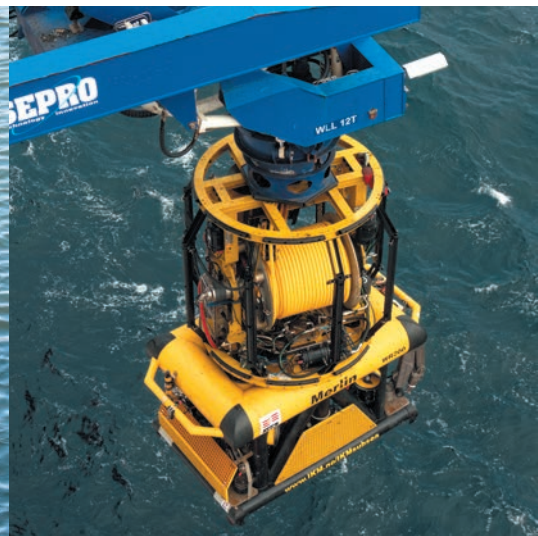
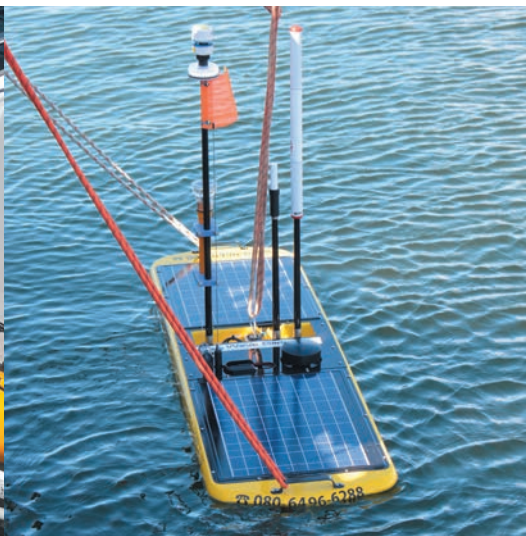
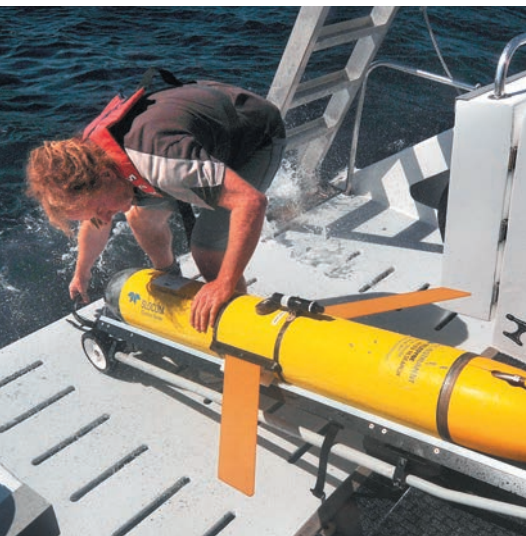


# Vigilancia en el agua de derrames de hidrocarburos en el mar

Directrices de buenas prácticas para el personal de manejo de incidentes y respuesta a emergencias



# IPIECA

La asociación de la industria global del petróleo y del gas para cuestiones medioambientales y sociales

Piso 14, City Tower, 40 Basinghall Street, Londres EC2V 5DE, Reino Unido  
Teléfono: +44 (0)20 7633 2388 Fax: +44 (0)20 7633 2389  
Correo electrónico: [info@ipieca.org](mailto:info@ipieca.org) Sitio web: [www.ipieca.org](http://www.ipieca.org)



## Asociación Internacional de Productores de Petróleo y Gas

### *Oficina registrada*

Piso 14, City Tower, 40 Basinghall Street, Londres EC2V 5DE, Reino Unido  
Teléfono: +44 (0)20 3763 9700 Fax: +44 (0)20 3763 9701  
Correo electrónico: [reception@iogp.org](mailto:reception@iogp.org) Sitio web: [www.iogp.org](http://www.iogp.org)

### *Oficina de Bruselas*

Boulevard du Souverain 165, 4th Floor, B-1160 Bruselas, Bélgica  
Teléfono: +32 (0)2 566 9150 Fax: +32 (0)2 566 9159  
Correo electrónico: [reception@iogp.org](mailto:reception@iogp.org)

### *Oficina de Houston*

10777 Westheimer Road, Suite 1100, Houston, Texas 77042, Estados Unidos  
Teléfono: +1 (713) 470 0315 Correo electrónico: [reception@iogp.org](mailto:reception@iogp.org)

## Informe de IOGP N.º 550

Fecha de publicación: 2016

© IPIECA-IOGP 2016 Todos los derechos reservados.

Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse, almacenarse en un sistema de recuperación ni transmitirse de ninguna forma ni por ningún medio, ya sea electrónico, mecánico, de fotocopiado, grabación u otro modo, sin el consentimiento previo de IPIECA.

---

### Descargo de responsabilidad

Si bien se han realizado todos los esfuerzos posibles para garantizar la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni IPIECA, IOGP ni ninguno de sus miembros pasados, presentes o futuros garantizan su exactitud; y tampoco, independientemente de la posible negligencia de los mencionados, asumirán ninguna responsabilidad por cualquier uso previsto o imprevisto que se haga de esta publicación. Por consiguiente, dicho uso se hará bajo el riesgo propio del receptor, teniendo en cuenta que cualquier uso por parte del receptor constituye un acuerdo con los términos de este descargo de responsabilidad. La información contenida en esta publicación no pretende ser una asesoría profesional de los diversos contribuidores de contenidos y ni IPIECA, IOGP ni sus miembros aceptan ningún tipo de responsabilidad por las consecuencias del uso o mal uso de tal documentación. Este documento puede proporcionar orientación que sea complementaria a los requisitos de la legislación local. Sin embargo, nada de su contenido pretende sustituir, enmendar, anular o de algún otro modo alejarse de dichos requisitos. En el caso de que exista un conflicto o contradicción entre las estipulaciones de este documento y la legislación local, prevalecerán las leyes aplicables.

# **Vigilancia en el agua de derrames de hidrocarburos en el mar**

Directrices de buenas prácticas para el personal de  
manejo de incidentes y respuesta a emergencias

## Prólogo

Esta publicación es parte de la serie Guía de Buenas Prácticas de IPIECA-IOGP, que resume los puntos de vista actuales sobre las buenas prácticas con relación a una variedad de temas sobre preparación y respuesta ante derrames de hidrocarburos. La serie pretende contribuir a alinear las prácticas y actividades de la industria, informar a los grupos de interés y servir como herramienta de comunicación para fomentar la conciencia y la educación.

La serie actualiza y sustituye la consolidada "Serie de informes sobre derrames de hidrocarburos" de IPIECA, que se publicó entre 1990 y 2008. Aborda temas que son ampliamente aplicables tanto a la exploración como a la producción, así como a las actividades de navegación y transporte.

Las revisiones se están llevando a cabo por el Proyecto conjunto del sector (JIP, por sus siglas en inglés) sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos de IOGP-IPIECA. El JIP se estableció en 2011 para implementar oportunidades de aprendizaje con respecto a la preparación y respuesta ante derrames de hidrocarburos, después del impacto en abril de 2010 con el control del pozo petrolífero en el Golfo de México.

### **Nota sobre las buenas prácticas**

"Buenas prácticas" en este contexto es una declaración de directrices, prácticas y procedimientos reconocidos internacionalmente que capacitarán al sector del petróleo y del gas para tener un nivel de desempeño aceptable en lo que concierne a la salud, la seguridad y el medio ambiente.

El concepto de buena práctica para un tema en particular cambiará con el tiempo a la luz de los avances tecnológicos, la experiencia práctica y la comprensión científica, así como los cambios en el entorno político y social.

## Contenido

<b>Prólogo</b>	<b>2</b>	<b>Implementación de las tecnologías en una respuesta submarina</b>	<b>37</b>
<b>Acerca de esta guía</b>	<b>4</b>	Monitoreo de dispersante bajo la superficie del mar	37
<b>Introducción</b>	<b>5</b>	Fase 1: Evaluación de la eficacia de dispersantes bajo la superficie del mar	38
Vehículos submarinos	7	Fase 2: Identificación del comportamiento y la extensión de la columna de hidrocarburo dispersado en la columna de agua	39
Vehículos y embarcaciones de superficie	8	Fase 3: Evaluación inicial del potencial de efectos ecológicos	40
Sensores	13	Planificación del aseguramiento de la calidad	41
Protocolos SMART	15	<b>Uso y comunicación de datos e información</b>	<b>42</b>
<b>El uso de la vigilancia en el agua y en superficie en derrames de hidrocarburos</b>	<b>17</b>	Panorama operativo en Común (COP)	42
El papel de la vigilancia durante respuestas ante derrames de hidrocarburos	17	Modelado de derrames de hidrocarburos	43
Herramientas y enfoques utilizados para la vigilancia durante una respuesta	19	<b>Innovaciones y desarrollos tecnológicos futuros</b>	<b>44</b>
Medición de la eficacia de un programa de vigilancia de respuesta ante derrames de hidrocarburos	21	Plataformas de alojamiento	44
<b>Determinación de las tecnologías adecuadas</b>	<b>22</b>	Comunicaciones y baterías	45
Embarcaciones de superficie	22	Sensores	46
Vehículos oceanográficos autónomos (AOV)	22	Modelado	47
Sistemas de sensores y compatibilidad con la serie de plataformas de detección	23	<b>Lista de acrónimos</b>	<b>48</b>
Consideraciones logísticas y de implementación	24	<b>Referencias</b>	<b>49</b>
Recomendaciones para diferentes escenarios de derrames	26	<b>Sitios web y recursos de utilidad</b>	<b>51</b>
<b>Establecimiento de capacidades de vigilancia en el agua y en superficie</b>	<b>33</b>	<b>Agradecimientos</b>	<b>53</b>
El papel de la vigilancia en el sistema de gestión de incidentes	33		
Recursos para la vigilancia en el agua en una respuesta escalonada	34		
Monitoreo de la vigilancia en el agua y la inyección de dispersante bajo el nivel del mar	35		

## Acerca de esta guía

Esta guía de buenas prácticas (GBP) parte de dos informes técnicos preparados por IOGP e IPIECA en nombre del Proyecto conjunto del sector (JIP) sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos (OSR, por sus siglas en inglés). El primero de estos informes fue preparado por Batelle (2014), titulado *Capabilities and Uses of Sensor-Equipped Ocean Vehicles for Subsea and Surface Detection and Tracking of Oil Spills* (Capacidades y usos de vehículos oceánicos equipados con sensores para detección y seguimiento submarino y en superficie de derrames de hidrocarburos). El segundo fue preparado por Oceaneering (2015), titulado *Capabilities and Uses of Sensor and Video-Equipped Waterborne Surveillance-ROVs for Subsea Detection and Tracking of Oil Spills* (Capacidades y usos de vehículos de operación remota (ROV, por sus siglas en inglés) acuáticos equipados con sensores y video para detección y seguimiento submarino y en superficie de derrames de hidrocarburos).

