

Potencial del LiDAR Batimétrico Hawk Eye para la clasificación de hábitats del Estuario del Oka

Potential of Bathymetric Hawk Eye Lidar for habitat classification in the Oka Estuary

G. Chust, M. Grande, R. Moncho y I. Galparsoro
gchust@azti.es

*AZTI-Tecnalia/Unidad de Investigación Marina, Txatxarramendi ugarte a z/g;
48395 Sukarrieta (Vizcaya)*

Recibido el 12 de febrero de 2010, aceptado el 16 de abril de 2010

RESUMEN

En junio de 2008 se efectuó un levantamiento altimétrico del estuario del oka (sureste del golfo de Vizcaya, norte de España) mediante el nuevo LiDAR batimétrico Hawk Eye MK II. Este sensor aerotransportado opera con un láser topográfico para la medición altimétrica del suelo terrestre, y un láser hidrográfico para el suelo sumergido. Este trabajo tiene dos objetivos principales: 1) evaluar la calidad de los datos del sistema Hawk Eye MK II, y 2) evaluar el potencial discriminador de la información LiDAR para clasificar hábitats costeros y submareales, mediante métodos de clasificación supervisada. Este sistema ha permitido generar un modelo de elevación digital que cubre 13 km² a 2 m de resolución horizontal en el medio terrestre (precisión vertical: 0,15 m) y a 4 m en el submareal, llegando a una profundidad de 21 m (RMSE en fondos sedimentarios: 0,38-0,62 m, RMSE en fondo rocoso: 0,55-1,77 m). Los resultados de fiabilidad muestran que la clasificación del estuario y costa de Urdaibai en 22 hábitats fue bien clasificada ($\kappa = 0.88$), combinando bandas visibles, infrarrojo, y la información altimétrica del LiDAR.

PALABRAS CLAVE: LiDAR, hábitat, clasificación supervisada, batimetría, Urdaibai

ABSTRACT

In June 2008, an altimetric survey of the Oka estuary (SE Bay of Biscay, North Spain) was undertaken using the new bathymetric LiDAR sensor Hawk Eye MK II. This airborne sensor operates with a topographic laser for the altimetric measurement of the terrestrial ground, and a hydrographical laser for the sea bottom detection. This research has two objectives: 1) to assess data quality of the Hawk Eye MK II system, and 2) to assess the discrimination potential of the bathymetric LiDAR sensor for classifying coastal and subtidal habitats, using supervised methods. The system has generated a digital elevation model that covers 13 km² at 2 m spatial resolution in terrestrial zone (vertical error: 0,15 m) and at 4 m in subtidal, extending a water depth of 21 m (RMSE in soft substrata: 0,38-0,62 m, RMSE in rocky substrata: 0,55-1,77 m). The results obtained for the estuarine and coastal classification in 22 habitats showed high accuracy values ($\kappa = 0.88$), combining visible and infrared bands, and the LiDAR information.

KEYWORDS: LiDAR, habitat, supervised classification, bathymetry, Urdaibai

INTRODUCCIÓN

La degradación continua de los hábitats naturales y

las amenazas que se ciernen sobre determinadas especies constituyen una preocupación primordial de la política medio ambiental de la Unión Europea

(Directiva Europea de Hábitats, Council Directive 92/43/EEC). Además, de acuerdo con el cuarto informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, el impacto sobre los sistemas costeros podría acentuarse en los próximos años por la subida del nivel medio del mar. Por consiguiente, es necesario evaluar los impactos potenciales en la costa de este ascenso del nivel del mar para prever, entre otros, problemas como la inundación de zonas naturales y urbanas, el retroceso en playas y humedales, o la modificación de los hábitats. En la actualidad, es posible acceder a información topográfica de alta resolución debido al avance tecnológico de técnicas como el láser topográfico aerotransportado LiDAR (*Light Detection and Ranging*), y el LiDAR batimétrico. Esta información está permitiendo realizar nuevos estudios acerca de la evolución del medio costero y predecir escenarios futuros (Webster *et al.*, 2006; Chust *et al.*, 2010). En este contexto, este trabajo tiene dos objetivos principales: evaluar la calidad de los datos del sistema LiDAR Hawk Eye MK II en el estuario del Oka (Reserva de la Biosfera de Urdaibai, Vizcaya), y evaluar el potencial discriminador de la información LiDAR para clasificar hábitats costeros y submareales mediante métodos de clasificación supervisada.

