



**Primeros ensayos en el diseño de una turbina
bidireccional undimotriz bioinspirada en el pico del
flamenco Phoenicopterus ruber, L.**

Autor: Manuel Quirós Galdón

Institución: Greensigns

Otros autores: Rafael Aparicio (Biomival)

Resumen

El futuro modelo energético promete ser diferente al actual en el que un mix de energías renovables releven al petróleo. Precisamos de tecnologías limpias y energías renovables ante el nuevo modelo que muestra la escasez del petróleo y el 86% de importaciones en España (déficit energético), muestran que es preciso, y la energía undimotriz tiene la gran ventaja de su constancia, su concentración y su almacenamiento, frente al resto de energías alternativas. La energía procedente de los océanos es ya una realidad minoritaria aún pero entre las que podemos encontrar aproximaciones bioinspiradas con ejemplos empresariales brillantes como Biowave, Whale Power, Pax, solo por citar algunos y todo un sinfín de prototipos e ideas aún en fase exploratoria. La energía de las olas del mar podría proporcionar el 107% de la necesaria en España y más del 50% de toda la de Europa (datos independientes realizados para Greenpeace).

En esta artículo, se presenta un prototipo preliminar testado de turbina inspirada en cuatro organismos cuyo protagonista y motor es *Phoenicopterus ruber*, el flamenco rojo, cuyo pico fue objeto de más de 600 resonancias magnéticas para poder entender su complejo funcionamiento. Una de las características del pico de este ave es que lo emplea como una bomba que mueve grandes volúmenes de agua para alimentarse desarrollando un impulso bidireccional del agua en sentidos opuestos mediante un único movimiento. Para el desarrollo del prototipo se realizaron numerosas pruebas preliminares como tomografías axiales computerizadas, escáners y valoraciones de potencia mediante ingeniería asistida por ordenador (CAE) por elementos finitos (ANSYS), entre otros.

Los resultados preliminares muestran numerosas aplicaciones potenciales en múltiples sectores de movimiento de fluidos, como muestran los premios nacionales recibidos (finalista premio Dominguis en el sector energético; innovación Tecnológica Sacyr 2013; seleccionado por la Fundación Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente español) así como el interés de empresas como Repsol o Sacyr.

Palabras clave: energía marina, undimotriz, biomimesis, flamenco, sostenibilidad, energías renovables, cambio climático.

Introducción

El futuro modelo energético se vislumbra diferente al actual en el que probablemente un conjunto de energías mezcladas (renovables y no renovables) satisfagan la creciente demanda y releven al petróleo que año tras año muestra síntomas de decrecimiento en su extracción. La energía procedente de los océanos es ya una realidad minoritaria aún, pero entre las que podemos encontrar aproximaciones bioinspiradas con ejemplos empresariales brillantes como Biowave, Whale Power o Pax, solo por citar algunos. A estos se añaden todo un sinfín de prototipos e ideas aún en fase exploratoria. La energía de las olas del mar podría proporcionar el 107% de la necesaria en España y más del 50% de toda la de Europa según datos independientes realizados para Greenpeace.

En el presente artículo, se presenta un prototipo de turbina inspirada en *Phoenicopterus ruber*, el flamenco rojo, cuyo pico fue objeto de más de 600 resonancias magnéticas para poder entender mejor su complejo funcionamiento.

Una de las características del pico de este ave es que lo emplea como una bomba que mueve grandes volúmenes de agua para alimentarse, desarrollando un impulso bidireccional del agua en sentidos opuestos mediante un único movimiento. La tomografía axial computerizada muestra esta función (Fig. 1 y 2 Digimorph de Texas University) aunque sin poder ver lo que ocurría cuando el agua fluía dentro del pico, aspecto fundamental para el trabajo.

Los primeros pasos en el análisis de la morfología fueron la observación *in situ* de los hábitos alimenticios del ave en las lagunas de la Albufera valenciana, Parque Natural de España (Fig3).

