

# Diseñan el primer robot capaz de localizar e inspeccionar oleoductos y cables submarinos de forma totalmente autónoma

PALABRAS CLAVE:  
vehículos  
autónomos  
submarinos,  
sensores acústicos  
marinos,  
explotación de  
petróleo, robótica.

Científicos del grupo de Tecnología Electrónica de la UIB han desarrollado un sistema experto que reduce costos y supera la efectividad de los actuales vehículos manejados por control remoto desde una embarcación

KEYWORDS:  
unmanned  
untethered  
submersible  
technology,  
autonomous  
underwater vehicles  
(AUVs), acoustic  
sensors, oil  
exploitation,  
robotics



*Vehículo fabricado por la empresa británica Subsea 7, sobre el que se implementa un sistema experto que le proporciona autonomía para localizar e inspeccionar ductos y cables.*

**Resumen:** Durante los próximos meses de agosto y septiembre (2004) navegará por aguas del Mar del Norte el primer vehículo submarino autónomo equipado con un sistema experto capaz de detectar oleoductos y cables submarinos sin necesidad de mantener una conexión física con una embarcación o plataforma superficial.

El ingeniero Oscar A. Calvo, del grupo de Tecnología Electrónica del Departamento de Física de la UIB, ha sido el encargado de diseñar los sistemas de

inteligencia artificial que, implementados al vehículo, lo dotan de capacidad de decisión a la hora de seguir el rastro de un ducto o un cable. El AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) ha sido desarrollado gracias a un proyecto financiado por la UE en el que han participado, además de la UIB y otras dos universidades, la Heriot-Watt University (Reino Unido) y la Universidad Nacional Técnica de Atenas (Grecia), tres empresas británicas, Innovatum Internacional Ltd (Sensores magnéticos), Subsea 7 (Operaciones



*Imagen de antiguos pozos explotados por la British Petroleum. La compañía británica, junto con otras cuatro empresas europeas, participa en el proyecto.*

submarinas) y BP Amoco Exploration (Exploración de petróleo); y dos danesas, SEAS Distribución AmbA (cables de energía submarinos) y Alcatel Submarine Network AS (cables de telecomunicaciones submarinos),

Los actuales sistemas de localización de ductos y cables, mediante robots controlados remotamente y unidos por un "cordón umbilical" a una embarcación presentan dos grandes inconvenientes. En primer lugar el enorme costo que supone su flete. En segundo lugar, el considerable margen de error que existe en el control del robot, cuyo cable de unión, a grandes profundidades, entorpece la navegación. En estas condiciones, la localización de estructuras en el

lecho marino se convierte en un arduo trabajo con no pocos resultados infructuosos.

Los sistemas de inteligencia artificial desarrollados en la UIB e implementados a un submarino Subsea 7 permitirán salvar esas desventajas y contar con un vehículo capaz de corregir su propia ruta y localizar, en base a sensores acústicos y magnéticos, todo tipo de estructuras situadas en el fondo del océano.

### Introducción

A medida que se han ido agotando los recursos petrolíferos en los pozos practicados en tierra firme o a poca profundidad se ha hecho necesario perforar mar adentro, cada vez a más distancia de las costas. En consecuencia, también ha sido necesario tender oleoductos submarinos cada vez de más longitud y a mayores profundidades. Sin embargo, no son los oleoductos las únicas estructuras de transporte de fluidos que se tienden sobre el lecho marino. Existen otros: poliductos para gasolinas y otros derivados; propanoductos para gas propano, o gasoductos para gas natural.

Tender estas estructuras de acero en el lecho del mar o del océano, entre distintas masas de tierra, es ya una práctica común para el transporte de fluidos combustibles. Estas grandes tuberías suelen incorporar una protección catódica para evitar su corrosión. La técnica consiste en convertir el metal en un cátodo mediante el paso de una corriente de electrones procedentes de un ánodo. No obstante, a pesar de estas precauciones, se hace necesaria una inspección periódica de los ductos para evitar roturas. Son muchas las causas que pueden provocar fisuras: desplazamientos del lecho marino debido a movimientos geológicos, o incluso la acción de las artes de embarcaciones de pesca, por ejemplo.

