

Validación de tecnologías para el estudio batimétrico de la zona intermareal de Gipuzkoa

VALIDATING TECHNOLOGY BASED ON BATHYMETRIC SURVEY IN THE INTERTIDAL ZONE OF GIPUZKOA

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/6977> | Recibido: 03/10/2013 • Aceptado: 10/02/2014

■■■
Esther Bautista-Gil, Paz Morer-Camo

UNIVERSIDAD DE NAVARRA. TECNUN.
Escuela Superior de Ingenieros. Dpto. de Mecánica.
Paseo Manuel Lardizabal, 13 - 20018 San Sebastián.
Tfno: +34 943 219877.

ABSTRACT

• This project's goal was to carry out an Airborne LIDAR Hydrographic (ALH) survey of the intertidal zone of the Gipuzkoan coast, in order to cover the supralittoral and infralittoral zones to a depth of at least 8 m. under the astronomical low water mark. In turn, it would provide continuity to the existing bathymetric and altimetric models.

In the coastal strip there were data for the land area obtained with Terrestrial Airborne Laser Scanning (ALS), and there was also a bathymetric survey of the coastal platform carried out through a MultiBeam Echosounder (MBES). Given the difficulties of surveying in the coastline, the works were set so that the ALS survey was carried out during the low tide and the MBES survey was done during the high tide, thus reducing the safety margin under the keel to the minimum.

Both surveys were provided as control elements for the ALH to study the accuracy and reliability of ALH data, since they were obtained with verified technologies with an uncertainty of less than or equal. Although the first studies were carried out solely in the water area through the comparison of the data gathered by ALH and MBES, it soon became clear that a higher number of clearly defined elements was necessary. Therefore, the land study was added to the data collected through ALS technology.

The ALH technology has proven to be the best solution for obtaining coastline cartography, in addition to being the most efficient as well as the safest.

• **Keywords:** LIDAR (Light Detection And Ranging), ALB (Airborne LIDAR Bathymetry), ALH (Airborne LIDAR Hydrographic), ALS (Airborne Laser Scanning), MBES (Multi Beam Echosounders), MDS (Digital Surface Model), MDT (Digital Terrain Model), TVU (Total Vertical Uncertainty), IHO (International Hydrographic Organization).

RESUMEN

El objetivo de este proyecto era levantar con ALH (*Airborne LIDAR Hydrographic*) la zona intermareal de la costa de Gipuzkoa, para cubrir los pisos supralitoral e infralitoral hasta una profundidad de, al menos, 8 m por debajo de la línea de bajamar astronómica, y que a su vez sirviera para dar continuidad a los modelos batimétricos y altimétricos existentes.

En la franja costera se disponía de datos para la zona de tierra obtenidos con tecnología LIDAR Aerotransportado Topográfico (*Airborne Laser Scanning, ALS*), y de un levantamiento batimétrico de la plataforma costera realizado mediante una Ecosonda Multihaz (*Multi Beam Echosounders, MBES*). Dadas las dificultades de levantamiento en la línea de costa, el levantamiento ALS se realizó en marea baja y el de MBES en marea alta reduciendo al máximo el margen de seguridad bajo la quilla.

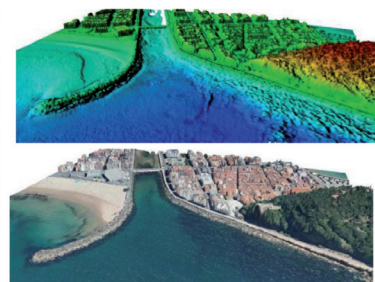
Ambos levantamientos, se proporcionaron como elementos de control del levantamiento ALH, para investigar la exactitud y fiabilidad de dichos datos, por ser datos obtenidos con tecnologías contrastadas con igual o menor incertidumbre. Aunque los primeros estudios se realizaron únicamente en la zona de agua, contrastando los datos tomados con ALH en el agua con datos obtenidos mediante MBES, pronto se vio la necesidad de disponer de mayor número de elementos claramente definidos por lo que se incorporaron los chequeos en tierra con datos recogidos mediante tecnología ALS.

La tecnología ALH se ha manifestado como la mejor solución para obtener la cartografía de la costa, además de ser la más eficiente y segura.

Palabras clave: LIDAR¹ (Detección y medición de distancias por Luz), ALB² (LIDAR batimétrico Aerotransportado), ALH³ (LIDAR Hidrográfico Aerotransportado), ALS⁴ (Láser escáner Aerotransportado), MBES⁵ (Ecosondas Multihaz), MDS⁶ (Modelo Digital de Superficie), MDT⁷ (Modelo Digital del terreno), TVU⁸ (Incertidumbre Total Vertical), IHO (Organización Hidrográfica Internacional).

1. INTRODUCCIÓN

En la costa de Gipuzkoa, a pesar de que se disponía de datos en tierra tomados con ALS, y datos para la zona de agua obtenidos con MBES, no se había podido completar en su totalidad el recubrimiento de una franja de la zona intermareal.



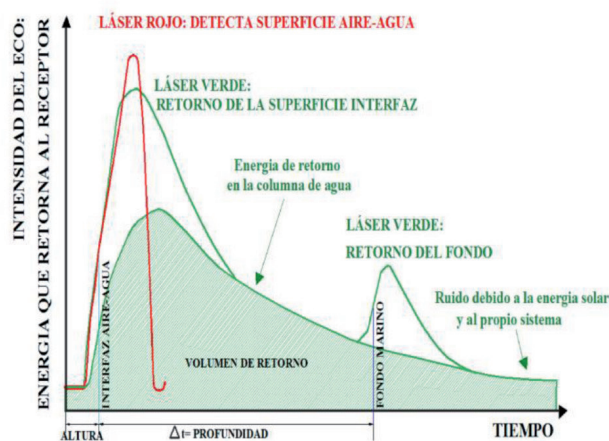
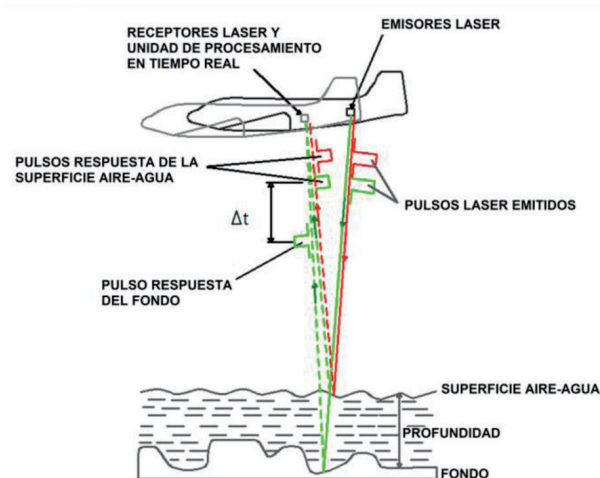