Además, se ha revisado el trabajo del Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés), incluido:

- API (2013a), *Industry recommended subsea dispersant monitoring plan* (Plan de monitoreo de dispersante bajo la superficie del mar recomendado por la industria), y
- Arthur et al. (2013), *Monitoring hydrocarbon releases in deep water environments: A review of new and emerging technologies* (Monitoreo de descargas de hidrocarburos en entornos de aguas profundas: revisión de tecnologías nuevas y emergentes. (Informe 13-01 del API).

También se ha revisado la información de la guía para operaciones de dispersantes del equipo nacional de respuesta de los EE. UU. (NRT, 2013).

El objetivo de esta GBP es sintetizar y resumir el contenido de estos informes y ofrecer una visión general de la aplicación estratégica y operativa de la vigilancia en el agua. Además, se hacen recomendaciones acerca de cómo incorporar datos e información de vigilancia en el agua en el cuadro de conciencia sobre la situación dentro del sistema de gestión de incidentes (SGI) como parte del panorama operativo en Común (COP).

Donde se considera pertinente, se hace referencia a otras GBP que se han desarrollado dentro del Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos, incluidos:

- *Sistema de gestión de incidentes para la industria del petróleo y el gas* (IPIECA-IOGP, 2016a);
- *Preparación y respuesta escalonada* (IPIECA-IOGP, 2015a);
- *Dispersantes: aplicación bajo la superficie del mar* (IPIECA-IOGP, 2015b), y
- *Desarrollo de estrategia de respuesta usando el análisis de beneficio ambiental neto (ABAN)* (IPIECA-IOGP, 2015c).

Esta guía tiene como objetivo ofrecer a los grupos de interés, como el personal de respuesta, los reguladores, los consultores reglamentarios, la industria, las ONG, las organizaciones de respuesta ante derrames de hidrocarburos y académicos, una visión general y una guía de buenas prácticas respecto de los principios fundamentales del uso de la vigilancia en el agua. Sin embargo, se debe advertir que la vigilancia en el agua de derrames de hidrocarburos en el mar es una materia basada en la tecnología y en constante cambio, cuya definición de buenas prácticas cambiará con el paso del tiempo. Por lo tanto, las recomendaciones que se ofrecen en este documento no se deben interpretar como recomendaciones aplicables en todo momento y para cada situación descrita, ya que tanto la tecnología seleccionada como las medidas más apropiadas a adoptarse dependerán, en última instancia, de circunstancias más amplias al momento de un derrame.

Esta guía se enfoca en la detección y la observación por medio de sensores y como tal está diseñada para evitar, al máximo grado posible, la necesidad de procedimientos de buceo físico, los cuales no se cubren en este documento. Si por cualquier motivo se realizan actividades de buceo, se debe realizar de acuerdo con las buenas prácticas establecidas y usando procedimientos operativos definidos para el fin específico, en cumplimiento de las regulaciones locales y supervisadas por personal calificado.

El subcomité de operaciones de buceo de IOGP ha publicado materiales que ofrecen referencia adicional al respecto.

## Introducción

La vigilancia en el agua es de importancia crítica para el monitoreo eficaz de una descarga submarina de hidrocarburos. Durante el derrame del Macondo en el Golfo de México en 2010, se aplicó por primera vez inyección de dispersante bajo la superficie del mar (SSDI, por sus siglas en inglés). Esta herramienta de respuesta involucra aplicar dispersante directamente a la columna de hidrocarburo en la cercanía inmediata del punto de descarga, ya sea por medio de un vehículo submarino de control remoto o usando un sistema asociado de inyección fijo con un dispositivo de sello.

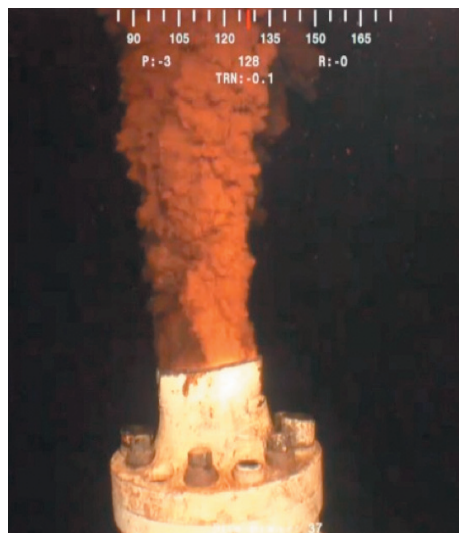
La vigilancia de la columna de hidrocarburo y el dispersante inyectado a esta son de importancia crítica para la evaluación de:

- la naturaleza, el comportamiento y la extensión de la columna de hidrocarburo dispersado en la columna de agua;
- la eficacia del dispersante;
- los posibles efectos ecológicos en lo que se relacionan con la toma de decisiones operativas;
- la tasa de flujo de los hidrocarburos descargados a la columna de agua, y
- las condiciones y los constituyentes medioambientales presentes en el entorno.

La vigilancia también puede ayudar a cerciorarse si otras posibles fuentes de hidrocarburos, como las relacionadas a filtraciones naturales, podrían atribuirse erróneamente a la descarga accidental que se está estudiando.

La rápida implementación de equipo para vigilancia en el agua y el monitoreo operativo sostenido de los hidrocarburos en la columna de agua son fundamentales para el éxito de las actividades de SSDI. La selección, la implementación y la operación de las herramientas adecuadas para la vigilancia en el agua deben beneficiarse de los principios del análisis de beneficio ambiental neto (ABAN), cuyos detalles se pueden consultar en IPIECA-IOGP, 2015c.

Para maximizar la utilidad de los datos generados por la vigilancia en el agua, estos se deben incorporar dentro del panorama operativo en común (COP) de las operaciones de respuesta. Una vez disponibles en el COP, se pueden convertir en información procesable que el equipo de respuesta puede utilizar para planificar operaciones y actividades de vigilancia en el futuro. La entrega de esta información dentro del marco temporal requerido es de importancia crítica para ofrecer una conciencia adecuada acerca de la situación, así como para ayudar en la planificación operativa y la comunicación. También es invaluable para ofrecer la información para validar los modelos numéricos de la columna de hidrocarburo y su trayectoria.



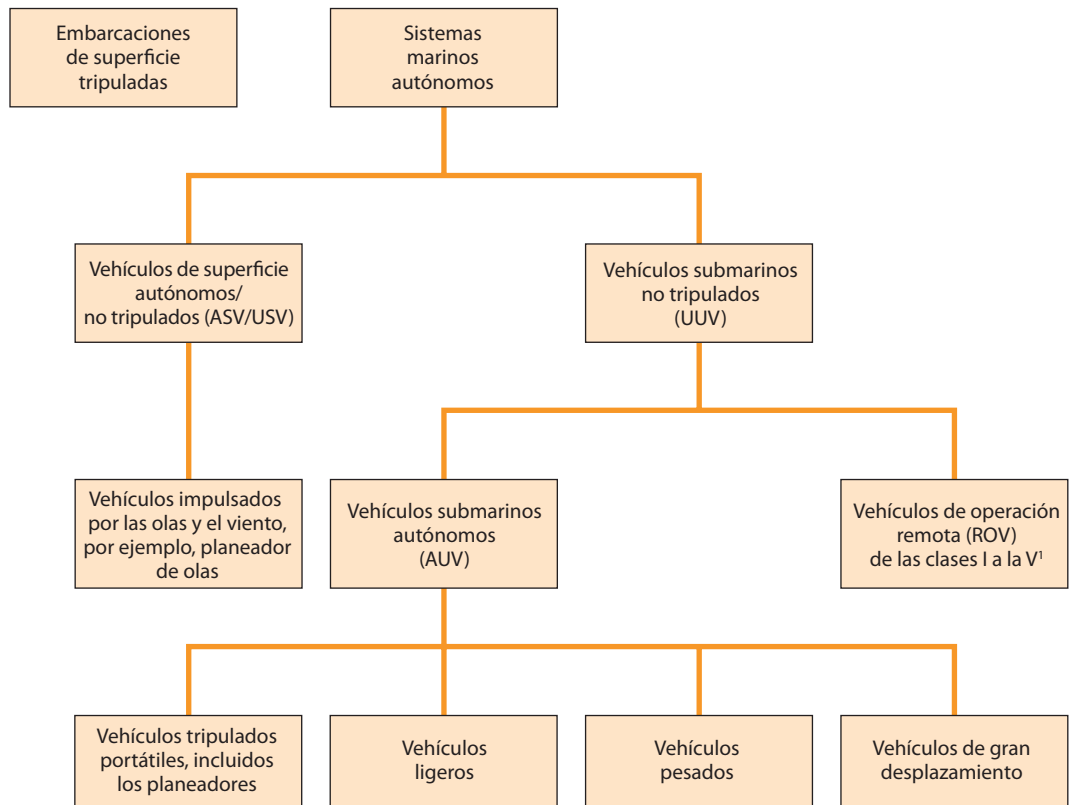
Fotografías modificadas del video de los ROV de BP

Estas imágenes, capturadas utilizando vehículos de operación remota (ROV), muestran hidrocarburos (petróleo y gas natural) escapando de la tubería ascendente rota durante el incidente del Macondo en el Golfo de México en 2010. Los datos de vigilancia obtenidos durante la operación de respuesta fueron críticos para el éxito de la misión.