Aunque los casos más graves de mareas negras se deben a los accidentes en los que han intervenido buques petroleros, alguno de los derrames de crudo más importantes se ha debido a la rotura de oleoductos. Es el caso de la marea negra que el 19 de enero del 2000 afectó a la Bahía de Guanabara

(Brasil): 1.290 toneladas de petróleo refinado fueron a parar a las playas de Rio de Janeiro.

Junto a los ductos para el transporte de fluidos, otras estructuras se tienden desde finales del siglo XIX en el lecho marino. Son los llamados cables submarinos, que tanto pueden estar destinados al transporte de energía eléctrica, como a servicios de telecomunicación. En España existen dos cables submarinos para el transporte de energía. Uno entre Marruecos y la Península Ibérica, a través del Estrecho de Gibraltar, y otro entre Mallorca y Menorca. En cuanto a los segundos, los primeros cables telegráficos submarinos datan de finales del siglo XIX, siendo el que unió el Reino Unido y Francia a través del Canal de la Mancha el primero en ser tendido. Ya en el siglo XX se desarrollaron los cables telefónicos submarinos.

### El instrumental actual

Todas estas estructuras, distintos tipos de ductos y cables, son inspeccionados hoy día mediante vehículos a control remoto (ROV), robots manejados desde plataformas o embarcaciones, unidos a ellas mediante un cable, un pesado "cordón umbilical". Este tipo de vehículos son los que se han utilizado, por poner algunos ejemplos, en el sellado de las grietas del hundido *Prestige* frente a las costas gallegas, o para localizar el casco del *Titanic*.

Por lo general este tipo de robots unidos a una plataforma o a una embarcación, utilizan una ecosonda y, en ocasiones, energía eléctrica para iluminar el fondo, energía que les llega a través del "cordón umbilical".

El método presenta, sin embargo, dos importantes desventajas: el deficitario control del robot debido al propio cable que lo une a la embarcación y el costo que este tipo de operaciones lleva aparejado. Fletar una de estas embarcaciones tripuladas con todo el equipo humano para el manejo del robot puede alcanzar la cifra de 10.000 euros/día.

Estos problemas crecen exponencialmente con

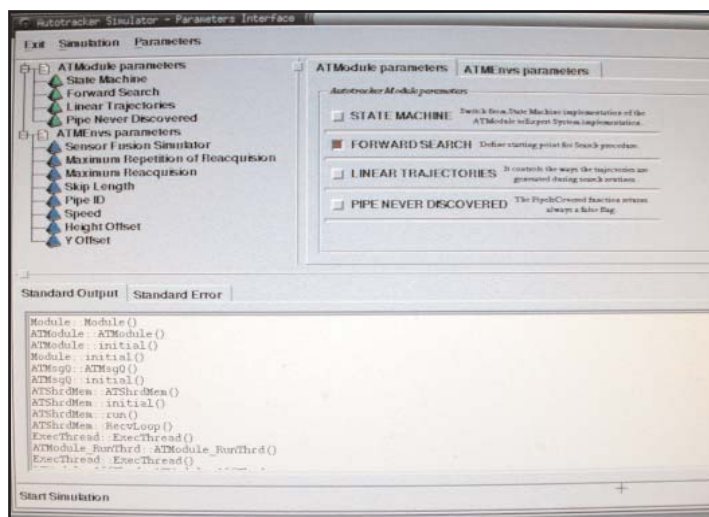


respecto a la profundidad a la que se encuentra el ducto o el cable a inspeccionar. El principal reto para este tipo de instrumental controlado remotamente desde una embarcación o plataforma superficial es la localización de la estructura, sea ducto o cable submarino.