Los flamencos se alimentan cabeza abajo y mediante filtración, simplemente balanceando la cabeza, permiten que el flujo de agua pase a través del pico (Fig 4). A diferencia del resto de las aves, tienen la parte inferior del pico mucho más grande y resistente que la superior donde además una gruesa lengua se mueve dentro de un profundo surco central. Este hecho hace ubicar los nutrientes en las *lamellae* (Fig 5). Por si fuera poco, la mandíbula superior no está rígidamente fijada al cráneo como en otras aves y mamíferos (Fig.5).

Resultados

Las imágenes realizadas revelaron que la lengua también pasa agua a través de los filtros de manera eficiente, moviéndose rápidamente de adelante hacia atrás, repitiendo el proceso más de 4 veces por segundo expulsando el agua en su totalidad.

Este comportamiento y morfología les acerca curiosamente más a las ballenas, mejillones u ostras que a las propias aves. Posteriormente se clonó la parte superior del pico a escala real, para una mayor comprensión a pesar de que lo más complejo se centraba en el análisis tridimensional del mecanismo del propio bombeo.

A priori, los estudios nos presentaban una eficiente bomba natural que podría tener una bonita analogía en un eficiente rotor. Todos estos análisis abrieron las puertas a posibles futuros diseños más allá de la propia turbina.

El trabajo previo mostró también que cerca de la punta del pico el diseño se asemejaba a una turbina tipo *Pelton* mientras que en el extremo opuesto lo hacía como los modelos de turbinas tipo *Francis* y todo ello con la lengua ayudando a desplazar a los nutrientes hacia las *lamellae* para ser retenidas. Este movimiento combinado del pico-lengua mostró que mecánicamente funcionaba tanto para aspirar como para impulsar agua y que si bien al comienzo del pico el ángulo era de 0 grados hacia la mitad, el ángulo subía a 90 grados igual que las bombas humanas más eficientes. El pico nos mostraba que por su diseño y funcionamiento eran un verdadero tratado de hidrodinámica.

El paladar del pico también mostró peculiaridades al albergar unas líneas que impulsan el fluido hacia las *lamellae* donde se dan flujos turbulentos (máxima energía) que el paladar convierte en laminar. Las *lamellae* y estas crestas y valles se observan igualmente en las aletas de las ballenas o en las alas de los búhos (para eliminar flujo turbulento), del mismo modo que los delfines y los tiburones lo hacen en la superficie de su piel.

El análisis detallado de la parte superior del pico mostraba otra analogía, esta vez muy similar al mejillón, *Mytillidae*, también filtradora. La imagen escalar se asemejaba a dos mejillones superpuestos. La parte inferior del pico era en cambio de tipología gradual y que continuaba prácticamente hasta el cráneo, asemejándose a otra nueva especie, *Turbidae*, las caracolas marinas.

La característica del álabe de esta turbina es que parte de 0 grados llegando hasta los 90 mimetizando teóricamente el óptimo desarrollo de los modelos naturales. Paralelamente cuando el flujo del agua no va directamente en la dirección del eje, el impacto sobre una de las superficies protege del flujo a la otra, reduciendo también el vórtice con lo que siempre rota en la misma dirección con independencia del sentido del flujo. En los esquemas preliminares observamos el pico del flamenco y su evolución donde el ángulo intenta ser máximo en el centro (cercano a 90 grados) y casi nulo en los bordes (Fig. 6)

Finalmente con los estudios realizados y observaciones, se avanzó al desarrollo de un prototipo final mediante impresión 3D (Fig. 7 Fabber Lab.) que dio lugar a posibilitar varios diseños funcionales y diversas combinaciones aplicables para otros sectores comerciales. Con el prototipo, el rotor fue testado en el Centro Tecnológico de Valencia (AIDO) (Fig 8) con positivos resultados.