La vigilancia en el agua, la cual, para los fines de esta guía incluye el uso de sistemas implementados en la superficie del mar y en la columna de agua, se puede llevar a cabo usando una amplia gama de vehículos y plataformas de alojamiento para los sistemas de detección. Estos varían desde embarcaciones de superficie tripuladas hasta vehículos oceanográficos autónomos (AOV) y vehículos de operación remota (ROV).

En la Figura 1 se muestra un esquema jerárquico de las diferentes clases de vehículos oceanográficos.

**Figura 1** Vehículos y plataformas de alojamiento para la vigilancia en el agua



<sup>1</sup> El término ROV cubre una amplia gama de equipos sumergibles no tripulados, y ninguno se puede describir como “típico” de su clasificación. La Asociación Internacional de Contratistas Marinos (IMCA, por sus siglas en inglés, 2016) ha identificado las siguientes cinco clasificaciones para los ROV:

- Clase I—ROV de observación
- Clase II—ROV de observación con opción de carga útil
- Clase III—Vehículos de clase de trabajo
- Clase IV—Vehículos remolcados y de arrastre en el fondo
- Clase V— prototipos o vehículos en desarrollo



## Vehículos submarinos

### Vehículos submarinos autónomos

Un vehículo submarino autónomo (AUV) es un vehículo robótico que se desplaza bajo la superficie del mar sin requerir de la entrada constante de instrucciones de un operador. Los AUV varían en tamaño desde los vehículos ligeros y portátiles, hasta los vehículos de diámetro mayor y con una longitud de más de 10 m. Los AUV pueden portar una amplia gama de sensores como brújulas, sensores de profundidad, sonares de exploración lateral, magnetómetros, termistores y sondas de conductividad, que les permiten navegar de manera autónoma y trazar mapas de las características del océano.

En la Tabla 1 se ofrece información de los tamaños de los AUV en las diferentes clasificaciones que se utilizan en esta guía.

Tabla 1 Clasificación de AUV

Clasificación	Diámetro (m)	Peso (kg)	Resistencia (horas)	Carga útil (m <sup>3</sup> )
Portátil	0,15–0,3	80	<10–20	0,007
Ligero	0,3	225	10–40	0,03–0,08
Pesado	0,5	1350	20–80	0,11–0,17
Gran desplazamiento	más de 0,55	hasta 9000	más de 100	0,4–0,8

Dentro de la clase portátil se incluyen los planeadores. Estos usan un motor o una bomba para generar pequeños cambios en la flotación, además de alas para convertir el movimiento vertical en movimiento horizontal. Esto en contraposición a la mayoría de los AUV que usan sistemas basados en propulsores. Algunas de las principales características de los planeadores son:

- son más lentos que los AUV accionados por propulsores (de 0,2 a 0,35 m/s frente a 1,5 a 2,5 m/s);
- se benefician de una mayor resistencia y alcance (de horas a semanas o meses y posiblemente miles de km);
- siguen un perfil hacia arriba y hacia abajo en forma de diente de sierra;
- mientras se encuentran en la superficie, utilizan transmisiones satelitales para la navegación y la comunicación, y
- no requieren de una embarcación de vigilancia en la superficie.

Generalmente, se utilizan cuatro modelos de muestreo, de la forma siguiente (adaptado de Davis *et al.*, 2002).

- El movimiento hacia adelante se puede utilizar para contrarrestar corrientes del entorno y mantener la posición del planeador, permitiéndole recopilar datos mientras planea hacia atrás y hacia adelante en una zona específica entre la superficie del mar y el lecho marino, actuando de manera eficaz como un conjunto virtual de instrumentos anclados verticalmente.
- El movimiento de un lugar a otro produce una sección altamente definida, aunque la baja velocidad de avance mezcla variabilidad temporal y espacial.
- Varios planeadores controlados de manera remota desde una embarcación o una base en tierra forman un conjunto que puede describir el contexto temporal y espacial para mediciones más intensivas.
- Las grandes duraciones operativas y la capacidad de portar muestras densas convierten a los planeadores en los instrumentos adecuados para buscar eventos inusuales (por ejemplo, los límites de la columna de hidrocarburos) al modificar constantemente el trayecto del planeador para recolectar una gran variedad de datos útiles (muestreo adaptado).

Abajo: implementación de un planeador submarino portátil, conocido comúnmente como "planeador Slocum", que utiliza energía de baterías a bordo para las comunicaciones, los sensores y la computadoras de navegación.



Los AUV se pueden operar desde una embarcación cercana o desde la costa o, en muchos casos, se pueden operar de manera totalmente autónoma. En la Tabla 2 se resumen los diferentes modos de operación; una combinación de estos modos se puede utilizar para ciertas misiones de AUV para facilitar las tareas requeridas.

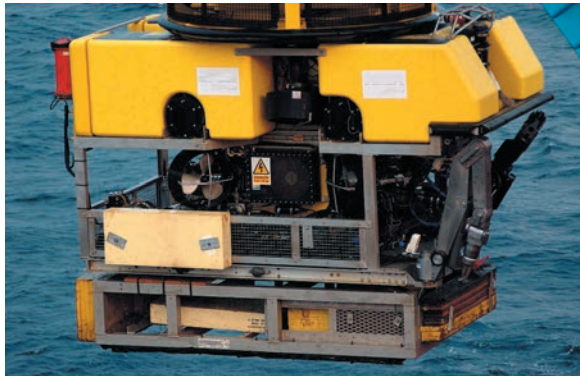
**Tabla 2** Opciones de monitoreo para diferentes tipos de AUV

Tipo de AUV	Modo de operación
Portátil	Misión de AUV realizada con interacción
Ligero	AUV en contacto intermitente con la embarcación de apoyo que está libre para realizar otras tareas
Pesado	AUV en contacto cercano continuo
Gran desplazamiento	El AUV usa el posicionamiento acústico submarino para la navegación

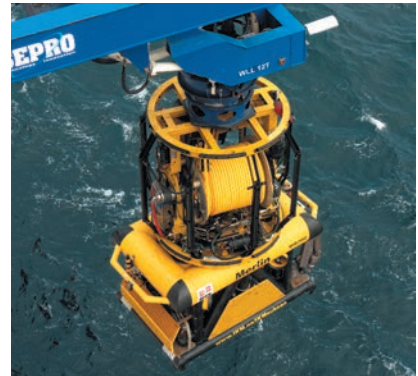
### Vehículos de operación remota

Un vehículo de operación remota (ROV) es un vehículo submarino atado. Incorpora un bastidor de alta resistencia, material flotante, sistemas de propulsión, sistemas de potencia y telemetría y una interfaz de sensor que incluye sistemas eléctricos, hidráulicos y mecánicos para apoyar los requisitos específicos de la misión. Se reconocen cinco clases de ROV en función de su tamaño, capacidad de profundidad, potencia y capacidad de carga útil (IMCA, 2016). Los ROV generalmente se accionan y se controlan desde la superficie por un operador/piloto por medio de un enlace umbilical.

*Ejemplos de dos diferentes tipos de ROV lanzados desde una embarcación de apoyo costa afuera para recopilar datos de vigilancia bajo el nivel del mar.*



Ingvar Tjostheim/Shutterstock.com



Navin Mistry/Shutterstock.com

### Vehículos y embarcaciones de superficie

Los vehículos y embarcaciones de superficie, tripulados y no tripulados, son en potencia útiles en iniciativas de respuesta a un derrame. Las embarcaciones tripuladas pueden incluir pequeños botes, botes inflables de casco rígido (RHIB, por sus siglas en inglés), embarcaciones de pesca y de investigación y embarcaciones para el suministro de hidrocarburos y de soporte. Los vehículos de superficie autónomos (ASV) cubren una gama de medidas (masas) desde 100 kg o menos hasta varios miles de kilogramos. La información en las Tablas 3, 4 y 5 en las siguientes páginas se deriva del informe de Battelle acerca de las capacidades y los usos de los vehículos equipados con sensores (Battelle, 2014) en el que se revisan los parámetros y los estados de los diferentes tipos de vehículos de superficie autónomos. Los ASV con masas menores a 100 kg se denominan “pequeños” y se pueden lanzar y recuperar manualmente.