Fig. 1: Principio de funcionamiento del ALB

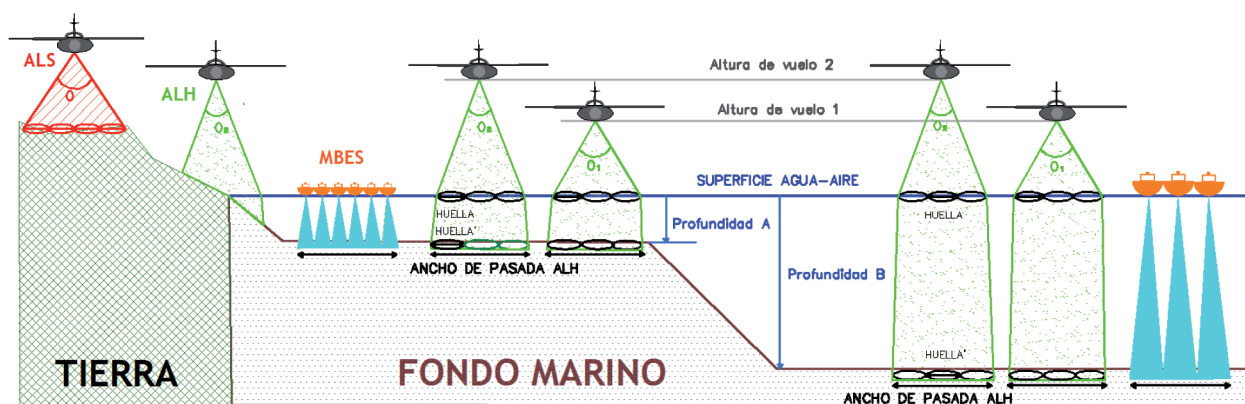


Fig. 2: Esquema de funcionamiento de las tecnologías ALS, ALH y MBES

- ¹ Tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser.
- ² Tecnología LIDAR donde el emisor láser se desplaza aerotransportado y el objeto o superficie estudiado está sumergido.
- ³ Tecnología LIDAR con emisor aerotransportado que determina simultáneamente distancias a objetos y superficies dentro y fuera del agua.
- ⁴ Tecnología LIDAR con emisor aerotransportado y objetos y superficies estudiados no sumergidos.
- ⁵ Tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor de sonido a un objeto o superficie sumergido utilizando más de un haz de sonido.
- ⁶ Representación de las elevaciones de la superficie terrestre y objetos que están sobre ella (vegetación, edificaciones,...)
- ⁷ Representación de las elevaciones de la superficie terrestre.
- ⁸ Dispersión de los valores atribuibles a la magnitud medida en el plano vertical, es decir, a la elevación del terreno.

El poder disponer de un modelo cartográfico¹ de alta resolución de la zona de aguas someras, además de proporcionar precisas cartas batimétricas para la navegación y la pesca, tiene distintas aplicaciones industriales, entre las que podemos destacar:

- Monitorización, construcción y seguimiento de obras costeras y portuarias, tales como diques, espigones o escolleras.
- Aplicaciones cartográficas submarinas para tendido de cables, fibra óptica y tuberías.
- Aplicaciones cartográficas para aprovechar nuevas fuentes de energía como la producida por las mareas, oleaje o corrientes, mediante la instalación de parques de hélices submarinas [1].
- Prospecciones.
- Optimización de rutas para transportes marítimos.
- Posicionamiento y seguimiento de embarcaciones y sumergibles, tripulados o no tripulados.
- Trabajos hidrográficos como dragados, y cubicaciones de material.

¹ Entendido como representación del relieve del terreno.

- Detección de emisarios, vertidos y pecios.

Las importantes aplicaciones en la caracterización de la costa como son:

- Simular y predecir los movimientos de aguas y sedimentos.
- Seguir la evolución de la costa: playas, deltas y acantilados.
- Gestionar el dominio Público Marítimo Terrestre.
- Modelos hidrodinámicos de oleaje y mareas.
- Estudio de hábitats.

El objetivo del presente estudio era por tanto, la obtención de datos de profundidad y relieve en la zona de aguas someras de la franja costera, imposible de obtener mediante técnicas tradicionales, por razones de seguridad y limitaciones para la navegación [2,3].



Fig. 3: Resolución espacial en función de la profundidad, para tecnologías ALB y ecosondas (monohaz y MBES)[10]

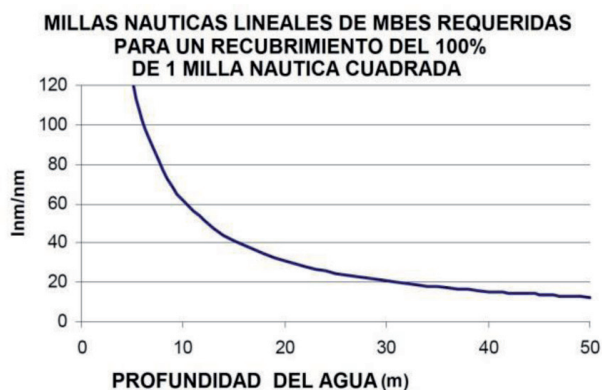


Fig. 4: Incremento cuantitativo del trabajo a realizar con MBES en función de la profundidad [11]

Por este motivo, se pensó en utilizar tecnología LIDAR (*Light Detection And Ranging*) aerotransportada. Estos sistemas determinan las coordenadas tridimensionales de nubes de puntos muy densas, que en el caso de estar tomando datos en tierra, se ha demostrado que son de gran utilidad en aplicaciones territoriales y medioambientales [4,5]. El principio de funcionamiento, se basa en la medición del tiempo transcurrido entre la transmisión y recepción de una señal de láser emitida por el sensor después de haber sido reflejada por la superficie objeto de estudio, lo que permite deducir la distancia entre ellos. Adicionalmente, mediante el análisis de las variaciones de la longitud de onda del rayo emitido, se obtiene información de las propiedades de los objetos atravesados o superficie de impacto.