Discusión y Conclusiones

Resulta interesante citar algunas referencias históricas relacionadas con el tema como las del Bell Pettigrew (*Curves of life*) y Lawrence Edwards (*The vortex of life*) que ya mostraron que el corazón de mamíferos e insectos es una banda estirada. Posteriormente el Dr Torrent-Guasp dedicó años hasta descubrir que el corazón humano era en realidad una banda única enrollada de forma helicoidal pues nunca creyó que el músculo cardíaco trabajaba y se relajaba, sino que más bien realizaba una primera inspiración seguida de una expulsión, el modelo eco-devo banda helicoidal que es lo que es el corazón humano. Vórtice y ovoide por tanto se unen para obtener una mayor eficiencia.

Este trabajo representa un enorme esfuerzo desarrollado desde la iniciativa privada y vocacional que muestra un camino que hay que acabar. Los resultados preliminares muestran la viabilidad técnica de la turbina con ahorros de varios céntimos por kw empleado. Paralelamente su diseño emplea una energía inagotable y constante, las olas de mar que en España con más de 5.000 km de costa podría representar un salto

importante hacia la independencia y sostenibilidad energética. El testaje del rotor (Centro Tecnológico de Valencia –AIDO-) (Fig 8) fue esperanzador pero posteriores análisis de elevado coste se requirieron sobre el flujo sinusoidal para revelar datos finales de potencia.

La Biomimesis, diseño bioinspirado o biomimético [B³D por sus siglas en inglés] representa un enorme potencial en varios campos que van desde el propio diseño en sí, pasando por la ingeniería, la didáctica o la simple exploración de idea y conceptos basados en como la Naturaleza ya ha resuelto problemas a los que el Hombre se enfrenta. Es por tanto un ejercicio de analogía y abstracción que conlleva a una reflexión conservacionista.

Este trabajo tiene aplicaciones potenciales en múltiples sectores de movimiento de fluidos, no en vano empresas como Repsol o Sacyr e iniciativas como Climate-KIC de la UE han mostrando interés. El estudio en esta fase preliminar ya ha recibido varios galardones nacionales (premio Dominguis; innovación Tecnológica Sacyr 2013; Fundación Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente español).

Agradecimientos a la Universidad Politécnica de Valencia, Universidad de Salamanca, Centro Europeo de empresas innovadores de Valencia, Parque tecnológico de Valencia, a la Fundación Biodiversidad y finalmente a Tim Rowe-Digimorph de Texas University NSF grant.