Tabla 3 Parámetros de los vehículos autónomos pequeños

Fabricante/plataforma	Parámetros del vehículo									
	Longitud (m)	Anchura (m)	Peso en seco (kg)	Duración máxima de la misión (horas)	Potencia de carga útil disponible	Volumen de carga útil (m <sup>3</sup> )	Peso de carga útil (kg)	Fuente de alimentación	Tiempo de respuesta de la misión	Comunicaciones
CMR Instrumentation SailBuoy	2		60	1 año		0,06	10			Iridium
Evolgics SonoBot	0,45	0,92	30	10 (a 2 nudos)						Wifi
Robotic Marine Systems Scout	3			8						RF Wifi
Sea Robotics USV-1000 High Speed Timaram	3	1,2	40	12 (a 2,4 nudos) 6 (a 4,37 nudos)			80	Baterías de Ni-MH; baterías operativas de polímero de litio	Cambios de batería en campo	Ethernet 2402 MHz
Sea Robotics USV-2600 USV (catamarán) reconfigurable para la misión	3,25	1	75-100	8 (a 2,4 nudos) 3 (a 4,37 nudos)				Baterías de Ni-MH; baterías operativas de polímero de litio	Cambios de batería en campo	Ethernet 2403 MHz
Sea Robotics USV-450 catamarán de carga útil pesada	1,9	1,2	40	8 (a 2,4 nudos) 2 (a 4,37 nudos)			80	Baterías de Ni-MH; baterías operativas de polímero de litio	Cambios de batería en campo	Ethernet 2400 MHz
Sea Robotics USV-5000 monocasco autoestabilizador	4,25	0,5	60	12 (a 2,4 nudos) 6 (a 4,37 nudos)			50	Baterías de Ni-MH; baterías operativas de polímero de litio	Cambios de batería en campo	Ethernet 2404 MHz
Sea Robotics USV-600 Mission USV reconfigurable	1,25	0,66	15	8 (a 2,4 nudos) 3 (a 4,37 nudos)			8	Baterías de Ni-MH; baterías operativas de polímero de litio	Cambios de batería en campo	Ethernet 2401 MHz

Tabla 4 Parámetros de vehículos autónomos grandes

Parámetros del vehículo										
Fabricante/plataforma	Longitud (m)	Anchura (m)	Peso en seco (kg)	Duración máxima de la misión (horas)	Potencia de carga útil disponible	Volumen de carga útil (m <sup>3</sup> )	Peso de carga útil (kg)	Fuente de alimentación	Tiempo de respuesta de la misión	Comunicaciones
ASV C-Enduro	4,2		350-500	3 meses				Solar y eólica		Radio satélite LOS
SIEL Advanced Sea Systems UAPS 20: RHIB 500	5,05		320	12 continuas			810	Motor fuera de borda de cuatro tiempos, de 60 a 110 hp		
ASV C-Cat 5	5		menos de 650 1000	diésel genset: 48 Batería solo: 8			500	2 motores eléctricos CC (3,6 kW cada uno), diésel Genset o impulsión directa opciones diésel		UHF Banda 5 Banda L Opción Xbee
ASV C-Hunter	6,3		2000	Más de 50 (a 6 nudos) Más de 96 (a 4 nudos)			300	1 motor Yanmar 3YM30 a diésel (30 hp)		UHF hasta a 8 km o comunicación satelital/GSM opciones
ASV C-Worker	5,85		menos de 3.500 5000	720 (a 4 nudos) 240 (a 6 nudos)				2 conjuntos de generadores diésel de 13 kW cada uno		Radio satélite LOS
C&C Technologies ASV Vehículo de vigilancia hidrográfica 6300 (semisumergible)	6,3		2000	96 (a 4 nudos) Más de 50 (a 6 nudos)			300	Motor Yanmar 30 hp a diésel		
C&C Technologies ASV 9500 Multi Role (semisumergible)	9,5			720				Motor diésel		
C&C Technologies SASS-Q (semisumergible)	6						200			

Tabla 4 Parámetros de vehículos autónomos grandes (continuación)

Parámetros del vehículo										
Fabricante/plataforma	Longitud (m)	Anchura (m)	Peso en seco (kg)	Duración máxima de la misión (horas)	Potencia de carga útil disponible	Volumen de carga útil (m <sup>3</sup> )	Peso de carga útil (kg)	Fuente de alimentación	Tiempo de respuesta de la misión	Comunicaciones
ECA Robotics INSPECTOR MK2 Imágenes y vigilancia batimétrica	8,4		4700	20 (a 6 nudos)			1000	2 hidrojets a diésel (2x170 a 215 kW)		
ISE Dorado (semisumergible)	8,23	2,28	6.600	28		0,6	210	Motor marino a diésel	de 1 a 2 horas (reabastecimiento)	RF Ethernet
Maritime Robotics USV Mariner	5,8	2	1700	50 (a 5 nudos)		1		Motor Volvo Penta D3		VHF/UHF GPRS/Iridium opcional
QinetiQ Blackfish	3,2		470	1			150			VHF/UHF WiFi Iridium
SIEL Advanced Sea Systems UAPS 20: RHIB 750	7,5		850				2160	Motor fuera de borda de cuatro tiempos, de 110 a 250 hp		
SIEL Advanced Sea Systems UAPS 20: RHIB 900	8,8		1500				2160	Motor fuera de borda de cuatro tiempos 500 hp		
ZyCraft Vigilant	16,5		menos de 6000 13.000	720		18	2700			

Las recientes adiciones a la clase de los ASV incluyen el "AutoNaut" y el "Wave glider". Estos son dispositivos impulsados por las olas que pueden mantener enlaces de comunicación por satélite continuos permitiendo su control de manera remota en tiempo real.

**Tabla 5 ASV impulsados por las olas y el viento**

Parámetros del vehículo										
Fabricante/ plataforma	Longitud (m)	Anchura (m)	Peso en seco (kg)	Flotación de reserva	Duración máxima de la misión (horas)	Potencia de carga útil disponible	Volumen de carga útil (m <sup>3</sup> )	Peso de carga útil (kg)	Velocidad de cruceo típica, en nudos	Comunicaciones
Liquid Robotics Wave Glider SV2	Flotación: 2,1 Planeador: 1,9	1,07 (ala)	90	Desplazamiento 150 kg	Hasta 1 año	10 W Puertos de carga útil (3): Puerto PEP 3 A/13,2 V Puerto de planeador 5 A/13,2 V 1 A/13,2 V Sistema máximo 10 A/13,2 V	0,04	18	0,5-1,6	Módem de RF Iridium satelital Wifi
Liquid Robotics Wave Glider SV3	Flotación: 2,9 Planeador: 1,9	1,4 (ala)	90	Desplazamiento 150 kg	Hasta 1 año	10 W Puertos de carga útil (3): Puerto PEP 3 A/13,2 V Puerto de planeador 5 A/13,2 V 1 A/13,2 V Sistema máximo 10 A/13,2 V	0,09	45	1-2 sin impulsor 1,5-2,3 con impulsor	Módem de RF Iridium satelital Wifi
MOST AutoNaut	3,5			3 meses (a 2-3 nudos)	20 W a 50% ciclo se servicio para 90 días			Batería: 720 Wh gel de plomo Panel solar: Generador de 125 Wp: Pila de combustible de metanol de 45 W, 20 litros de combustible (22 kWh de potencia)		UHF XBEE PRO Iridium
Saildrone Saildrone	5,8	2,1			5000 horas	5-10 W		100	5	Satélite

## Sensores

Los hidrocarburos presentes en el agua de mar pueden adoptar la forma de una mezcla de fases múltiples consistente en fases líquidas, disueltas, gaseosas o sólidas. La fase líquida contiene cantidades significativas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, por sus siglas en inglés), mientras que la fase gaseosa consta principalmente de alcanos como el metano.

Los hidrocarburos se pueden detectar directamente usando sensores adecuados para medir metano gaseoso y disuelto, y PAH. También se pueden detectar indirectamente al medir una anomalía asociada en la referencia medioambiental, por ejemplo, cambios en la temperatura, la salinidad y otros parámetros. Ciertos sistemas de detección también pueden monitorear el flujo de fluidos bajo la superficie del mar. Dichos sistemas están inmersos en el agua y dependen del contacto o de la estrecha proximidad a los hidrocarburos.

A continuación, se abordan ambos sistemas, directos e indirectos. Se debe advertir que, aunque los sistemas directos pueden ofrecer información más oportuna para la respuesta, los sistemas indirectos pueden ofrecer, con cierto grado de latencia, muestras adecuadas con las cuales calibrar y validar otros métodos y modelos de detección.

### Sistemas de detección directa

Los sistemas de detección directa de hidrocarburos emplean uno o más de los siguientes métodos:

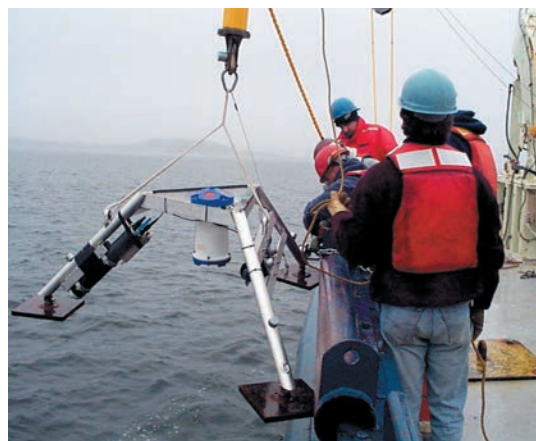
- Medición de espectrometría de infrarrojo no dispersivo (NDIR, por sus siglas en inglés) del metano ( $\text{CH}_4$ ), usando un sistema de análisis óptico de alta precisión de NDIR.
- Medición fluorométrica de PAH usando un fluorómetro para medir la intensidad y la distribución de longitud de onda del espectro de emisión después de la excitación por un espectro de luz conocida.
- Medición fluorométrica de hidrocarburos refinados y crudos usando un fluorómetro de materia orgánica disuelta cromofórica (CDOM, por sus siglas en inglés) para medir la concentración de hidrocarburos refinados (360 nm) o hidrocarburos crudos (440 nm).
- Medición in situ de la distribución de los tamaños de partículas usando un instrumento de dispersión y transmisometría in situ por láser (LISST, por sus siglas en inglés) u otro instrumento para determinar el tamaño de partículas.
- Uso de perfiladores de corriente doppler acústicos (ADCP, por sus siglas en inglés) que miden la velocidad a la cual se mueve el agua a través de la columna de agua.
- Uso de tecnología de comunicación dentro del agua y de adquisición de datos geoespaciales.
- Uso de tecnología de cámara/video submarinos, incluida la recién desarrollada cámara de silueta de SINTEF (SilCam, por su nombre en inglés) para identificar los hidrocarburos dispersados en la columna de agua.

