede generar transportes entre 10 y 50 m³/m/año de arena en playas y dunas costeras naturales. En estos casos, la dirección de los vientos que transportan más sedimento proviene en general del SW y los coeficientes (k) difieren según el lugar analizado. Alcántara-Carrió y Alonso (2002) entre otros, estudian el transporte de arena con trampas verticales del tipo Leattherman (1978) y datos anemométricos. Los resultados son comparados con varios modelos de transporte y concluyen que sería razonablemente válido aplicar el uso del concepto de punto focal (definido por Bagnold, 1941, como el punto próximo a la superficie del suelo donde la velocidad del viento se mantendría constante).

Autores como Castel (1988) usan directamente el modelo de Bagnold (1941) para simular la erosión eólica en playas urbanizadas de Holanda, sin embargo Gares (1990) y Pye (1990) señalan que la acción antrópica (vallados, aplanamiento, mantenimiento) es una variable tan importante como el régimen de vientos a la hora de determinar el transporte de arena por el viento, problema cuya respuesta motiva el presente estudio.

OBJETIVOS

El objetivo general es cuantificar el transporte eólico de arena en playas urbanizadas como aporte para su gestión y manejo. Los objetivos específicos incluyen probar y calibrar modelos que asocien el transporte con la velocidad del viento y ésta con la fricción, para clasificar las playas por sectores según la magnitud y dirección del transporte, como criterio de manejo.

MÉTODOS

Las muestras de transporte de arena eólica se tomaron con el auxilio de tres trampas verticales descritas en Leattherman (1978) complementadas, en dos períodos, con seis trampas horizontales alineadas con las trampas verticales y la torre anemométrica, en segmentos de

cinco metros de longitud perpendiculares a la proveniencia del viento. Se mantuvo la propuesta metodológica de Bagnold (1941) y Svasek y Terwindt (1974). La velocidad del viento sobre la superficie de la playa ha sido medida en cuatro alturas diferentes (2, 20, 100, 200cm) con tubos pitot. Los datos de viento (en rigor, datos de presión del viento) han sido registrados en una cámara de video digital Polaroid Izone con una resolución de 640x480px y almacenados en una tarjeta de memoria de 1GB. El análisis del registro de los manómetros fue realizado mediante extracciones automáticas de 81 fotogramas por período y procesados mediante una versión libre del programa Plot Digitizer, versión 1.9 (Marzo, 2008) del Department of Physics, University of South Alabama. El procesamiento de los conjuntos de datos de transporte de arena por el viento y de fricción del viento, procedentes de investigaciones obtenidas en estudios previos, emuló el método de Chapman (1990) consistente en calcular el transporte más probable (la media o en su defecto, la mediana en los casos de no haber normalidad en los datos) para cada rango de velocidad seleccionando con los resultados obtenidos al modelo de transporte de mejor ajuste, para usarlo posteriormente en los cálculos de transporte con los parámetros locales empíricos. El lugar de estudio considerado más apropiado fue la playa Ramírez. Tras analizar la topografía de detalle, granulometría, mineralogía, humedad en las playas Ramírez, Pocitos, Buceo y Malvín de Montevideo, la homogeneidad topográfica y textural de la primera, sumada a su orientación permitía evaluar con mayor rigor la influencia de los vientos dominantes que en las restantes.