METODOLOGÍA

Vuelo LiDAR, validación y generación del MED

Entre el 25 y 27 de junio de 2008 se realizó un levantamiento altimétrico en el estuario del Oka y zona costera adyacente mediante un láser aerotransportado LiDAR, propiedad de BLOM Aerofilms. El sistema de láser utilizado es el Hawk Eye MK II (Gonzalo y Flores, 2008), el cual opera en dos bandas espectrales: el láser topográfico en longitudes de onda de 1.064 nm (infrarrojo) y que es empleado para la medición altimétrica del suelo terrestre, y un láser hidrográfico que opera a 532 nm (verde), el cual permite la medición de la elevación del suelo sumergido. El sensor adquiere ambas señales simultáneamente a una frecuencia de pulsación de 4 kHz en batimetría y de 64 kHz en topografía.

La validación de los datos del LiDAR terrestre ha sido efectuada mediante trabajos topográficos de campo. La validación de los datos batimétricos originales ha sido realizada comparando la nube de puntos con una batimetría obtenida con una sonda multihaz (modelo SeaBat7125) de alta resolución (20 puntos/m² en aguas de 5-20 m de profundidad),

y que fueron adquiridos en 2007 (Galparsoro *et al.*, 2009). Por último, se ha evaluado la diferencia promedio y el RMSE (*Root Mean Squared Error*) entre ambas técnicas en función del tipo de fondo y la profundidad. Un Modelo de Elevación Digital (MED) fue generado por interpolación lineal; la resolución espacial se definió en función de la densidad final de puntos y de la extensión de zonas sin datos correctos.

Clasificación de hábitats

Para la clasificación de hábitats, en primer lugar se fusionaron e interpolaron los datos batimétricos y topográficos. A partir del MED se calcularon tres modelos topográficos: pendiente, orientación y modelo de sombras utilizando algoritmos implementados en ENVI.

Se ha evaluado el potencial discriminador para la clasificación de hábitats de los datos altimétricos LiDAR y del infrarrojo cercano con respecto a las fotografías en color verdadero. Tanto las fotografías en color como en infrarrojo corresponden al vuelo de 50 cm de resolución realizado entre 02/06 y 15/07 de 2005, financiado por el Gobierno Vasco y están disponibles en <http://www.geo.euskadi.net/>. En primer lugar, se han definido zonas de entrenamiento de 22 hábitats que cubren la zona supralitoral, intermareal y submareal. Se han utilizado métodos de clasificación supervisada basados en el criterio de máxima verosimilitud que tienen en cuenta los valores espectrales de las bandas visibles e infrarrojo, el MED y los parámetros topográficos (Chust *et al.*, 2004; Chust *et al.*, 2008). Por último, se ha aplicado un filtro mayoritario (5x5 píxeles).

La evaluación de la fiabilidad de la clasificación de los hábitats se ha efectuado comparando las clasificaciones con zonas de referencia validadas en el terreno (diferentes a las utilizadas en el proceso de entrenamiento), utilizando para ello las matrices de error, las medidas de fiabilidad del usuario y del productor, y el coeficiente de acuerdo kappa (Foody, 2002).

RESULTADOS

LiDAR: validación y generación del MED

La densidad de puntos (de suelo) del área terrestre fue en promedio de 1,44 puntos/m². Tras el análisis de los 185 puntos de validación topográficos, se ha estimado que los datos LiDAR se sitúan sistemáti-

camente a 16,7 cm por debajo de la topografía del terreno. En consecuencia, los datos LiDAR han sido corregidos aplicándoles dicho incremento. La precisión vertical (desviación estándar, σ) es de 14,7 cm.