Muchos de estos sensores se pueden configurar para implementación de bombeo o de flujo abierto, con el sensor implementado en el vehículo de alojamiento de forma tala que esté expuesto a la columna de agua.

*Abajo: (Parte superior) implementación del sensor de láser sumergible LISST-100X; (parte inferior) implementación de un perfilador de corriente doppler acústico (ADCP, por sus siglas en inglés) montado en un sistema de trípode.*



Sequoia Scientific



Woods Hole Oceanographic Institution

### Sistemas de detección indirecta

Los sistemas de detección indirecta de hidrocarburos dependen de la identificación de cambios en las propiedades medioambientales locales del agua de mar de referencia que, en potencia, pueden deberse a la presencia de hidrocarburos. Las técnicas de detección indirecta incluyen la medición y el análisis de las siguientes propiedades:

- Conductividad, temperatura, profundidad (CTD, por sus siglas en inglés): sensores independientes monitorean los parámetros individuales.
- Turbidez: se mide usando dispersión óptica de la luz.
- Concentración de oxígeno disuelto: esta medición se puede realizar utilizando electrodos, sensores electroquímicos u optrodos (sensores ópticos).
- Concentración de CO<sub>2</sub> disuelto: se mide utilizando espectrometría de NDIR.

Los sensores de identificación del flujo ofrecen la capacidad de monitorear el flujo del agua y, a menudo, los constituyentes atrapados en el flujo. Dicha información se puede usar como apoyo a las decisiones acerca del uso y la posible eficacia de las técnicas de inyección de dispersante bajo la superficie del mar. Los parámetros de interés son:

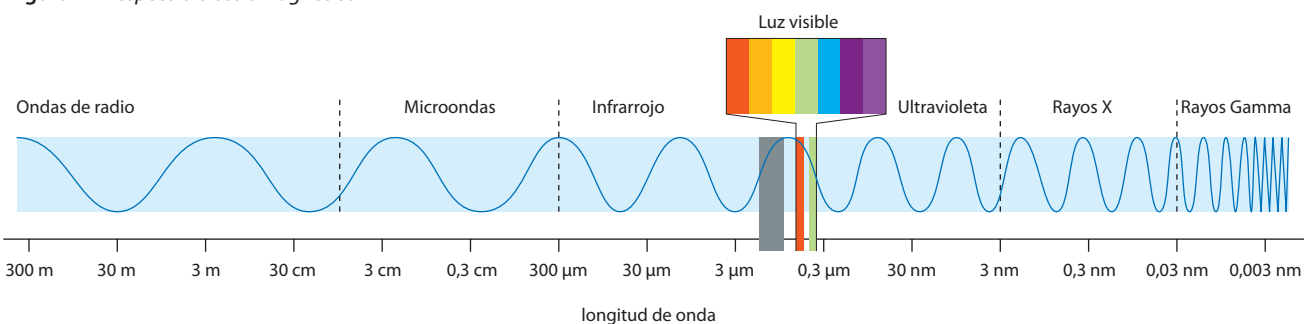
- flujo del volumen total;
- composición del flujo;
- tamaño de partículas, y
- densidad de partículas.

Para determinar el flujo del volumen total, se requieren sensores de micro y macrozona. Los sensores de macrozona, como los sistemas de sonar delantero de alta resolución y de láser en paralelo, miden el tamaño total del flujo en el punto de interés. Los sensores de microzona ofrecen detalles específicos relacionados con las dimensiones y las cantidades de las partículas suspendidas en la columna de agua. Ambos sistemas, de microscopía submarina y de difracción de la luz óptica se encuentran en uso.

### Sistema de detección implementados en superficie

Además de los sistemas de detección inmersos que se abordaron anteriormente, está disponible una variedad de sistemas de detección de implementación en superficie que pueden detectar de manera remota la presencia de hidrocarburos en la superficie o cerca de esta. Dichos sistemas se implementan normalmente desde vehículos de superficie tripulados y no tripulados. Se utilizan cuatro tipos principales de tecnologías, en función de la parte del espectro electromagnético, desde la cual se ejecuta el sensor. En la Figura 2 (abajo) se muestra el espectro electromagnético.

Figura 2 El espectro electromagnético





Los sistemas de sensores son “pasivos” o “activos”. Los sistemas pasivos detectan la radiación emitida por el objetivo, mientras que los sistemas activos emiten su propia energía y miden la señal que se refleja de regreso a partir del objetivo.

**Tabla 6** Los sensores y el espectro electromagnético

Tipo de sensor	Activo/pasivo	Longitud de onda	¿Qué mide?	Sistemas de sensores típicos
Ultravioleta	Pasivo	100–400 nm	Luz solar reflejada	Cámaras de UV y escáneres en línea
Visible	Pasivo	400–700 nm	Luz solar reflejada	Cámaras de imágenes fija y de video
Infrarrojo	Pasivo	0,74-14,0 µm	Radiación y temperatura de la superficie emitidas de manera natural	Cámaras y escáneres de imágenes térmicas
Radar	Activo	2,5–3,75 cm	Radar de retrodispersión	Radar marino (de banda X)

Están disponibles una amplia variedad de sistemas de detección en superficie. Estos van desde el ojo humano, apoyado por binoculares para ayudar al personal de respuesta a detectar lustres en la superficie, hasta sistemas complejos basados en radar.

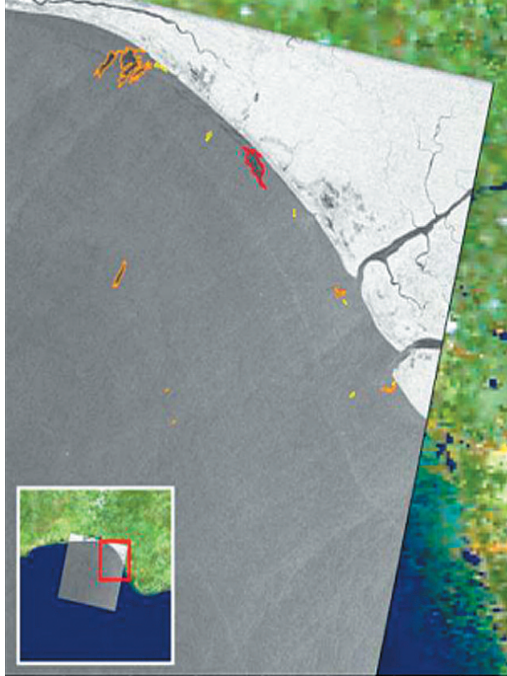
Se pueden encontrar descripciones detalladas de estos sistemas de detección de implementación en superficie, así como los vehículos utilizados para implementarlos en la revisión del API acerca de tecnologías nuevas y emergentes (Arthur *et al.*, 2013) y en los informes del Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos por Batelle (2014) y Oceaneering (2015).

## Protocolos SMART

A finales de la década de 1990, los representantes de una cantidad de organismos de salud y medio ambiente de los Estados Unidos colaboraron para producir el protocolo de monitoreo especial de tecnologías de respuesta aplicada (SMART, por sus siglas en inglés) (NOAA, 2006). El protocolo SMART ofrece orientación acerca de cómo establecer un sistema de monitoreo para la recopilación y el informe rápidos de información de base científica en tiempo real para ayudar al personal de respuesta en la toma de decisiones durante la quema controlada *in situ* o las operaciones de dispersantes.

Cuando hay presencia de hidrocarburos en la superficie, está disponible una amplia variedad de tecnologías de vigilancia, incluidos los sistemas aéreos y satelitales. Sin embargo, las tecnologías de vigilancia en el agua que se cubren en esta GBP son también importantes para evaluar y monitorear los hidrocarburos en la superficie del mar. El uso de vehículos de superficie no tripulados tiene el potencial de ofrecer beneficios significativos en seguridad y costos, al compararse con los sistemas tripulados, al eliminar o minimizar la exposición de personal de respuesta a los efectos potencialmente nocivos de los compuestos orgánicos volátiles (COV, por sus siglas en inglés) de los hidrocarburos derramados. Este es el caso para los dispersantes que se aplican bajo y en la superficie del mar, y en especial, para los dispersantes que se aplican desde plataformas aéreas como helicópteros y aviones. Como se ha hecho notar por el Instituto Americano del Petróleo (API, 2013a), la aplicación de dispersante en superficie ha utilizado el protocolo SMART escalonado para el monitoreo eficaz de los dispersantes. Al utilizar los protocolos SMART, el monitoreo empieza con las observaciones visuales para determinar la eficacia del dispersante, y las decisiones para escalar a niveles mayores del plan de monitoreo se basan en necesidades operativas y el tiempo disponible para implementar sistemas de monitoreo adicionales, incluida la vigilancia en el agua.

*SMART ofrece orientación acerca de cómo establecer un sistema de monitoreo, incluidos todos los tipos de vigilancia, es decir, satelital (derecha), aérea (extremo derecho) y técnicas acuáticas, para la recopilación y el informe rápidos de información basada en la ciencia en tiempo real para ayudar al personal de respuesta en la operación de respuesta ante derrames de hidrocarburos.*



MacDonald Dettwiler and Associates



OSRL

Como se señaló en la introducción a esta GBP, la vigilancia en el agua es un enfoque impulsado por la tecnología, de importancia crítica para monitorear la descarga submarina de hidrocarburos. Permite la recopilación de muestras adecuadas de agua que se requieren para evaluar la eficacia de la aplicación de dispersante en descargas submarinas y para monitorear la tasa de flujo de los hidrocarburos descargados en la columna de agua.