En las aplicaciones de los ALS, las ondas emitidas por el láser en el infrarrojo (1064 nm), se reflejan al chocar con el agua. Para solventar este problema en los levantamientos batimétricos se utilizan dos láseres, que emite en dos longitudes de onda simultáneamente, verde-azul (532nm) e infrarrojo (1064 nm). El láser verde penetra en el agua llegando al fondo y el láser del infrarrojo choca con la superficie aire-agua detectándola (Fig. 1). La diferencia entre las distancias medidas por ambos láseres permite calcular la profundidad [6].

El uso de la tecnología ALB (*Airborne LIDAR Bathymetry*) permite obtener datos en lugares donde la tipología de la zona presenta grandes dificultades o imposibilidad, para utilizar técnicas tradicionales con barcos [7]. Estos entornos comprenden áreas de estuarios y desembocaduras de ríos, zonas costeras de relieve muy accidentado, zonas de fuertes mareas, zonas de dunas y lagunas, o aguas poco profundas con vegetación y fondos fangosos. Otro motivo para la utilización del ALB radica en su inocuidad para la fauna, en contraste con las molestias que ocasiona los sensores acústicos [8].

Dado que el sensor ALB utilizado en este estudio, suministra además de los datos de la franja costera sumergida datos de la franja costera terrestre (Fig. 2), a partir de ahora hablaremos de ALH o levantamiento hidrográfico, en lugar de LIDAR Aerotransportado Batimétrico (ALB).

El ALB (y ALH), aporta una mayor densidad de datos del fondo, modelizando con mayor precisión el relieve del mismo (Fig. 3.). La tecnología ALH, es además, más rentable que la tecnología basada en los métodos acústicos, fundamentalmente en aguas someras (Fig. 4), reduciendo el coste por unidad de superficie, e incrementando el área que se puede inspeccionar por unidad de tiempo [9].

En la zona terrestre de la franja costera, se estudiarán el Modelo de relieve del suelo (MDT), y aunque de manera más



Fig. 5: Zona de Estudio. Estación GPS utilizada Gernika, y distancia al área de escaneo

somera, las aportaciones de la tecnología ALH respecto a infraestructuras costeras.

Los modelos obtenidos mediante tecnología ALH, se han evaluado y contrastado en la zona de solape con los existentes hasta el momento, ALS en tierra y MBES en el mar [12, 13, 14].

2. MODELOS DEL TERRENO DE LA COSTA DE GIPUZKOA

El área de estudio comprende la franja costera de la provincia de Gipuzkoa (Fig. 5).

El levantamiento realizado con ALH fue necesario clasificarlo como de alto riesgo, a pesar de cubrir un área pequeña, debido a diversos factores:

- Geografía costera compleja con diferencias altimétricas importantes, y con numerosos núcleos urbanos.
- Riesgo de turbidez alto, debido a la posibilidad de mal tiempo y la escorrentía de las montañas y los ríos.
- Restricciones en los permisos de vuelo por hallarse el aeropuerto de Hondarribia, al oeste del área de vuelo.

La Incertidumbre *Total Vertical* requerida era de ± 25 -30cm, correspondientes a las exigencias del Orden especial según las normas de la Organización Hidrográfica Internacional (*International Hydrographic Organization, IHO*) [15]. Al considerar el riesgo del proyecto finalmente se exigió que dicho vuelo fuera considerado como un vuelo que debía cumplir los requisitos de la IHO Orden 1b [IHO08], con excepción del requisito para determinar la medida de los rasgos cúbicos² detectados, por no ser objeto del trabajo contratado. Por lo tanto la TVU exigida fue de ± 50 cm correspondientes al Orden 1b del IHO [15].

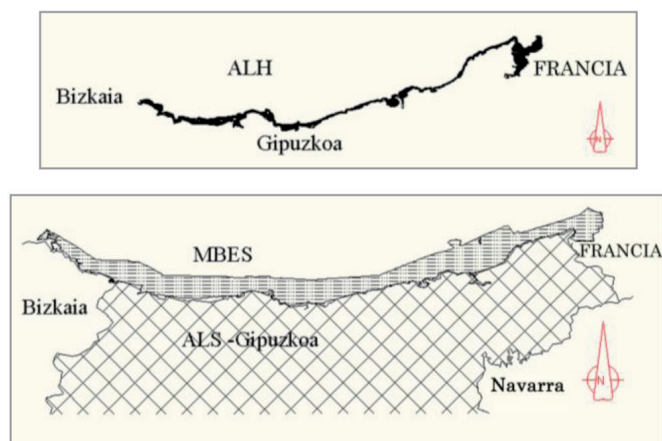


Fig. 6: Arriba: Franja de la línea de Costa de Gipuzkoa volada con ALH. Abajo: Datos existentes de la franja costera y tecnologías con las que han sido obtenidos

² Rasgo cúbico: Medida de cada lado de un cubo que tiene todos sus lados iguales. La dimensión de dicho cubo determina el objeto mínimo que debe detectarse, con el fin de que al conocerse, se eviten peligros para la navegación.

2.1 MODELOS OBTENIDOS MEDIANTE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES

En la franja costera se disponía de dos levantamientos LIDAR topográfico (ALS) propiedad de la Diputación Foral de Gipuzkoa (el último realizado en 2008-9), y de un levantamiento batimétrico de la plataforma costera realizado mediante una Ecosonda Multihaz (*Multi Beam Echosounders, MBES*), propiedad de Azti Tecnalia (en el periodo 2005-2008). Los datos de la franja de agua fueron obtenidos por Azti Tecnalia, y los datos de la franja de tierra fueron capturados y procesados por el ICC (*Institut Cartogràfic de Catalunya*). En la Fig. 6 se muestran los datos proporcionados para el contraste en cada zona, así como la zona a volar con ALH.

2.1.1 Modelo obtenido con MBES

El levantamiento batimétrico se realizó con sondas multihaz de alta resolución SeaBat 7125 de Reson [16,17], que cumplen los estándares mínimos exigidos en el Orden 1a del IHO [15]. Con esta tecnología se obtuvo la información batimétrica de la que se ha dispuesto en el presente estudio, además de información de reflectividad y dispersión de la señal acústica recibida del fondo marino e imágenes digitales. El rango de profundidad barrido con ecosonda fue de 5 a 100 metros.