En la parte submareal, la densidad de puntos (correctos) fue de 0,34 puntos/m². Una vez corregidos los datos LiDAR en función de la validación topográfica, los datos batimétricos LiDAR presentaron una diferencia promedio con la sonda multihaz (para toda la superficie común: 1,2 km²) de -0,025 m, con un error RMSE de $\pm 0,84$ m. En cuanto a las diferencias entre ambas técnicas en función del tipo de fondo y la profundidad (Tabla 1), no se aprecia una dependencia clara de la precisión ni de la exactitud con la profundidad en ambos sustratos. Esto indica que la señal depende fuertemente de otros factores, tales como la turbidez o el burbujeo de la zona de rompiente de las olas. Por otro lado, se observa que los fondos sedimentarios presentan en general, una diferencia entre ambas técnicas y un RMSE menores que los del fondo rocoso (RMSE = 0,38-0,62; RMSE = 0,55-1,77, respectivamente); en este caso,

esto puede ser debido a las diferencias de la superficie de las huellas de ambas técnicas y la propia rugosidad de los fondos rocosos. Por último, cabe señalar que el desfase entre la fecha de adquisición de los datos LiDAR con respecto a la multihaz, que es de un año, podría explicar parcialmente la diferencia obtenida, dado que el transporte de sedimentos podría haber cambiado ligeramente la morfología del fondo, especialmente en la desembocadura del estuario.

En base a estas densidades, y teniendo en cuenta la falta de información en ciertas zonas (baja retrodifusión, áreas por debajo de edificios, orillas rocosas con fuerte pendiente, zonas submareales profundas y con turbidez, zonas de rompiente y barcos) se generaron un MED topográfico de 2 m de paso de malla y un modelo batimétrico de 4 m. El área cubierta por el MED fue de 13,7 km², con un 14,4% de la superficie con ausencia de datos (Figura 1), y un 2,5% de la superficie común entre la información topográfica y la batimétrica. Para la generación del DEM completo (topo-batimétrico), se realizó un promedio de los valores altimétricos en la zona común.

Tipo de fondo	Rango de profundidad (m)	dZ medio (m)	σ (m)	RMSE (m)
Sedimentario	15-12,5	0,13	0,45	0,47
	12,5-10	0,16	0,54	0,56
	10-7,5	0,07	0,62	0,62
	7,5-5	-0,22	0,32	0,38
Rocoso	15-12,5	-0,12	0,86	0,87
	12,5-10	-0,75	1,60	1,77
	10-7,5	-0,51	1,35	1,44
	7,5-5	-0,19	0,80	0,82
	5-2,5	-0,22	0,51	0,55

Tabla 1. Diferencia en cota entre los valores obtenidos con la sonda multihaz y la batimetría LiDAR en función de la profundidad y el tipo de fondo. σ : Desviación estándar.

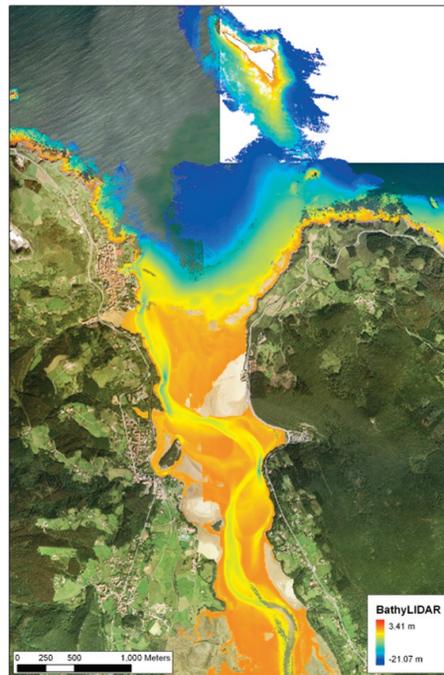


Figura 1. Detalle del MED batimétrico obtenido con LiDAR Hawk Eye MK II.