La vigilancia (incluidos todos los tipos, es decir, satelital, aérea y en el agua) es crucial para ofrecer apoyo eficaz al equipo de respuesta y a otros grupos de interés durante una operación de respuesta. Ofrece una comprensión de la situación de la contaminación, permite una evaluación de las acciones de respuesta en marcha y facilita la planificación de actividades de respuesta en el futuro. La vigilancia, junto con el modelado predictivo adecuado, los informes, la visualización y la documentación de los datos y la información recopilada, se reconoce como una herramienta vital para permitir generar la "conciencia sobre la situación", es decir, el conocimiento de lo que está ocurriendo durante el derrame (ver Recuadro 1 en la página 18).

## El uso de la vigilancia en el agua y en superficie en derrames de hidrocarburos

El uso de la vigilancia en una respuesta ante derrames de hidrocarburos puede servir para una variedad de fines. En particular, quienes organizan las operaciones de respuesta pueden utilizar la vigilancia para mejorar su conciencia sobre la situación respecto del derrame. Además, los productos de la vigilancia, incluidas las imágenes y vídeo, los mapas, las hojas de cálculo y los cálculos, se pueden utilizar para operaciones de planificación, supervisión y evaluación del impacto de los métodos de recuperación, validar y calibrar modelos numéricos del derrame, y como una herramienta de comunicación para informar a terceros, como los medios de comunicación y la población. Además, la vigilancia en tiempo real puede ofrecer soporte técnico durante una respuesta, por ejemplo al usar aeronaves para “detectar” manchas y dirigir las embarcaciones para la aplicación de dispersante a la zona adecuada.

La información de vigilancia que se ha registrado y documentado se puede utilizar posteriormente al derrame para varios otros fines, por ejemplo, ofrecer soporte para cursos y simulacros de capacitación y como referencia educativa y académica. La información puede ser de importancia crítica para abordar cualquier problema jurídico y de requisitos normativos que surjan del derrame.

Además de emplearse durante la operación de respuesta ante derrames de hidrocarburos, también es posible emplear la vigilancia como una medida de preparación para supervisar áreas en riesgo potencial de derrames de hidrocarburos (por ejemplo, áreas cerca de instalaciones, rutas marítimas u oleoductos) ya sea de forma rutinaria o incluso continua.

### El papel de la vigilancia durante respuestas ante derrames de hidrocarburos

La vigilancia es una parte esencial del conjunto de herramientas de respuesta ante derrames de hidrocarburos, y ofrece información valiosa acerca del escenario cambiante durante una operación de respuesta. La vigilancia de derrames de hidrocarburos debe ofrecer al equipo de respuesta lo siguiente:

- la detección (o confirmación) y la evaluación iniciales (identificación y cuantificación) de un derrame dentro de un marco temporal específico;
- la evaluación continua y el monitoreo sinóptico de un derrame de hidrocarburos y las operaciones de respuesta a *intervalos regulares*, y
- el soporte táctico (monitoreo visual constante) para operaciones y misiones *en el tiempo y el lugar requeridos*.

La entrega de información dentro del marco temporal requerido es crítica para asegurar un nivel adecuado de conciencia sobre la situación, así como para ayudar en la planificación operativa y la comunicación.



Los datos de vigilancia recopilados durante una operación de respuesta se alimentan en el Panorama operativo en Común basado en el SIG (ver página 42) para asegurarse de que todos los grupos de interés estén operando desde un punto de vista común de la conciencia sobre la situación.

**Recuadro 1** *¿Qué es la conciencia sobre la situación?*

Conciencia sobre la situación es “saber lo que ocurre alrededor”. En el caso de una respuesta ante derrames de hidrocarburos, la conciencia sobre la situación requiere una comprensión integral aunque exhaustiva del escenario del derrame; esto se logra al identificar, procesar y comprender los elementos fundamentales de la información que se proporciona. Obtener los tipos correctos de información y asegurarse de que sea correcta y actualizada es entonces algo intrínseco para obtener una conciencia sobre la situación precisa de un derrame de hidrocarburos. En la Tabla 7 (abajo) se detallan los tipos principales de información y sus datos que son requeridos para ofrecer una conciencia sobre la situación para un derrame de hidrocarburos.

**¿Cómo contribuye la vigilancia a la conciencia sobre la situación?**

La vigilancia se utiliza principalmente para detectar, identificar y, de preferencia, para cuantificar el hidrocarburo derramado que puede estar presente en escenarios sobre el agua, dentro del agua o en tierra. Además, se puede utilizar la vigilancia para recopilar información acerca del entorno que rodea al derrame de hidrocarburos. Por lo tanto, la vigilancia puede proporcionar gran parte de la información necesaria para informar a la respuesta acerca del escenario cambiante del derrame, como las ubicaciones del derrame de hidrocarburos (absolutas y relativas), estimaciones de la cantidad de hidrocarburo derramado, identificación del hidrocarburo e incluso información acerca de las condiciones operativas (pronóstico meteorológico, terreno o hidrografía locales y sensibilidad desde el punto de vista medioambiental), todos los cuales son de importancia fundamental para la conciencia sobre la situación.

**Tabla 7** *Información requerida para la conciencia sobre la situación*

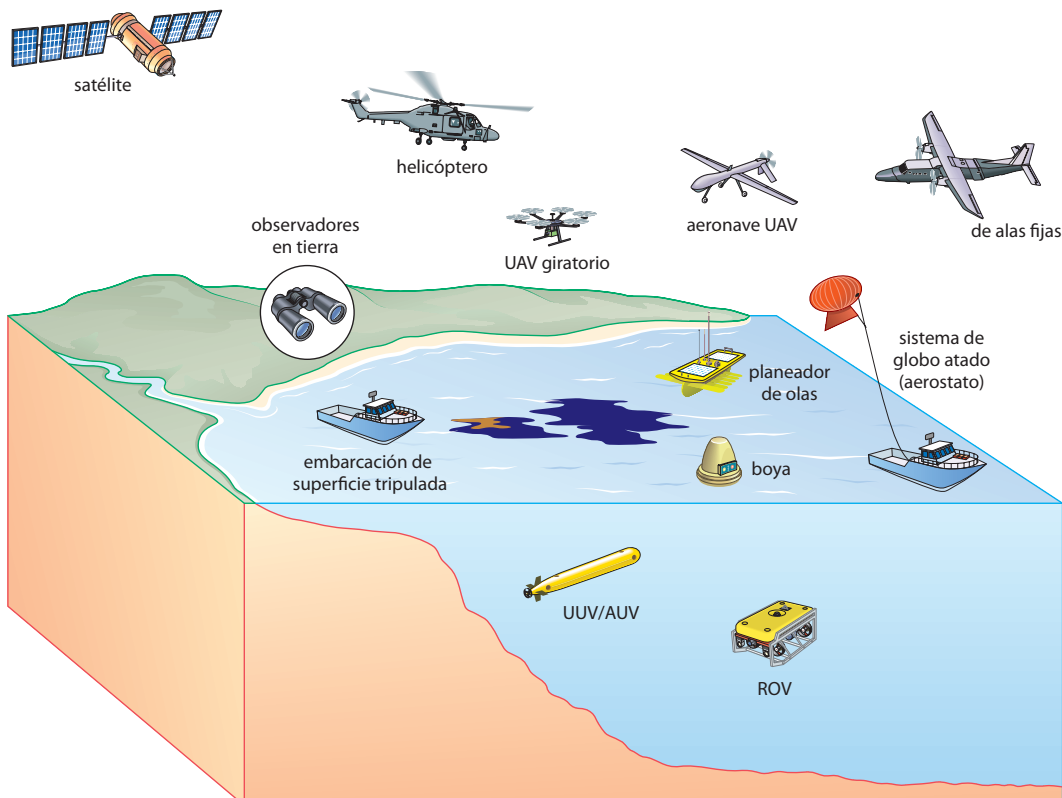
Tipo de información	Ejemplos
Medidas y características del derrame de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicación geográfica del derrame de hidrocarburos y manchas individuales</li> <li>Magnitud del derrame de hidrocarburos</li> <li>La cantidad de manchas</li> <li>Cantidad del hidrocarburo derramado (estimación)</li> <li>Tipo de hidrocarburo derramado</li> </ul>
Ubicación del derrame de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ubicación física (sobre el agua, entre el agua, en la costa, en tierra)</li> <li>Características físicas relacionadas (corrientes oceánicas, tipo de superficie, cobertura de hielo)</li> <li>Sensibilidad desde el punto de vista medioambiental de la zona (manglares, áreas de anidamiento)</li> </ul>
Condiciones de operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condiciones meteorológicas</li> <li>Características físicas relacionadas que podrían impedir las operaciones</li> </ul>
Factores socioeconómicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas habitacionales/urbanización cercanas</li> <li>Vulnerabilidades económicas (zonas de pesca, tierra agrícola)</li> </ul>
Factores políticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grupos de interés involucrados en la respuesta (es decir, quién es responsable de qué)</li> <li>Reglamentos y leyes que pueden afectar las operaciones de respuesta</li> <li>Límites /zonas involucradas en caso de que la respuesta sea multinacional</li> </ul>
Operaciones en marcha	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operaciones y métodos de respuesta en marcha y planificados</li> <li>Ubicación de recursos y activos y cantidad implementados</li> </ul>
Impacto de la respuesta	<ul style="list-style-type: none"> <li>La cantidad o el porcentaje de hidrocarburos recuperados</li> <li>Las mitigaciones implementadas para evitar derrames adicionales (de ser necesario)</li> <li>La cantidad de costa, tierra, etc. limpiadas</li> </ul>