Figuras 1 y 2. Resonancias magnéticas de la cabeza del Flamenco rojo

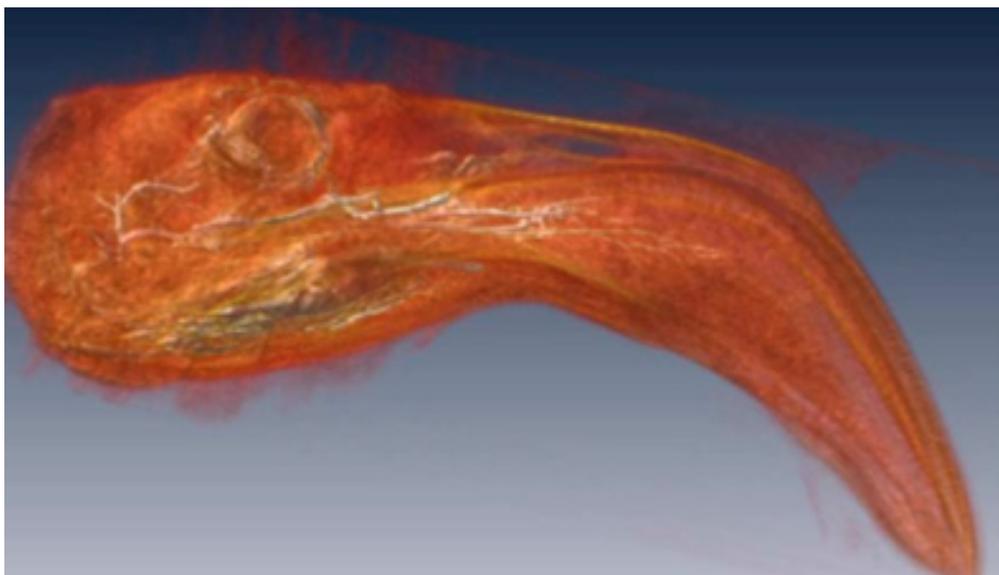
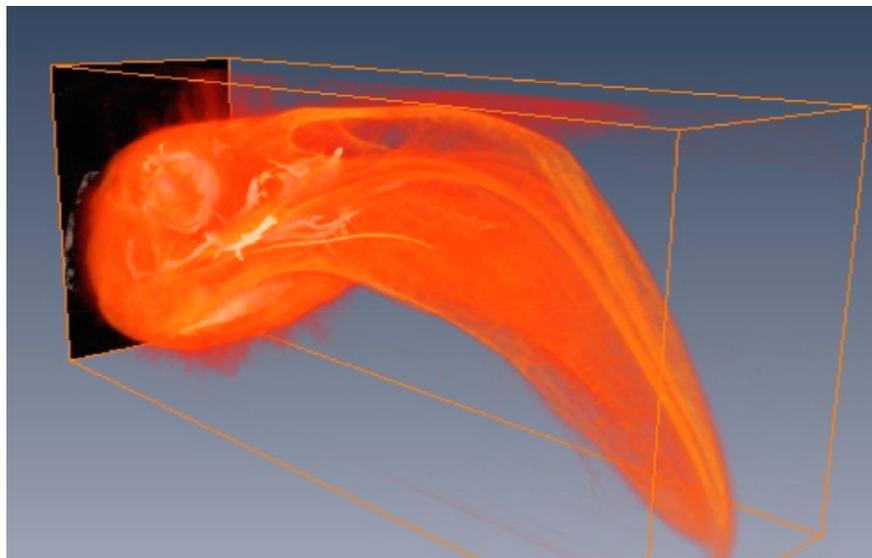


Figura 3. Ubicación geográfica de la Albufera, Valencia, España



Figura 4. Comportamiento alimenticio del flamenco *spp.* Foto: E. Shock



Figura 5: Cabeza de flamenco con la postura típica de alimentación/filtración. Extraído de “The filter-feeding and food of flamingoes (*phoenicopteri*)” por Penelope M. Jenkin, Department of Zoology, Bristol University.

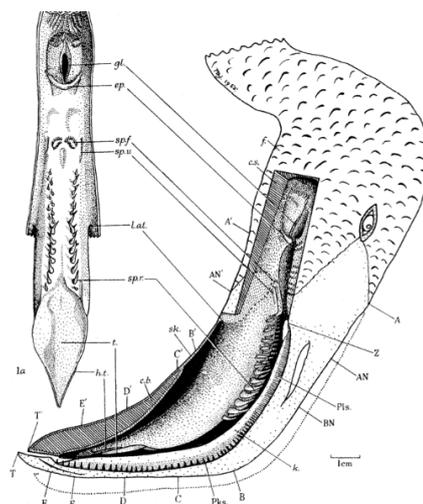


FIGURE 1. Head of *Ph. antiquorum* (J 3), shown with its shallow-keeled bill closed for filtering. The extent to which it is opened in feeding (as in figure 2) is indicated by the dotted line. The right ramus of the lower jaw has been cut away to expose the mouth cavity, the tongue and the keel (*k*) on the upper jaw. 1a. Upper surface of the tongue, flattened out. A-A' to T-T', the transverse planes used in measuring the bill and lamellae (pp. 412-413); *ca*, cut surface of bony fusion between the rami of the lower jaw; *ca*, cut surface of skin and muscle round lower jaw; *ep*, epiglottis; *f*, feathers extending to A dorsally and AN' ventrally; *gl*, glottis; *Lat*, limit of attachment of the tip of the tongue; *k*, keel, hiding inflexed border of lower jaw behind; *Lat*, limit of attachment of tongue to the floor of the mouth cavity; *Pks*, marginal hooks forming main part of filter; *Pks*, marginal leaflets, forming proximal part of filter; *sk*, skin of 'naked throat' unsupported by bone from AN' to near C'; *sp*, double fin of spines on tongue; *sp*, large recurved spines on tongue (cf. figure 17a); *sp.u*, vertical spines at the side of the tongue; *t*, flattened area of tongue, with raised edges; *Z*, posterior limit of lamellated area.