Clasificación de hábitats

La adición de bandas suplementarias a las del visible supuso un incremento general en los índices de fiabilidad (Figura 2). La variable que mejoró más la discriminación entre clases fue el MED, seguido del NIR, la pendiente y el modelo de sombras. No se obtuvo una mejora significativa con la orientación.

La clasificación final fue obtenida combinando las bandas visibles (rojo, verde y azul) con las mejores bandas suplementarias (banda NIR, MED, pendiente y modelo de sombras), y filtrando esta clasificación resultante mediante un filtro mayoritario (5x5 píxeles, 2 iteraciones). Los índices de fiabilidad global fueron los más elevados obtenidos para esta clasificación (pFP = 92%, pFU = 84%, kappa = 0.88).

El MED mejoró especialmente la clasificación de los hábitats de marisma (*Spartina*, *Juncus sp.*, fangos vegetados) y cubiertas vegetadas supralitorales (Tabla 2). Esta mejora es muy patente en el caso de los fangos vegetados (Figura 3), cuya composición específica es muy heterogénea (algas de *Gracilaria sp.*, *Ulva sp.*, *Enteromorpha sp.* y *Fucus ceranoides*, y la fanerógama *Zostera noltii*). Dicha mejora está asociada al hecho de la importante zonación de las comunidades, es decir, a su disposición vertical en función de la frecuencia de inundación de la marea.

Este resultado es acorde con aquellos obtenidos mediante el LiDAR topográfico para comunidades del intermareal superior y del supralitoral (Chust *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

El LiDAR batimétrico Hawk Eye MK II ha permitido generar un modelo de elevación digital del estuario de Urdaibai a 2 m de resolución horizontal en el medio terrestre (precisión vertical: $\pm 0,15$ m) y a 4 m en el submareal, llegando a una profundidad máxima de 21 m. La diferencia RMSE (entre la batimetría de la sonda multihaz y la del LiDAR) en fondo sedimentarios es de 0,38-0,62 m, mientras que en fondo rocoso es superior (0,55-1,77 m). El área cubierta por el MED fue de 13,7 km², con un 14,4% de la superficie con ausencia de datos.

Los resultados de fiabilidad muestran que la clasificación de hábitats del estuario y de la zona costera de Urdaibai en 22 clases fue bien clasificada con el método de máxima verosimilitud, utilizando las bandas visibles, infrarrojo, y la información altimétrica proveniente del LiDAR. Este resultado refuerza la importancia de la integración de los datos LiDAR con imágenes multispectrales para mejorar la clasificación.

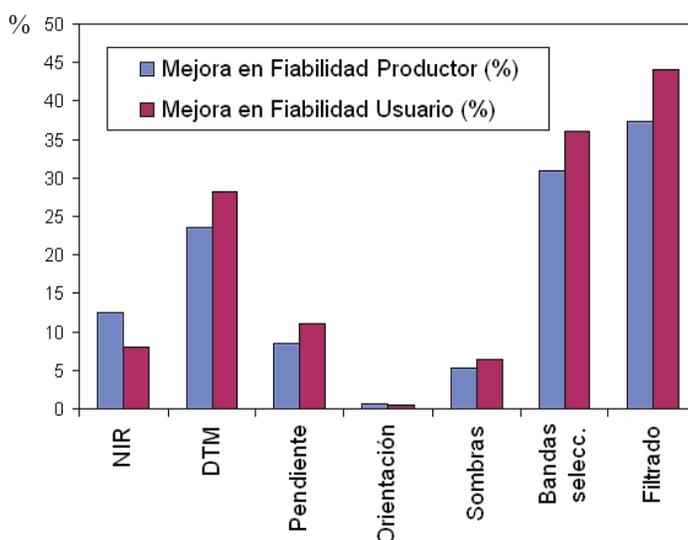


Figura 2. Mejoras (%) obtenidas con la introducción de las bandas suplementarias a las visibles.