RESULTADOS

La velocidad de fricción medida en 5 episodios de vientos con fuerza Beaufort >4 se correlacionó significativamente ($p < 0,05$) con la velocidad del viento en la Estación Carrasco. La relación de la fricción del viento en la playa con los datos de viento de otras estaciones de Montevideo es menos significativa (en orden decreciente: Punta Carretas, Melilla y Puerto de Montevideo) por lo que son descartadas para el análisis subsiguiente. La función de regresión con Estación Carrasco es: $U^* = (4,58 \cdot U_{ca}) - 18,56$; donde U^* es la velocidad de fricción medida en la playa (cm/s) y U_{ca} es la velocidad del viento (m/s) registrada en la estación Carrasco. El transporte de arena por el viento se relaciona significativamente ($p < 0,05$) con la fricción con un modelo potencial. Integrando los términos resulta el modelo: $Q = k(4,58U_{ca} - 18,56)^{2,9}$; donde k adopta el valor de $1,9 \cdot 10^{-3}$. De la comparación de los resultados con 10 modelos clásicos, surge que las predicciones del modelo de Kawamura (1951) son las de mejor ajuste a las condiciones de la playa de estudio. Aplicando en consecuencia el modelo calibrado de Kawamura (1941) a una serie de 10 años de datos trihorarios de la estación Carrasco de la Dirección Nacional de Meteorología fue posible descomponer los componentes sectoriales del transporte potencial anual de arena por el viento y realizar la suma vectorial, la que es expuesta en la Figura N°1, donde se indica el valor teórico de la velocidad del viento y la altura del punto focal (zot). Nótese la orientación hacia el NE del transporte resultante.

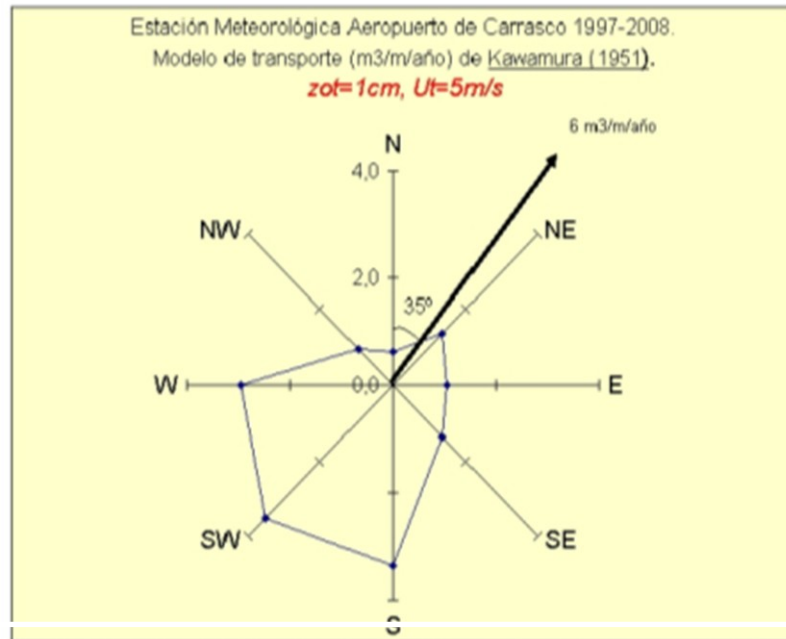


FIGURA 1: Rosa del transporte eólico potencial de arena por el viento.

CONCLUSIONES

En Montevideo, la configuración de la porción supramareal de las playas estudiadas se modificó con la presencia de muros, construcciones y tareas de mantenimiento, con lo cual las playas naturales han sido transformadas en plataformas arenosas limpias, aplanadas por maquinaria de mantenimiento y limpieza. Ello ha creado las condiciones para que el transporte eólico de arena supere al previsto por varios modelos de transporte durante los temporales moderados y fuertes registrados en la primavera de 2009. En los sectores supramareales de las playas, la cantidad de arena transportada se acerca a las predicciones del modelo de Kawamura (1951). Aunque los modelos evaluados a escala horaria en general subestimaron las magnitudes reales transportadas, a escala anual sucede lo contrario. Extrapolados los modelos de mejor ajuste, el transporte potencial anual se sitúa en torno a los $15\text{m}^3/\text{m}/\text{año}$ lo que significa alrededor de un 50% del estimado sin calibrar.