Fig. 7: MDT obtenido con MBES



Fig. 8: MDT obtenido con ALS

Para realizar el presente estudio, se proporcionó una franja de datos del Modelo Digital del Terreno (*Digital Terrain Model, DTM*), como se ve en la Fig. 7, de 1 m de resolución espacial en coordenadas ETRS89 y cota elipsoidal (UTM, huso 30).

2.1.2 Modelo obtenido con ALS

En la franja terrestre se dispuso de los datos capturados con el sensor ALS50-II de Leica (Fig. 8). Tras el procesado de la nube de puntos capturada, se generaron distintos modelos, MDT, MDS, y un mapa de intensidades de toda la provincia.

La densidad de puntos obtenida fue de 1 punto/m². El sistema de coordenadas para la entrega del producto fue UTM, huso 30 sobre ETRS89 y cota elipsoidal. La precisión del trabajo es de 9 cm en altimetría y de 23 cm en planimetría. Se tomaron cinco estaciones de referencia GPS, cuatro de la RED GPS de Euskadi y una de la red del IGN de Francia.

2.2 MODELO DEL TERRENO OBTENIDO MEDIANTE TECNOLOGÍA ALH

Para el área de estudio se realizó un vuelo ALH de la costa, que posteriormente se procesó para obtener el MDT. En el área de trabajo se han detectado puntos hasta a 26 m de profundidad, siendo la profundidad media de 7,5 m aproximadamente.

Previo a realizar el trabajo se disponía de registro de muestreos de turbidez, disco Secchi, y tipo de fondo en distintos puntos así como información sobre el estado de la mar, y el acceso a datos en tiempo real de oleaje y altura de marea.

Blom Aerofilms realizó el vuelo ALH [18], obteniendo simultáneamente, la nube de puntos de la franja costera utilizando el sensor laser escáner aerotransportado Hawk Eye Mk II, y fotografías de la costa con cámara digital uEye UCGA de 2 Mega píxel. Ambos sensores iban integrados con el sistema para la navegación y posicionamiento GPS/IMU Applanix POS AV 410 y el conjunto iba montado en un avión Rockwell Aero Commander 690.

Blom Aerofilms realizó el vuelo en 2008-9, cubriendo un área de aproximadamente 27 km². La altura de vuelo fue de 400 m, y la velocidad del vuelo de aproximadamente 290 km/h.

Los datos del ALH, con el sensor Hawk Eye II se tomaron con una frecuencia de 1 kHz para el láser verde (4 KHz efectivos) y 8 kHz para el infrarrojo (64 kHz efectivos) [19].

Para georreferenciar los datos LIDAR y las ortofotografías se utilizó únicamente la estación base GPS de Gernika de la Red GPS de Euskadi, en general, a más de 30 km del área de escaneo (Fig. 5). Hubiera sido recomendable disponer de

estaciones GPS en tierra a una distancia menor para asegurar la precisión exigida, aún en los casos de pérdida de señal por alguna circunstancia, como ocurrió en el caso de estudio. No obstante no se ha podido cuantificar la transcendencia de este hecho, por no disponer de datos brutos (obtenidos directamente del avión, sin haber sufrido ningún proceso de edición). Se utilizaron los archivos RINEX con datos tomados cada segundo, obteniendo los datos del vuelo y procesados posteriores, en coordenadas ETRS89, alturas elipsoidales y proyección UTM Huso 30.

El ángulo de escaneo fue de 25°, y el ancho de pasada de 180 m. El recubrimiento entre pasadas teórico del proyecto era del 20%.

2.2.1 Análisis del vuelo ALH

Se describen a continuación de forma somera las características del vuelo ALH, pudiendo encontrar información detallada del mismo, en otros artículos publicados [20]:

- **Recubrimiento** de la zona de estudio irregular. En algunas zonas el vuelo se ha extralimitado y en otras han quedado pequeñas zonas sin cubrir. Existen zonas de agua sin recubrimiento debido a:
 - Factores mejorables en el plan de vuelo.
 - Limitaciones de la tecnología. Las mayores zonas no cubiertas se dan donde existe oleaje, espuma, o turbidez (Fig. 9), debido a que la captura de puntos ALB/ALH, está limitada por la claridad del agua. Estas limitaciones, bajo ciertas condiciones, se podrían solventar con la utilización de la tecnología MBES.
- Los problemas del recubrimiento afectan a la **densidad** de los puntos obtenidos, disminuyéndola y haciendo que este irregularmente distribuida. Otro factor que influye en la densidad obtenida es la distinta altitud del vuelo sobre el suelo dentro de la misma pasada (llegando en algunas zonas a más de 150 metros). La solución a este problema estaría en proyectar alguna línea de vuelo, que aisle las zonas altas del terreno del resto.

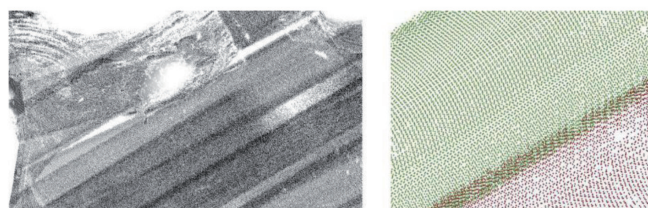


Fig. 10: Solape entre pasadas ALH

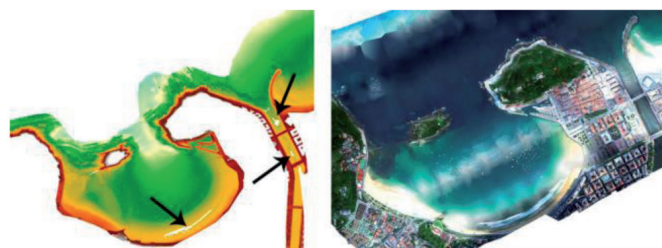


Fig. 9: Zonas sin datos por oleaje en la bahía y por turbidez en la desembocadura del río

Para solucionar el problema de la densidad en futuros trabajos, además de soluciones como aumento del solape entre pasadas, o vuelo de pasadas transversales, se recomienda volar las zonas intermareales en bajamar y pleamar, para evitar rompientes por oleajes y asegurar una captura de datos completa.