	RGB	RGB+MED	Filtrado
Hábitat	FP (%)	FP (%)	FP (%)
<i>Gelidium Sesquipedale</i>	56	72	82
Roca submareal	41	75	79
Arena submareal	12	28	87
Fangos submareales	73	83	89
<i>Corallina officinalis</i>	25	56	95
<i>Chthamalus</i>	53	57	92
Roca supralitoral	26	57	97
<i>Zostera sp.</i>	76	90	91
Arena intermareal	84	94	96
Fangos intermareales	64	72	79
Fangos vegetados	44	86	95
<i>Spartina sp.</i>	13	63	79
<i>Halimione-Salicornia</i>	75	84	98
<i>Juncus sp.</i>	70	87	93
<i>Phragmites australis</i>	81	93	96
Arena supralitoral	98	95	92
Vegetación dunar	53	91	94
Pastos	52	78	95
Praderas	16	99	100
Bosque de ribera	64	84	99
Bosque cantábrico	77	99	100
Artificial	86	90	99
Promedio	55	78	92

Tabla 2. Evaluación de la fiabilidad de la clasificación. FP: fiabilidad del productor.

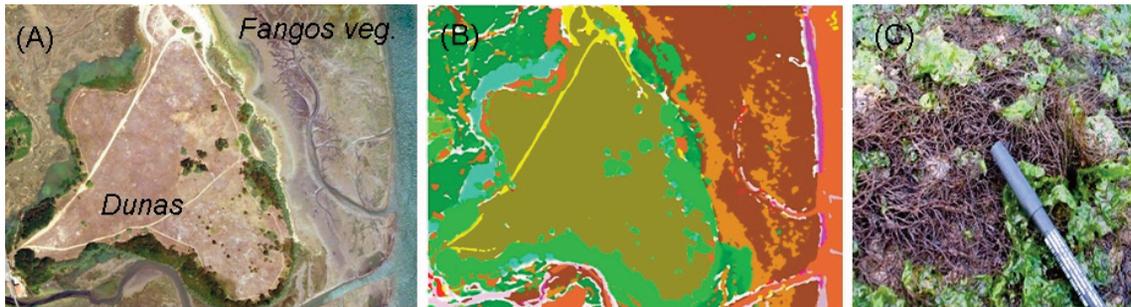


Figura 3. (A) Composición en color de una zona de dunas junto a fangos vegetados; dimensión de la zona: 0,9 km x 1,3 km; (B) Clasificación de la misma zona; (C) Fangos vegetados, aquí dominados por *Gracilaria* sp. con *Ulva* sp.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (Ref.: 0.39/SGTB/2007/4.1) del Gobierno de España, y el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco (proyecto K-Egokitzen, programa *Etortek*).

REFERENCIAS

- CHUST, G., DUCROT, D. & PRETUS, J.L. 2004. Land cover mapping with patch-derived landscape indices. *Landscape and Urban Planning*. 69: 437-449.
- CHUST, G., GALPARSORO, I., BORJA, Á., FRANCO, J. & URIARTE, A. 2008. Coastal and estuarine habitat mapping, using LIDAR height and intensity and multi-spectral imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 78: 633-643.
- CHUST, G., A. CABALLERO, M. MARCOS, P. LIRIA, C. HERNÁNDEZ & Á. BORJA. 2010. Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque (Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* doi:10.1016/j.ecss.2009.12.021.
- FOODY, G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80: 185-201.
- GALPARSORO, I., BORJA, Á., BALD, J., LIRIA, P. & CHUST, G. 2009. Predicting suitable habitat for the European lobster (*Homarus gammarus*), on the Basque continental shelf (Bay of Biscay), using Ecological-Niche Factor Analysis. *Ecological Modelling*. 220: 556-567.
- GONZALO, J. & A. FLORES. 2008. Batimetría LIDAR y su implantación en España, el sistema Hawk Eye II. Congreso Internacional de Ingeniería Geomática y Topográfica, Valencia.
- WEBSTER, T. L., D. L. FORBES, E. MACKINNON & D. ROBERTS. 2006. Flood-risk mapping for storm-surge events and sea-level rise using lidar for southeast New Brunswick. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 32: 194-211.