Figura 6. Diversos ángulos de eficiencia analizados en el pico de flamenco.

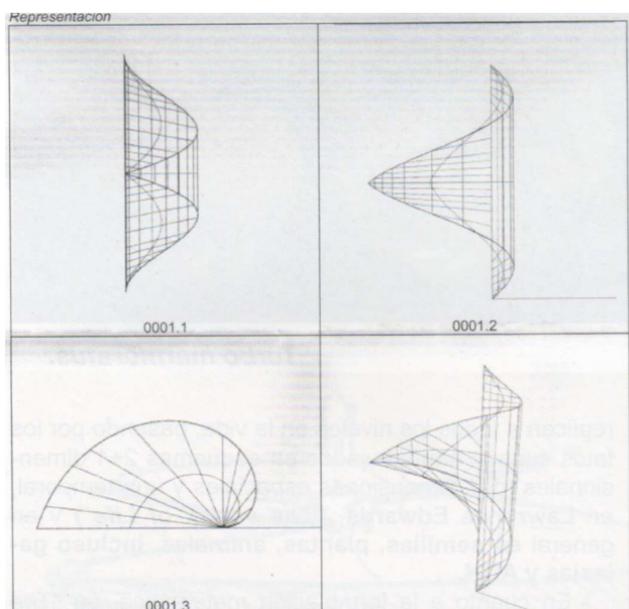


Figura 7. Diversas vista de la turbina impresa en 3D

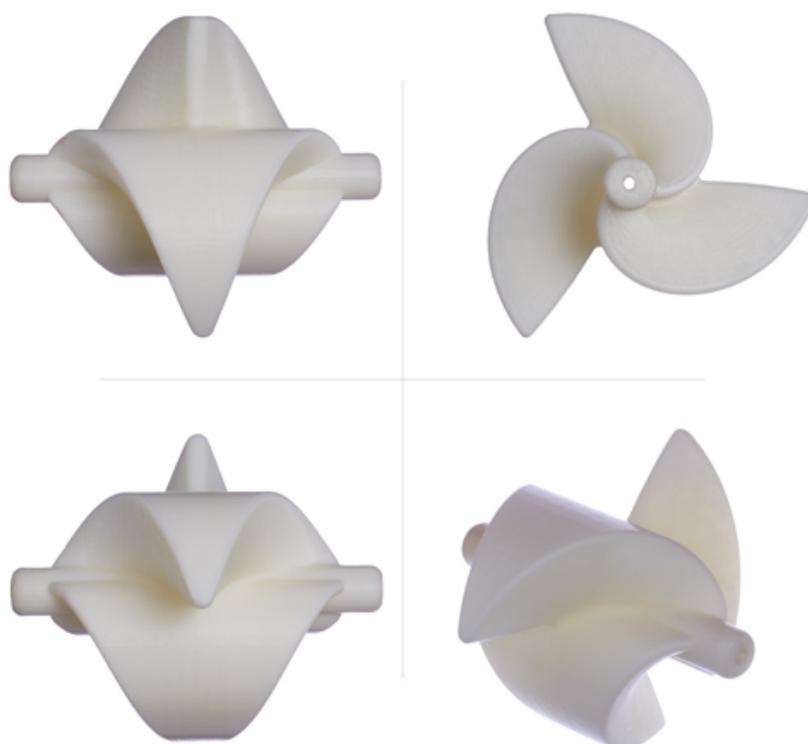


Figura 8. Estudios de eficiencia de AIDO centro tecnológico (rotor) y propios (todo el montaje)