Como consecuencia de estos factores, la densidad media real de los datos obtenidos, ha permitido generar modelos de 1 pto/4m² para la zona batimétrica y de 1 pto/m² para la zona terrestre.

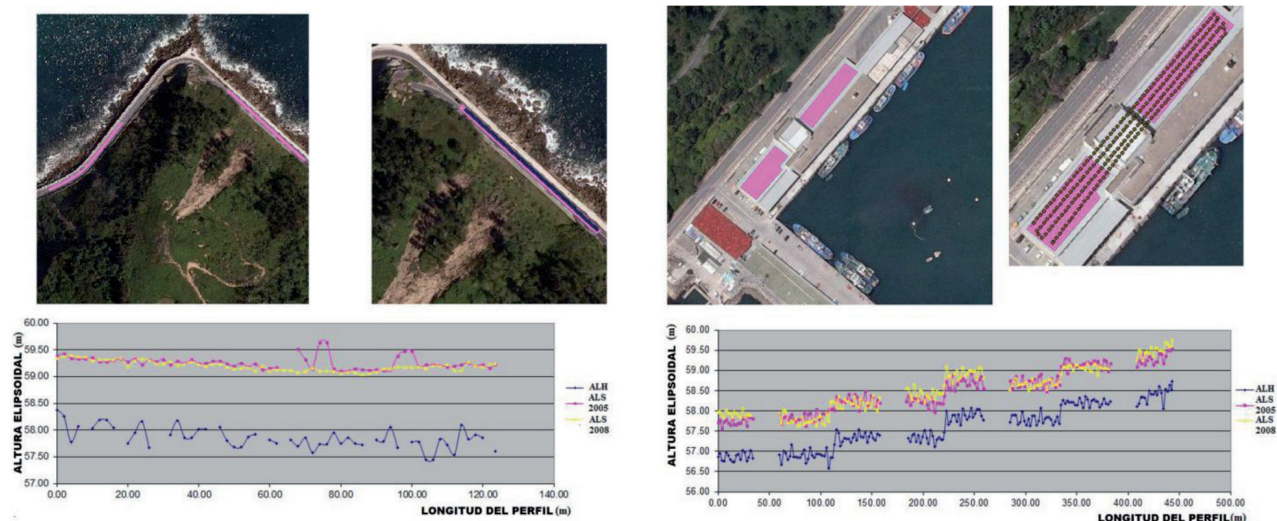


Fig. 11: Comparación de datos obtenidos con ALH, ALS en 2008 y ALS en 2005. Zonas ICZ2 y TCz2

- **Solape** entre pasadas en el área de vuelo muy irregular, existiendo zonas donde casi es del 100% y otras con un recubrimiento muy escaso o incluso pequeñas cuñas sin solape (Fig. 10). La solución a este problema consistiría en una buena planificación de las pasadas de vuelo.

Ajuste o diferencias entre pasadas del vuelo muy bueno, estando ligados los resultados al tipo de fondo, y no pudiendo determinar la relación con la profundidad.

3. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS ALH Y SU INTEGRACIÓN CON LOS MODELOS MBES Y ALS

3.1 CONTRASTE DE MODELOS

El estudio [20], consistió en determinar si existen diferencias relevantes en coordenadas –planimétricas y altimétricas– entre los datos obtenidos mediante ALH y los datos obtenidos para la misma zona con otras tecnologías. Se realizaron comparaciones en zonas concretas obtenidas con técnicas de alta resolución y/o precisión y contrastes con tecnologías rentables de captura masiva para todo el área de estudio. Además se han analizado si estas diferencias son o no uniformes en toda su extensión, y en cualquier dirección de estudio, o si varían y como lo hacen.

Aunque los primeros estudios de toda la franja costera se realizaron únicamente en la zona de agua, contrastando

los datos ALH procedentes del láser de 532 nm con los datos MBES, pronto se vio la necesidad de disponer de mayor número de elementos claramente definidos. Por ello se incorporaron los chequeos en tierra con datos ALS, chequeando elementos edificios, pistas de aeropuertos, carreteras, pistas deportivas, etc. (Fig. 11).

Tras los análisis efectuados se ha visto que:

1. No existen diferencias significativas en planimetría, coincidiendo con lo expuesto en documentos publicados [21]. Esto se explica porque la planimetría únicamente depende del modo de operación GPS utilizado y de las condiciones del propio sistema en el momento de la toma de datos. Precisión planimétrica (RMSE) < 2m.
2. Existen diferencias en altimetría. En la zona de agua la diferencia es de 0,92m siendo los valores del ALH más profundos que los obtenidos con MBES. Estudios realizados por otros autores [21, 22] llegan a la misma conclusión, cuantificando la diferencia en 0,967m.

En la zona de tierra la diferencia es de 0,968 m estando siempre los datos del ALH por debajo de los datos obtenidos con ALS. Estudios realizados por otros autores [23] llegan a otros valores de las diferencias entre ambos sistemas (media de 0,36 m), y en su caso el ALH está por encima del ALS.

Estas diferencias de cotas, se explican por la utilización de distintas formas de establecer el punto de referencia vertical [24], en función de la tecnología utilizada. En particular, en la

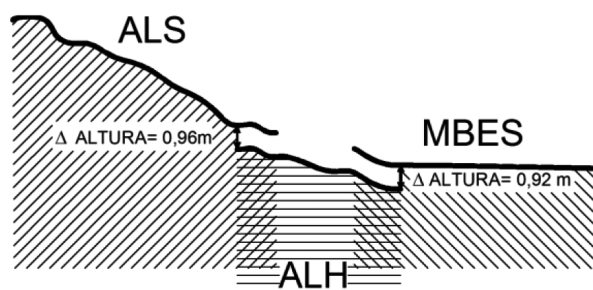


Fig. 12: Diferencias encontradas en altimetría



Fig. 13: Modelo MDT del agua y MDS de tierra, para la desembocadura del río Urumea

obtención de las alturas de los puntos ALH, se ha visto que se han utilizado dos referencias verticales distintas y que el paso de una a otra no se ha realizado correctamente.

La Fig. 12 resume las diferencias existentes en altimetría entre los datos tomados con las distintas tecnologías evaluadas.