## Herramientas y enfoques utilizados para la vigilancia durante una respuesta

Para garantizar que se proporcione la información más adecuada y de forma eficiente durante una respuesta, se debe contar con un programa de vigilancia y supervisión de derrames de hidrocarburos que utilice una variedad de enfoques y herramientas de vigilancia para recopilar la información necesaria y sirva de apoyo para la respuesta en marcha (Figura 3). Entre las herramientas de vigilancia incluyen las siguientes:

- vehículos submarinos no tripulados (UUV), incluidos los vehículos submarinos autónomos (AUV, por sus siglas en inglés) (por ejemplo, los deslizadores) y vehículos operados a distancia (ROV);
- embarcaciones de superficie no tripuladas (USV, por sus siglas en inglés), incluidos los vehículos de superficie autónomos (ASV, por sus siglas en inglés) (por ejemplo, AutoNat o los planeadores de olas);
- embarcaciones de superficie (usando técnicas que incluyen las ópticas y de radar, fotografía y vídeo el ojo humano);
- boyas, rastreadores y sistemas instalados (por ejemplo, instrumentos instalados sobre boyas o anclados de manera independiente);
- observadores en tierra (usando el ojo humano, fotografía y vídeo),
- plataformas aéreas como aeronaves de ala fija y helicópteros (usando técnicas que incluyen el ojo humano, ópticas y vigilancia por radar, fotografía y vídeo);
- l vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés, usando técnicas ópticas y de radar);
- sistemas de globos fijos (es decir, aerostatos usando técnicas ópticas e infrarrojas), y
- satélites (usando técnicas ópticas, infrarrojas y de radar).

Figura 3 Ejemplos de herramientas de vigilancia que se pueden utilizar en una operación de respuesta



Cada herramienta presenta ventajas y limitaciones al utilizarse para recopilar información para la respuesta ante derrames de hidrocarburos; estas características se describen en el informe de API sobre teledetección (API, 2013b). Para obtener información acerca de herramientas de vigilancia distintas a las tecnologías de vigilancia en el agua, consulte IPIECA-IMO-IOGP, 2015 e IPIECA-IOGP, 2016b).

Las ventajas y desventajas de las tecnologías de vigilancia en el agua se deben tomar en consideración junto con el escenario del derrame de hidrocarburos, ya que una variedad de diferentes factores pueden afectar la idoneidad general de una herramienta en particular. Los factores que se deben tomar en cuenta incluyen:

- el tamaño del derrame (y la duración prevista);
- la ubicación del derrame (tanto la posición geográfica como el tipo, por ejemplo, costa afuera o en tierra);
- las condiciones medioambientales;
- las condiciones de operación;
- el tipo de hidrocarburo derramado y su comportamiento durante el proceso de meteorización (por ejemplo, la tendencia a extenderse);
- problemas logísticos (por ejemplo, acceso a implementar la tecnología);
- restricciones normativas y políticas (incluidos el control y la regulación del espacio aéreo y el océano, y el control local de la tecnología);
- el tipo de operaciones de respuesta;
- cuándo se necesitará la información, y
- la facilidad de integrar y organizar las diferentes fuentes y tipos de información.

A manera de ejemplo, un derrame pequeño aislado puede requerir únicamente observadores humanos, mientras que las condiciones meteorológicas adversas pueden evitar la implementación de aeronaves. En general, para recopilar toda la información necesaria, un programa de vigilancia debe utilizar una combinación de las herramientas de vigilancia que sean adecuadas para la respuesta.

A medida que el incidente progresa, las demandas sobre el programa de vigilancia generalmente aumentan, y el programa a menudo se divide en funciones estratégicas (conciencia sobre la situación, planificación de operaciones y monitoreo del impacto) y tácticas (operaciones de apoyo). Cualquier herramienta que se utilice debe tener la capacidad de satisfacer al menos una de estas funciones y sus requisitos.

*En general, para recopilar toda la información necesaria, un programa de vigilancia debe utilizar una combinación de las herramientas de vigilancia que sean adecuadas para la respuesta.*



Como se señaló en la introducción a esta GBP, la vigilancia en el agua es de importancia crítica para el monitoreo de descargas submarinas de hidrocarburos, al identificar la naturaleza y la extensión de las columnas de hidrocarburo dispersado y determinar la eficacia de las operaciones de dispersantes. Dichas actividades de monitoreo apoyan el proceso de toma de decisiones respecto a la aplicación de dispersante y comunican las decisiones respecto a si continuar la aplicación de dispersante a una descarga y cuándo sería adecuado cesar la operación de dispersante. Durante el incidente del Macondo de 2010, se obtuvieron muchos aprendizajes en dichos temas, y las secciones posteriores de esta guía incluyen las recomendaciones basadas en los descubrimientos hechos durante y desde ese evento. Estas recomendaciones se han incorporado en otros documentos guías de la industria, incluido el Informe del API 1152 sobre el monitoreo de dispersantes bajo la superficie del mar (API, 2013a) y la Guía de buenas prácticas sobre la aplicación de dispersante bajo la superficie del mar de IPIECA-IOGP (IPIECA-IOGP, 2015b).

## Medición de la eficacia de un programa de vigilancia de respuesta ante derrames de hidrocarburos

La eficacia general del programa de vigilancia será más evidente dentro del panorama operativo en común (COP). El COP es una visión compartida del incidente y sus condiciones de operación, y se ha definido como *“una plataforma informática basada en tecnología del sistema de información geográfica (SIG), la cual ofrece una sola fuente de datos e información para la conciencia sobre la situación, la coordinación, la comunicación y el archivo de datos para apoyar la gestión de la emergencia y el personal de respuesta y otros grupos de interés involucrados o afectados por un incidente”* (IPIECA-IOGP, 2015d). El COP se utiliza como apoyo para la toma de decisiones estratégicas y tácticas dentro del sistema de gestión de incidentes (SGI) utilizado para gestionar la respuesta.

El COP permite al personal de respuesta y a otros grupos de interés ver cualquier dato e información generados dentro de la respuesta, incluidos los datos de vigilancia. Gran parte de la información del COP es estática y puede, por lo tanto, desarrollarse y llenarse previamente durante la fase de planificación para contingencias para la ubicación en cuestión. Si alguna información requerida y que sea relevante para la vigilancia “falta” en el COP, será necesario mejorar y actualizar el programa de vigilancia para garantizar que se satisfaga esta necesidad. Se puede encontrar una guía detallada acerca de los elementos que se deben incluir en el COP en IPIECA-IOGP, 2015d.

En el continuo avance de las estrategias, tecnologías y prácticas de respuesta ante derrames de hidrocarburos, el COP y su incorporación en un SGI de la forma descrita anteriormente es un desarrollo relativamente reciente y no existe un acuerdo generalizado acerca de su lugar en la jerarquía del SGI o incluso si de manera inevitable debe formar parte de la estructura del SGI en todos los casos (por ejemplo, en respuestas a pequeña escala). Donde sea que se ubique el COP debe, sin embargo, definir la responsabilidad para la función de la operación de vigilancia para garantizar que el programa de vigilancia sea capaz de responder con precisión las preguntas operativas principales (por ejemplo, acerca de la condición, el destino y el comportamiento del hidrocarburo) en una línea cronológica que sea significativa para los decisores de la respuesta.

## Determinación de las tecnologías adecuadas

La selección de las plataformas y embarcaciones para la vigilancia en el agua que se requieren para hospedar los sistemas de detección dependerá de la naturaleza del derrame. Cuando el derrame se limita a la superficie, puede bastar con embarcaciones y vehículos de superficie tripulados y no tripulados. Cuando los derrames tienen un impacto tanto en la superficie como en la subsuperficie, se recomienda la implementación de una mezcla de vehículos de superficie y de subsuperficie para la detección y el seguimiento del derrame. Es probable que la selección varíe a medida que el escenario del derrame se desarrolla y el hidrocarburo se propaga y extiende.

La selección y la priorización de las tecnologías de detección adecuadas requieren de una comprensión y conocimiento de los hidrocarburos involucrados. Diferentes hidrocarburos tienen diferentes características físicas, químicas y de meteorización, y, por lo tanto, la priorización de las tecnologías de detección varía para hidrocarburos gaseosos frente a hidrocarburos líquidos, petróleo crudo frente a productos refinados, crudos cerosos frente a crudos de asfalteno, etc.

### Embarcaciones de superficie

Existe una amplia gama de embarcaciones de superficie disponibles para apoyar una respuesta. Entre las características que se deben tomar en cuenta al considerar si una embarcación en particular es adecuada para implementar las tecnologías de vigilancia se incluyen las siguientes:

- tamaño de la embarcación (es decir, ¿puede la embarcación soportar los requisitos de tamaño, peso y potencia del sistema o los sistemas de detección seleccionados?);
- alcance y duración de la embarcación;
- capacidad de operación en la zona de respuesta, dadas las condiciones meteorológicas y las condiciones predominantes y pronosticadas del mar;
- capacidad de personal (para embarcaciones tripuladas), es decir, tripulación y personal de respuesta;
- altura de implementación del sensor: una mayor elevación incrementa el rango de detección y cobertura de la zona prevista; esta podría ser en el puente, un mástil, un caballete en A, una pluma o una grúa;
- tecnología de comunicaciones (celular o satelital) disponible para ofrecer información en tiempo real al COP por medio de Internet, y
- disponibilidad de la embarcación, ya sea sobre contrato o alquilada en el punto, o disponible a través de un acuerdo recíproco acordado previamente con otro operador.