### Robótica inteligente

Con el objeto de salvar estas desventajas, tres

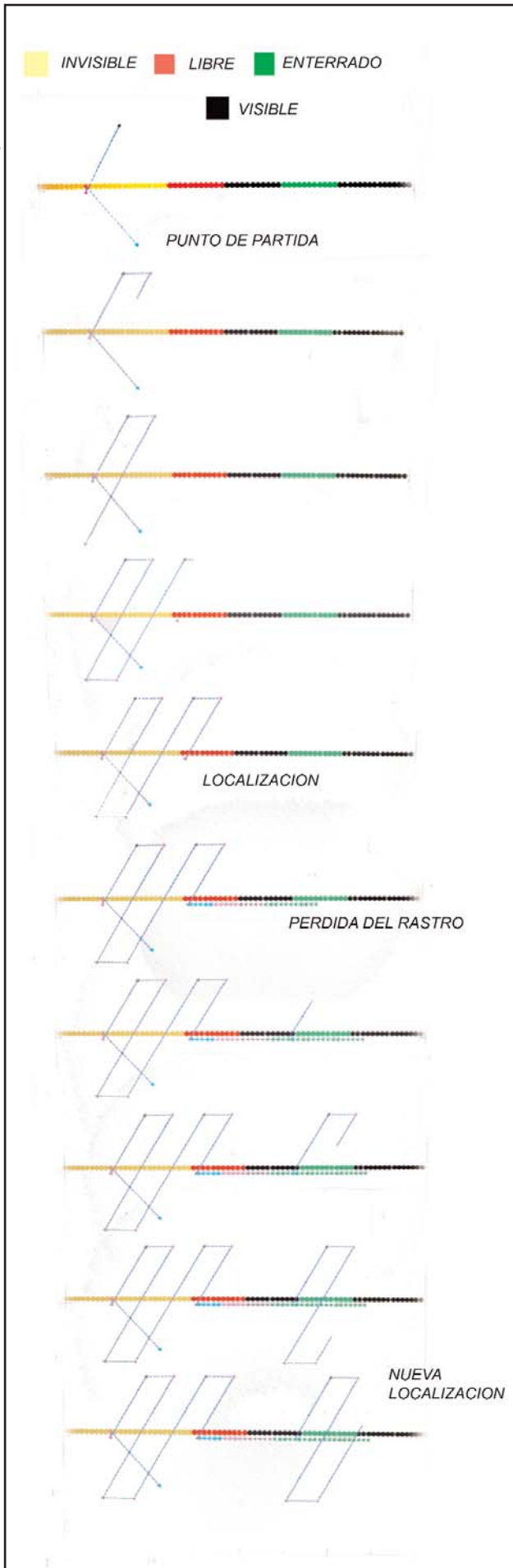
Arriba una embarcación de las utilizadas para inspeccionar ductos y cables, con robots controlados remotamente. Abajo, imagen del programa simulador sobre el que se han ensayado los sistemas que se implementarán en el submarino.



Una vez liberado el vehículo submarino es capaz de realizar un patrón de búsqueda mediante una trayectoria en zig-zag sobre la hipotética situación del cable o ducto, hasta que mediante sus sensores lo localiza. En la imagen se pueden observar los distintos pasos dados por el AUV según sea la situación del oleoducto.

El color amarillo corresponde a un tramo en el que el oleoducto no es visible. El color rojo corresponde a un tramo en el que el ducto está suspendido entre dos salientes de arena, es decir, no reposa sobre el fondo. El color negro corresponde a tramos totalmente visibles, que pueden alternarse con soterramientos parciales. El color verde corresponde a tramos totalmente enterrados.

En azul se indica la trayectoria del AUV. Cuando el minisubmarino pierde el rastro del ducto -tramo verde- inicia una trayectoria en zig-zag hasta que encuentra un tramo visible. Cuando lo localiza es capaz de volver sobre sus pasos y, situándose en el punto donde había perdido el rastro, seguir la dirección del oleoducto enterrado.



universidades, la Heriot-Watt University (Reino Unido) que actúa como coordinadora, la Universidad Técnica de Atenas (NTUA) y la Universitat de les Illes Balears; tres empresas británicas, Innovatum Internacional Ltd, BP Exploration Company Ltd y Subsea 7; y dos empresas danesas, SEAS Distribución AmbA y Alcatel Submarine Network, iniciaron en 2001 un proyecto financiado por la Unión Europea.