3.2 AJUSTE DE LOS DATOS ALH

Existen distintas metodologías para realizar este ajuste [22,23] que han sido valoradas. Al iniciar el proceso de análisis de los conjuntos de datos ALS, MBES y ALH, para decidir cómo realizar el ajuste se detectaron varios problemas [23,25]:

1. Franja de solape entre conjuntos ALH y ALS o ALH y MBES muy estrecha de la que habrá que descontar áreas sin datos para alguno de los conjuntos o zonas donde la altura del terreno varíe con el tiempo (playas por ejemplo).
2. Distintas resoluciones de cada conjunto de datos. ALS 1pto/m², y MBES capturado 1pto/9m² (posteriormente promediados en procesado a 1pto/m²) y en el ALH puntos separados 1 m en tierra y 3m en agua, pero con una distribución menos regular [26].

Tras el estudio pormenorizado de los distintos métodos para realizar el ajuste, se decidió desplazar verticalmente una constante el conjunto de datos ALH, al que se ha incrementado su cota elipsoidal en 95 cm.

Una vez realizado el ajuste, se ha procedido a validar la continuidad del modelo ALH y se ha comprobado que el ajuste era correcto. Sin embargo en algunas zonas de características concretas, en las que había gran dispersión de valores entre los modelos comparados, el ajuste no es perfecto y no cumpliría la TVU del Orden 1b.

Los datos ALH ajustados están disponibles en la página web “Infraestructura de Datos Espaciales” de la Diputación Foral de Gipuzkoa [27], donde también se encuentran todos los datos ALS de la provincia de Gipuzkoa.

3.3 INTEGRACIÓN DE MODELOS, RESULTADO

En el presente estudio se han integrado los datos ALS y ALH, por no disponer nada más que de una franja de terreno del modelo de las MBES (Fig. 13).

Se han generado distintos modelos 3D: MDT y MDS. Los modelos obtenidos son coherentes con una posterior integración de los datos MBES, de forma que se extienda dicho modelo hasta la profundidad de los datos obtenidos con ecosondas (unos 100 m aproximadamente).

4. DISCUSIÓN

Tras el estudio y análisis de los tres conjuntos de datos, las condiciones de captura de los mismos (precisiones, tiempo para capturarlos, costes de cada uno de los levantamientos, ...), y del área concreta de trabajo (relieve, meteorología en el momento de captura de datos,...) [15, 16, 17, 18, 19], se observa que la metodología ALH tiene una serie de ventajas y desventajas respecto a las tecnologías MBES y ALS, que se exponen a continuación.

4.1 PUNTOS FUERTES DEL ALH

- Permite un recubrimiento del 100% de la franja costera, mientras que la tecnología MBES está limitada por la profundidad que hace accesible la toma de datos con

	ALS	ALH	MBES
TIERRA	GRAN DENSIDAD DE DATOS, DISTRIBUIDOS UNIFORMEMENTE	MENOR DENSIDAD DE DATOS, CON LAGUNAS O MENOR DENSIDAD EN ZONAS CONCRETAS (DE DISTRIBUCIÓN ES IRREGULAR)	NO TOMA DATOS
	GRAN EXACTITUD Poco afectado por el ruido (sol, albedo de objetos) y geometría	MENOR EXACTITUD Muy afectado por el ruido (sol, albedo de objetos) y geometría del terreno y objetos	
AGUA	NO TOMA DATOS	OPERA EN AGUAS SOMERAS	NO OPERA EN AGUAS SOMERAS
		ALTA RENTABILIDAD, POSIBILIDAD DE CARTOGRAFIAR GRANDES ZONAS INCLUSO EN CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS - Levantamientos de 70 a +200 km ² al día	MAYOR COSTE DE OPERACIÓN, LIMITADA A CONDICIONES METEOROLÓGICAS NO ADVERSAS
		MUY EFICIENTE [20] - Velocidad entre 70-100m/s - 2 minutos entre pasadas o líneas No obstante: el espacio aéreo es más restringido que el marítimo, los aviones tienen que repostar a diario y las operaciones de mantenimiento han de ser realizadas en tierra.	MAYOR DIFICULTAD DE OPERABILIDAD Y DESPLIEGUE MÁS LENTO [10] [12][20] - Velocidad operación 3-5m/s - Maniobras complejas de una a otra línea
		OPERA EN AGUAS DE RELIEVE ACCIDENTADO	POR SEGURIDAD PARA LA NAVEGACIÓN NO PUEDE OPERAR EN DETERMINADOS RELIEVES DEL FONDO Y PROFUNDIDADES
		PUEDEN TOMAR DATOS EN ZONAS SIN INFORMACIÓN PREVIA	NECESITA INFORMACIÓN PREVIA DE LOS FONDOS
		PROFUNDIDAD LIMITADA A 60-75 M [6][7]	TOMA DE DATOS EN AGUAS PROFUNDAS
		DIFICULTAD DETECCIÓN OBJETOS PEQUEÑOS, agravado si existen algas	MAYOR RESOLUCIÓN HORIZONTAL[9][11] (función de la densidad de datos necesaria)]
		COBERTURA 100% FONDO, CON GRAN DENSIDAD DE DATOS REGULARMENTE REPARTIDOS Con zonas sin datos o poco cubiertas debido al oleaje, espuma, turbidez, o con mucha materia en suspensión	DENSIDAD DE DATOS EN FUNCIÓN DE LAS NECESIDADES. [9][10][11] No rentable en coberturas totales de grandes áreas.
GEO-REFERENCIA	CON GPS, BUENA	DATOS ADICIONALES: • IMÁGENES GEORREFERENCIADAS • DATOS DE REFLECTIVIDAD	
		INOCUO PARA LA FAUNA	MOLESTIAS A LA FAUNA
		NECESITA SER AJUSTADO ALTIMÉTRICAMENTE CON OTRA TECNOLOGÍA	• PIERDE SEÑAL GPS EN ACANTILADOS Y ZONAS CON VEGETACIÓN DENSA [10] • AFECTADO POR LAS MAREAS[9]

Tabla I: Comparación de las tecnologías

ecosonda y el relieve del fondo del mar que permite una navegación segura.

- Rentabiliza el proceso de toma de datos, puesto que permite estudiar grandes áreas en cortos periodos de tiempo, incluso en condiciones meteorológicas adversas.
- Proporciona imágenes digitales simultáneas, que facilitarán el análisis de los datos, fundamentalmente en la zona terrestre, pero también nos darán detalles sobre la posición del sol, oleaje, etc. en la zona marina.