El modelo explica la existencia de áreas deprimidas, afectadas por deflación eólica, en las porciones SW de los arcos de playa así como la existencia, en la zona NE, de áreas de acumulación de arena, propicias para tener un balance sedimentario positivo, lo cual propicia un desarrollo vertical del prisma de playa, salvo en las circunstancias en que las tareas de mantenimiento o la presencia del muro de la rambla u otras construcciones lo impiden. En consecuencia si los sectores meridionales de las playas no son gestionados para invertir el signo del balance sedimentario anual, la erosión eólica favorecerá al desarrollo de sectores planos a cóncavos, con alta humedad, vulnerables a las olas de tormenta. Por su parte, los sectores septentrionales de las playas recibirán las mayores cantidades de arena que de ser retenida con vegetación sobre la playa supramareal, propiciará el desarrollo de un cordón dunar artificial, el cual puede contribuir a la contención del oleaje en episodios de tormentas

generando a largo plazo un intercambio sedimentario semejante al natural. Desde la realización de la tesis que motiva este estudio en el año 2009 al presente, se han desarrollado tareas que han propendido a la formación de tal cordón dunar, cuyos volúmenes y disposición se ajustan a las predicciones del modelo en éstas y en otras playas urbanizadas de la capital. Es recomendable adecuar el diseño y vegetación de las mismas a las mejores prácticas conocidas, lo cual no siempre ha sido considerado en la gestión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÁNTARA-CARRIÓ, J.; ALONSO, J. 2002. Measurement and prediction of aeolian sediment transport at Jandía Isthmus (Fuerteventura, Canary Islands). *Journal of Coastal Research*, 18 (2):300 - 315.
- ARCTOWSKI, H. 1901. Les dunes du Cap Polonio. *Bulletin de la Societé Belge de Geologie*, 10:689 - 692.
- BAGNOLD, R.A. (1941) *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, London, Methuen, 265 p.
- KAWAMURA, R. 1951. Study of Sand Movement by Wind. Univ. Tokyo. Rept. Inst. Sci. & Technology. 55p.
- CASTEL, I.I.Y. 1988. A Simulation Model of Wind Erosion and Sedimentation as Basis for Management of a Drift Area in Netherlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13:501-509.
- CHAPMAN, D.M. 1990. Aeolian Sand Transport - An Optimized Model. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15:751-760.
- GARES, P.A. 1990. Eolian processes and dune changes at developed and undeveloped sites, Island Beach, New Jersey. In: K.F. NORDSTROM; N.P. PSUTY y R.W.G. CARTER (Ed.). *Coastal Dunes: Form and process*. John Wiley & Sons Ltd. 361-380p.
- HESP, P.; THOM, B.G. 1990. Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields. In: K.F. NORDSTROM; N.P. PSUTY y R.W.G. CARTER (Ed.). *Coastal Dunes: Form and process*. John Wiley & Sons Ltd. 253-288p.
- ILLENBERGER, W.K.; Rust; I.C. 1988. A sand budget for the Alexandria coastal dunefield, South Africa. *Sedimentology*. 35:513-521.
- LEATHERMAN, S.P. 1978.. A new aeolian sand trap design. *Sedimentology*, 25:303-306.
- O'BRIEN, M.P.; RINDLAUB, B.D. 1936. The transportation of sand by wind *Civil Engineering*. 6:225-242.
- PANARIO, D.; PIÑEIRO, G. 1997. Vulnerability of oceanic dune systems under wind pattern change scenarios in Uruguay. *Climate Research*, 9:67-72.
- PYE, K. 1990. Physical and human influences on coastal dune development between the Ribble and Mersey estuaries, northwest England. In: K.F. NORDSTROM; N.P. PSUTY y R.W.G. CARTER (Ed.). *Coastal Dunes: Form and process*. John Wiley & Sons Ltd. 339-359 p.
- SVASEK, J.N.; TERWINDT, J.H.J. 1974. Measurements of sand transport by wind on a natural beach. *Sedimentology*, 21:311-322.