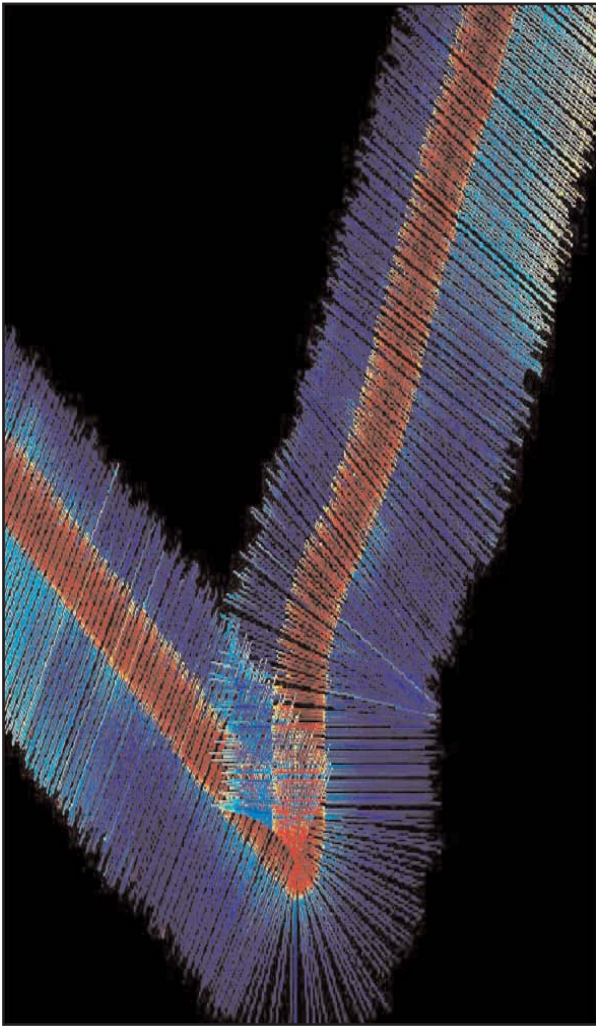
El proyecto, cuyo acrónimo es AUTOTRACKER, se centra en el desarrollo de un vehículo submarino autoguiado (AUV) con capacidad para detectar el oleoducto o el cable submarino y seguir la dirección que éste toma para realizar la inspección.

El ingeniero Oscar A. Calvo, profesor de Física de la UIB, es el encargado de desarrollar un sistema experto que permite al vehículo realizar esta tarea.