4.2 PUNTOS DÉBILES DEL ALH

- Es necesario ajustar la altimetría de los datos ALH obtenidos con datos provenientes de otras tecnologías, bien MBES u otro tipo de ecosondas validadas altimétricamente, bien ALS u otras tecnologías topográficas clásicas.
- En la zona cubierta por agua, las condiciones físicas del agua en el momento de captura –partículas en suspensión fundamentalmente–, originan lagunas de datos. Igualmente las condiciones de turbulencias, oleaje, espuma, o reflejo del sol impiden obtener datos o falsean los valores obtenidos. Cuando en esas zonas sea necesario disponer de datos fiables, habrá que complementarlos con datos obtenidos por ecosondas.
- En la zona de tierra, las lagunas o escasez de datos ALH, sobretudo en ciertos elementos que se encuentran en determinadas geometrías del terreno, se pueden complementar con datos obtenidos con ALS.

La tecnología ALH es muy reciente, por lo que la evolución de los sensores, van solventando los puntos débiles. En el año 2012 apareció en el mercado el sensor Chiroptera de la casa AHAB [28], utilizándose en Alaska [29].

4.3 RESUMEN

Una de las formas más eficaces para obtener un modelo continuo de la costa, es mediante un levantamiento con tecnología ALH. Esta tecnología toma simultáneamente datos de la franja litoral tanto por encima como por debajo del agua, dándonos el relieve del área cubierta por agua y el de tierra seca, además de aportar información sobre edificaciones, infraestructuras costeras, vegetación etc. Es una tecnología de alto rendimiento, con gran facilidad de despliegue y capaz de obtener de forma muy eficaz levantamientos de gran escala de la costa, además de informar sobre la composición del fondo marino (*Tabla I*).

4.4 ACCIONES DE FUTURO

Existen varias líneas de investigación abiertas, que buscan mejorar el recubrimiento y calidad de los datos ALH:

- El desarrollo de nuevos algoritmos con el objeto de mejorar la clasificación de las nubes de puntos, y los modelos del terreno generados.
- Incrementar el número de clases que puede detectar el ALH, aumentando el número de las existentes actualmente: terreno desnudo, agua, línea costera y objeto
- Desarrollo de nuevos métodos de comparación y ajuste de datos ALH y métodos tradicionales en base a la combinación de imagen y datos LIDAR, y métodos de comparación entre los dos conjuntos de datos LIDAR, ALS y ALH, en base a la intensidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Mikel Elorza Espolosin, jefe de servicio del Departamento de Ordenación y Política Territorial de la Diputación Foral de Gipuzkoa, el suministro de toda la información de partida utilizada (ALH, ALS, MBES), así como el marco proporcionado dentro del proyecto de los “Servicios de mantenimientos de datos LIDAR. Ajuste de cota elipsoidal del levantamiento batiLIDAR”, financiado por el mismo departamento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Honorubia A, Gómez E, Molina A et al. “Sistemas de evaluación del recurso eólico: Integración de nuevas soluciones basadas en tecnología láser”. En: DYNA. Septiembre 2012. Vol. 87-5. P. 540-548. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4644>
- [2] Welker K E. “Determination of Tide Heights from Airborne Bathymetric Data”. Director: Hannah J A. [Master’s Thesis]. Estados Unidos [California]. U.S. Naval Postgraduate School Monterey CA. Defense Technical Information Center. 1989. 107p. [Accession Number : ADA220412, PDF Url : ADA220412]
- [3] Graham T, Smith K, Spittal J, et al. “Improving the efficiency, safety and economy of the New Zealand National Charting Programme through the integrated use of LIDAR in a multi-sensor surveys”. En: Proc. 1999 U.S. Hydrographic Conference, [Apr. 26 – 29, Mobile, Alabama, Estados Unidos, paper 9-5 on CD], 1999. P. 11
- [4] Ibáñez, E. (2008). “Validación de modelos digitales del terreno de precisión a partir de datos láser escáner aerotransportado; aplicación a la marisma del Parque Nacional de Doñana”. Director: Gili Ripoll, J A. [Phd Thesis]. España. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d’Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Copyright deposit: B.33020-2009, 2008. 187p. ISBN: 9788469238257
- [5] Olsen R C, Puetz, A M, Anderson, B. “Effects of LIDAR point density on bare earth extraction and DEM creation”. ASPRS 2009 [Annual Conference Baltimore, Maryland. March 9-13]. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series. Mayo 2009, Vol. 7323. P. 13. [doi 10.1117/12.818186]
- [6] Gordon M N. “Coastal Zone Mapping with Airborne LIDAR Bathymetry”. Director: Ivar Maalen-Johansen. [Master’s Thesis]. Norwegian University of Life Sciences. Departament of mathematical sciences and technology, 2010. 92 p.
- [7] Axelsson A. “Rapid topographic and bathymetric reconnaissance using airborne LIDAR”, Proc. SPIE 7835, Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications IV, 783503. Octubre 2008, 2010. 10 p. [doi:10.1117/12.865227; <http://dx.doi.org/10.1117/12.865227>]
- [8] Boyd I, Brownell B, Cato D, et al. “The effects of anthropogenic sound on marine mammals – a draft research strategy”, European Marine Board Position Paper, 13. European Science Foundation, Marine Board: Oostende. 2008. 82p. ISBN 2-912049-85-7
- [9] Guenther G C, Cunningham A G, LaRocque, P E et al.