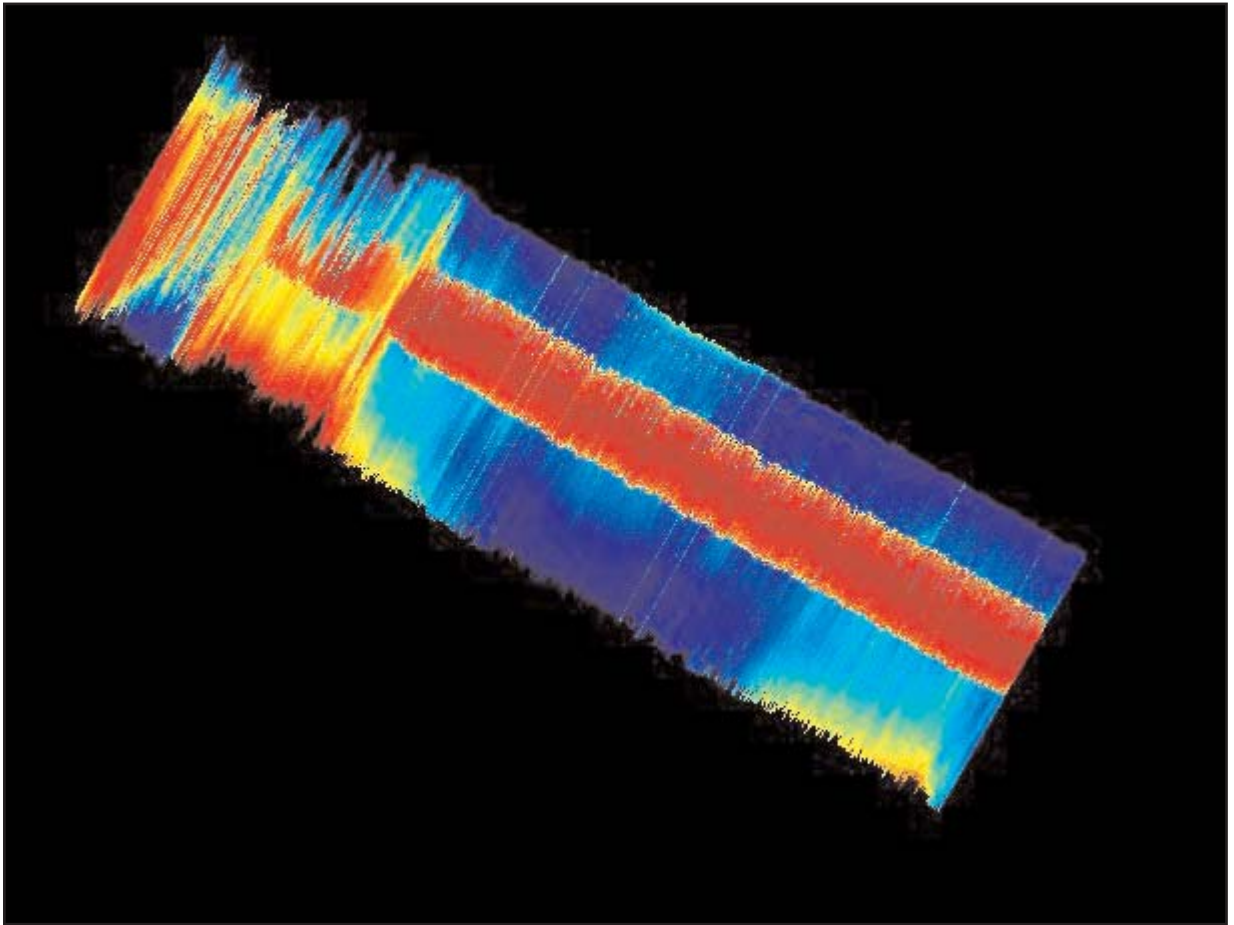
El profesor Oscar A. Calvo explica que "cuando se tiene un oleoducto o un cable submarino normalmente se hace una trinchera donde ubicarlo. Pasado el tiempo, el oleoducto puede presentarse de muy diversas maneras: puede estar absolutamente enterrado en algunos tramos debido a la deposición de sedimentos sobre él, mientras que en otros puede aflorar. Puede haberse desplazado por la acción de las artes de una embarcación o por movimientos geológicos sin llegar a romperse. Cuanto más pequeño es el ducto o el cable y a más profundidad se halla, más difícil es la tarea de localizarlos y seguirlos en toda su longitud para poder detectar fisuras, escapes, etc".

El vehículo diseñado por el proyecto AUTOTRACKER, esta equipado con dos sistemas básicos para la detección y seguimiento de la estructura que debe localizar: sensores acústicos y sensores magnéticos.

Una vez liberado el vehículo submarino, éste es capaz de realizar un patrón de búsqueda mediante una trayectoria en zig-zag sobre la hipotética situación del cable o ducto, hasta que mediante sus sensores lo localiza. En este punto, el vehículo puede retroceder a su situación inicial sabiendo ya la dirección que tiene la estructura y comenzar así su análisis. En realidad, la implementación del sistema experto que se desarrolla en la UIB para un minisubmarino viene a sustituir la tarea que realizaba todo un equipo humano



*Imágenes de la liberación de un AUV desde una embarcación. El vehículo se autopilota. Arriba a la izquierda el resultado de un barrido con ecosondas localizando un ducto en el fondo marino.*



*Imagen acústica de un oleoducto. El AUV "observa" así la estructura como resultado del trabajo de sus ecosondas.*

a bordo de una embarcación base, es decir la toma de decisiones respecto a la búsqueda del ducto o cable. El robot así implementado es capaz de "buscar" al ducto por sí solo y con una autonomía de 24 horas.

Para poder verificar el comportamiento de todos los sistemas de inteligencia artificial que dotaran al AUV de estas capacidades se ha llevado a cabo en un simulador que se compone de dos partes principales: un simulador del entorno propiamente dicho, denominado ATMEnvS, y un simulador del bloque de fusión de sensores (magnético, acústico) además de todos los datos históricos incorporados. Este último simulador es llamado SFMSim.

Todos los equipos que trabajan en el equipamiento del vehículo submarino pueden acceder simultáneamente al simulador, que reproduce fielmente un submarino real, para incorporar los distintos programas y realizar los cambios que sean precisos.

En la actualidad se están incorporando todos los

módulos de hardware y software en el vehículo real y a principios del mes de agosto (2004) todo el trabajo realizado mediante simuladores será testado en el mar con la plataforma real. En primer lugar se realizarán las pruebas en aguas de Escocia, en el puerto de Peterhead, mientras que ya en el mes de septiembre el AUV será probado en mar abierto, en el Mar del Norte.

El AUV podrá ser destinado, también, a la investigación oceanográfica.

Han participado en este proyecto, además del personal propio del grupo de Tecnología Electronica de la UIB (GTE), investigadores de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) quienes realizaron estancias en la UIB en calidad de profesores visitantes. En particular el Dr. Ing. Gerardo Acosta y el Ingeniero Hugo Curti participaron activamente en la realización del sistema experto.

## **Proyectos financiados**

---

Título: Autonomous inspection of subsea telecommunication cables, power cables and pipelines.

Entidad financiadora: UE. V Programa Marco.

Referencia: G3RD-CT-2000-00265.

Acrónimo: AUTOTRACKER

Período:2001-2005

Título Actividad: Navegación de submarinos Autónomos aplicados al seguimiento de cables y oleoductos submarinos

Entidad financiadora: Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología

Referencia: TIC2001-3993-E

Período: 2001 - 2004

Título: Inteligencia Artificial aplicada a submarinos autónomos

Entidad financiadora: European infrastructure for energy reserve optimisation-Unió Europea

Referencia: EIERO- UE.

Período: 2002-2003

Título: Autonomous vehicle for underwater inspection

Entidad financiadora: Marie Curie Incoming International Fellowships - UE. VI Programa Marco.

Referencia: Proposal N°003027 - FP6-Mobility-7

Acrónimo: AUVI

Período: 2004-2007

## **Investigador responsable**

---

Ingeniero Oscar A. Calvo Ibáñez, profesor titular de Escuela Universitaria

Grupo de Tecnología Electrónica

Departamento de Física

Edificio Mateu Orfila i Rotger

Tel.: 971 17 13 79

E-mail: [oscar.calvo@uib.es](mailto:oscar.calvo@uib.es)



*El profesor Oscar A. Calvo en su despacho del edificio Mateu Orfila i Rotger del campus de la UIB.*

### **Otros miembros del equipo**

---

Dr. Eugeni García Moreno, catedrático de Universidad, del Departamento de Física de la UIB

Dr. Joaquin Tintoré, director del Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (CSIC-UIB)

Dr. Ing. Gerardo Gabriel Acosta (profesor de la Universidad Nacional del Centro de la Pcia. De Buenos Aires (Argentina))

Ing. Hugo Javier Curti (profesor de la Universidad Nacional del Centro de la Pcia. De Buenos Aires (Argentina))

Ing. Javier Mochnacs (becario del Proyecto AUTOTRACKER - UIB)

Ing. Alberto Rodríguez (becario del Proyecto AUTOTRACKER - UIB)

### **Instituciones y empresas que participan en el proyecto**

---

Coordinador: Heriot-Watt University (Reino Unido)

NTUA National Technical University of Athens (Grecia)

Universitat de les Illes Balears (UIB)

Innovatum International Ltd (Reino Unido)

SEAS Distribution AmbA (Dinamarca)

BP Exploration Operating Company Ltd (Reino Unido)

Alcatel Submarine Network AS (Dinamarca)

Subsea 7 (Reino Unido)

### **Comunicaciones a congresos**

---

O. Calvo, G. Acosta, y otros. New challenges for AUTOTRACKER, UUVS Showcase, Southampton, Septiembre, 2002

H. Curti, G. Acosta, O. Calvo. Estrategia de recuperación de trayectoria en vehículos submarinos autoguiados, WICC03. Tandil, 2003

G. Acosta, H. Curti, O. Calvo, y J. Mochnacs. An Expert Navigator for autonomous underwater vehicle. The Argentine Symposium on Artificial Intelligence (ASAI'03) Septiembre 3-5, 2003