- "Meeting the accuracy challenge in airborne LIDAR bathymetry". En proceedings 20th EARSeL [Symposium: Workshop on LIDAR Remote Sensing of Land and Sea, June 16-17, 2000. Dresden, Germany, European Association of Remote Sensing Laboratories, (paper #1 on CD)]. 2000. P 23.
- [10] Dierssen H M, Theberge A E. "Bathymetry: Assessing Methods. Encyclopedia of Natural Resources". Taylor & Francis Group. [New York]. In press. [Coastal Ocean Laboratory for Optics and Remote Sensing (COLORS). University of Connecticut]. Disponible en World Wide Web: http://www.colors.uconn.edu/pubs/DIERSEN-Bathymetry_Methods_LO.pdf [Consulta: 3 septiembre 2013]
- [11] Gianoutsos N, Greenaway S, Evans B K, et al. "Field Integration of LIDAR and Sonar Hydrographic Surveys". 2005. Disponible en World Wide Web: http://www.thsoa.org/hy07/05_05.pdf [Consulta: 15 marzo 2013]
- [12] Costa B M, Battista T A, Pittman S J. "Comparative evaluation of airborne LIDAR and ship-based multibeam Sonar bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems". Remote Sensing of Environment. [Elsevier Inc]. 2009, Vol. 113, pp. 1082-1100.[Issue: 5].ISSN: 00344257
- [13] Molina A, García C, González M B. "A comparative analysis of capabilities and limitations of acquisition systems of hydrographic marine data". FIG Working Week, 2011 [Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco, 18-22 May 2011TS08J - Marine/Coastal Modelling and Technology].
- [14] Valle M, Borja Á, Chust G, et al. "Modelling suitable estuarine habitats for *Zostera noltii*, using Ecological Niche Factor Analysis and Bathymetric LIDAR". Estuarine, Coastal and Shelf Science 2011. Vol. 94 p.144-154.
- [15] IHO (International Hydrographic Organization. Standards for Hydrographic Surveys. Special Publication No. 44 5th. Monaco: International Hydrographic Office, February 2008. 36p.
- [16] Chust G, Grande M, Moncho R et al. "Capacidades del LIDAR batimétrico Hawk Eye MKII". En: Teledetección. Agua y desarrollo sostenible. Proceedings XIII Congreso de la Asociación española de teledetección [Calatayud, 23-26 de septiembre de 2009], Ed. Salomón Montesinos Aranda y Lara Fernández Fornos, 2009. P. 493-496
- [17] Galparsoro I, Borja Á, Legorburu I, et al. "Morphological characteristics of the Basque continental shelf (Bay of Biscay, northern Spain): their implications for Integrated Coastal Zone Management". Geomorphology .2010, Vol.118, [Issues 3-4], p. 314-329
- [18] Blom Aerofilms. Report of survey bathymetric LIDAR survey, Guipuzkoa coast, Spain. Job No: HK/005/08. Informe inédito. Cheddar (The Astrolabe Business Park, Wedmore Road Cheddar Somerset BS27 3EB United Kingdom), 2009.74 p. Informe técnico Blom Aerofilms.
- [19] Liu X, Axelsson A, Tulldahl H M. "LIDAR Seafloor Classification: New Application for HawkEye II Airborne LIDAR System". Hydro International. 2011, Vol. 15 [num 3]. Diponible en web: http://www.hydro-international.com/issues/articles/id1265-LIDAR_Seafloor_Classification.html [Consulta: 5 dec 2012]
- [20] Bautista E Morer P. Levantamiento Hidrográfico Aerotransportado: Necesidad de combinación de distintas tecnologías. [CD-Rom]. X TOPCART 2012 - I Congreso Iberoamericano de Geomática y Ciencias de la Tierra - III Jornadas Ibéricas de las Infraestructuras de Datos Espaciales. [Pabellón de La Pipa de la Casa de Campo] Madrid. 16-19 octubre 2012.
- [21] Operation Beachmed-e. Sous-projet OpTIMAL (mesure 2.1): Optimisation des techniques integrees de monitoring appliquees aux littoraux. Rapport de conclusion - phase a [2ème edition]. [s.n.], février 2007. P. 36-62
- [22] Intelmann S S. Comments on hydrographic and topographic LIDAR acquisition and merging with multibeam sounding data acquired in the Olympic Coast National Marine Sanctuary [NOAA Technical Memorandum NMS Conservation Series ONMS-06-05] [en línea]. [U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Office of Ocean and Coastal Resource Management Coast, National Marine Sanctuary Program]. Agosto 2006, 27 p. Disponible en World Wide Web:<http://sanctuaries.noaa.gov/science/conservation/pdfs/Intelmann3_final.pdf>. [Consulta: 5 dec 2012]
- [23] Quadros N D, Collier P A, Fraser C S." Integration of bathymetric and topographic LIDAR: a preliminary investigation". En: ISPRS Archives. Vol. XXXVII [Part B8, 2008. XXlst ISPRS Congress, Technical Commission VIII, July 3-11, 2008]. Beijing [China], 2008. P. 1299-1304. Disponible en World Wide Web:< http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/13_ThS-19/01.pdf >. [Consulta:16 de enero de 2013]
- [24] Keyzers J H, Quadros N D, Collier P A. "Vertical datum transformations across the litoral zone". Informe inédito. The Commonwealth Government of Australia Department of Climate Change and Energy Efficiency CRC for Spatial Information [Australia], 2013. 110 p. Disponible en World Wide Web:<<http://www.jcronline.org/doi/abs/10.2112/JCOASTRES-D-12-00228.1>>. [Consulta: 10 junio de 2013]
- [25] Quadros N D, Collier P A." Delineating the litoral zone using topographic and batymetric LIDAR". En Proceedings of the fifth Advisory Board on the Law Of the Sea (ABLOS) Conference. Publisher International Hydrographic Bureau, 2008. Disponible en World Wide Web <<http://www.gmat.unsw.edu.au/ablos/ABLOS08Folder/Session5-Paper3-Quadros.pdf>>. [Consulta:10 de junio de 2013].
- [26] Naus T." Unbiased LIDAR data measurement". En: Fugro Horizons, Inc. ASPRS 2008 .Annual Conference Portland [Oregon],2008. Disponible en World Wide Web:<http://www.asprs.org/a/society/committees/LIDAR/Unbiased_measurement.pdf>. [Consulta: 10 de junio de 2008]
- [27] Infraestructura de Datos Espaciales de Gipuzkoa. Diputación Foral de Gipuzkoa. [en línea]. Disponible en World Wide Web <<http://b5m.gipuzkoa.net/web5000>> [Consulta 12 de septiembre de 2013].
- [28] Petrie G. "AHAB's Chiroptera". GEOInformatics.Marzo 2012. Vol. 15 [Issue 2]. p24 [accessión 78300891]
- [29] Paine J G, Andrews J R, Saylam K, et al. "Airborne LIDAR on the Alaskan North Slope: Wetlands mapping, lake volumes, and permafrost features". Bureau of Economic Geology [Special section in Hydrogeophysics].Julio 2013. Vol. 32 - 7 p. 798-805. <http://dx.doi.org/10.1190/tle32070798.1>