Alan Smillie/Shutterstock.com



Michael Grant Travel/Alamy Stock Photo

### Vehículos oceanográficos autónomos (AOV)

Al considerarse cualquier tipo de AOV, se debe recordar que no todos los sistemas disponibles comercialmente tienen un historial comprobado de implementaciones exitosas en simulacros y operaciones de respuesta ante derrames de hidrocarburos. Algunas unidades se producen como sistemas de investigación únicamente y es posible que no se fabriquen en cantidades suficientes como para constituir un recurso disponible comercialmente, mientras que otros son únicamente aplicables para operaciones militares. Sin embargo, están actualmente disponible una variedad de nuevas



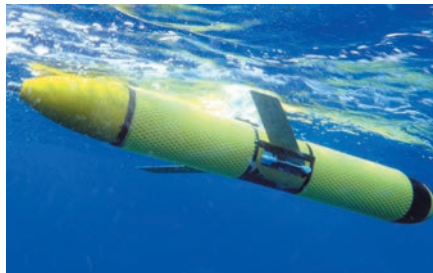
embarcaciones que tienen paquetes de diferentes capacidades y, por lo tanto, podrían cumplir los requisitos para la supervisión de derrames de hidrocarburos.

Entre las consideraciones de compatibilidad de vehículos que se deben tomar en cuenta se incluyen las siguientes (adaptado de Batelle, 2014):

- Es probable que en la mayoría de las ubicaciones, los vehículos de superficie tripulados estén disponibles, mientras que la implementación de AOV hacia la zona del incidente probablemente requiera de varios días o incluso de un tiempo mayor.
- Los AOV más grandes se vuelven más deseables para misiones prolongadas a medida que aumenta la duración del derrame, y a medida que el derrame llega a mayor profundidad y más lejos de la superficie.
- Los AOV portátiles se vuelven menos útiles en aguas profundas debido a su duración, profundidad y maniobrabilidad operativa limitada.
- En general, se prefieren los AOV sobre las embarcaciones tripuladas ya que reducen los riesgos de que el personal se exponga a los peligros durante la operación de respuesta ante derrames.
- Los planeadores tienen potencia a bordo limitada y, por lo tanto, pueden no tener la capacidad de operar los sensores activos de manera continua.
- Los planeadores son vehículos para “liberar y olvidar” que pueden tener utilidad para monitorear los límites y extensiones de derrames, en especial con muestreo adaptado y sistemas de control instalados.
- Los planeadores pueden tener una profundidad mínima de agua para la operación.
- Los ASV que utilizan energía del viento y las olas están diseñados como vehículos para aguas abiertas y, por lo tanto, es menos probable que sean útiles cerca de la costa.
- Los ASV pequeños pueden operar en cuerpos de agua protegidos como puertos y muelles, pero no están diseñados para aguas abiertas.
- Los ASV, como los planeadores de olas, son más útiles que los AUV cuando la mayoría del derrame está en la superficie del agua o cerca de esta.
- Los AUV no son prácticos ni económicos cerca de la costa donde el agua es poco profunda y donde probablemente haya una gama de embarcaciones de superficie disponibles.



Free Wind 2014/Shutterstock.com



NOAA



OIST

*Ejemplos de diferentes tipos de AOV (desde la parte superior izquierda hacia la izquierda): recuperación de un planeador portátil ligero; planeador de olas implementado desde una embarcación de apoyo, y un planeador submarino cerca de la superficie.*

## Sistemas de sensores y compatibilidad con la serie de plataformas de detección

Debido a que los hidrocarburos en la columna de agua existen como una mezcla de fases múltiples, la detección confiable generalmente requiere de una combinación de métodos de detección directos e indirectos. Los métodos directos se benefician del hecho de que la fase aceite contiene cantidades significativas de PAH, mientras que la fase gas contiene principalmente metano. Los métodos indirectos se enfocan en determinar los parámetros adecuados en la referencia medioambiental y en detectar anomalías.

Los parámetros oceanográficos monitoreados típicos en la columna de agua son la temperatura del agua, el oxígeno disuelto (OD, por sus siglas en inglés), el pH, la salinidad y la turbidez. Es importante establecer un conjunto de condiciones oceanográficas de referencia, ya que estas se pueden utilizar para detectar cambios potenciales en la columna de agua que pueden estar relacionados con la presencia de columnas de hidrocarburos. Las mediciones de DO son particularmente importantes ya que los niveles de oxígeno por debajo de los valores de referencia pueden indicar la presencia de

Ejemplo de un AUV equipado con sensores que miden la salinidad, la temperatura, las corrientes, la batimetría y la calidad del agua.



UHM/SOEST

Un sistema de muestreo de agua instalado en el cuerpo medio de un AUV.



MBARI

sustancias contaminantes (por ejemplo, hidrocarburos) que están siendo biodegradadas por microorganismos en la columna de agua.

Varios métodos de detección pueden cubrir una amplia gama de fases de hidrocarburos y reducir el potencial de falsos positivos al utilizar un solo método. Un ejemplo sería utilizar un sensor de DO y una sonda de CTD para detectar indirectamente hidrocarburos en la columna de agua. Dicho monitoreo también ayudará al equipo de respuesta a determinar el destino y el transporte de cualquier columna submarina de hidrocarburos durante el curso de la descarga. Esto, a su vez, permite monitorear la eficacia de la aplicación de dispersantes y ofrece información para evaluar los posibles impactos medioambientales.

Se debe considerar incluir un método acústico para también monitorear la verdadera velocidad de flujo.

Los detalles como la compatibilidad de los diferentes tipos de AOV con los sistemas disponibles para detección de hidrocarburos se presentan en la forma de una serie de matrices en Batelle, 2014. Un ejemplo de tales matrices se muestra en la Tabla 8, página 25, de esta Guía de buenas prácticas.

La revisión de las nuevas tecnologías del API (Arthur *et al.*, 2013) contiene un resumen de las capacidades de monitoreo de las tecnologías actuales, nuevas y emergentes.

## Consideraciones logísticas y de implementación

El clima y otras condiciones (por ejemplo, las reglamentaciones marítimas) pueden limitar la operación de tecnologías de vigilancia basadas en embarcaciones más tradicionales, en función de una cantidad de factores, entre los que se incluyen los siguientes:

- el tamaño de la embarcación;
- el tipo de embarcación requerida para las operaciones, y
- si se requiere un sistema de lanzamiento y recuperación (LARS, por sus siglas en inglés) dedicado.

Los USV y los AUV portátiles pueden ser transportados por la mayoría de los vehículos y se pueden implementar desde la orilla, pero normalmente son implementados por un pequeño número de personas en botes inflables o RHIB. La implementación desde botes pequeños dependerá en gran medida de la condición del mar. Estas tecnologías deberán empacarse adecuadamente usando cajas resistentes para uso en campo que a menudo pueden incorporar artículos de operación adicionales, como computadoras portátiles, medios de almacenamiento removibles, cables de alimentación/datos y repuestos. Detalles de los diferentes tipos de AUV se presentan en Batelle, 2014.

**Tabla 8** Matriz de compatibilidad de AUV planeador y sensor de detección directa

Vehículo	Detección directa																						
	ASD Sorsortechnik BackScat 1	Sistema de detección de fugas Bowtech	Detección de fugas de oleoductos submarinos Chelsea Technologies	Fluorómetro Unilux Chelsea Technologies	Fluorómetro UV Aqua Track Chelsea Technologies	Contros Hydroc CH <sub>4</sub>	Sensor de fluorómetro de PAH Contros Hydroc	Sistema de detección de fugas Contros Mobile	Sensor de aceite en agua Hach FP 360 SC	Neptune Oceanographic SNIFFIT	Detección de fugas Ocean Tools Oceansense	Detector de fugas de hidrocarburos Phaze	Fluorómetro UV Sea & Sun Technology	Fluorómetro UV Seapoint	Dispositivos Smart Light LDS3 Sistema láser de detección de fugas	Sonar de detección automática de fugas (ALD5, por sus siglas en inglés) Sonardyne	Sistema Teledyne TSS MELDS	Tríos enviroflu-DS	Tríos enviroflu-HC	Fluorómetro sumergible Turner Designs C3	Turner Designs Cyclops 6K personalizable	Turner Designs Cyclops 7 personalizable	Sistema de detección de fugas pasivo acústico Weatherford BigEars
ACSA SeaExplorer	NC	1	1	3	1	1	2	1	2	NC	1	NC	2	2	1	NC	NC	1	2	1	2	2	NC
Planeador Bluefin Robotics Spray	NC	2	1	3	2	2	2	1	2	NC	2	NC	2	2	2	NC	NC	2	2	2	3	3	NC
Planeador de costa Exocetus	NC	3	2	3	3	3	3	3	3	NC	3	NC	3	3	3	NC	NC	3	3	3	3	3	NC
Kongsberg 1KA Seaglider	NC	1	1	3	1	1	2	1	2	NC	1	NC	2	2	1	NC	NC	1	2	1	2	2	NC
Planeador térmico Teledyne Webb Research Slocum	NC	1	1	3	1	1	2	1	2	NC	1	NC	2	2	1	NC	NC	1	2	1	2	2	NC
Planeador Teledyne Webb Research G2 Slocum	NC	1	1	3	1	1	2	1	2	NC	1	NC	2	2	1	NC	NC	1	2	1	2	2	NC
Planeador eléctrico Teledyne Webb Research Slocum (conocido como planeador de baterías)	NC	1	1	3	1	1	2	1	2	NC	1	NC	2	2	1	NC	NC	1	2	1	2	2	NC

- 1 No se espera que el sensor sea compatible.
  - 2 El sensor es compatible, pero puede requerir montaje externo; o se espera que el sensor consuma casi todo el volumen de carga útil disponible.
  - 3 El sensor cabe bien y permite transportar cargas útiles adicionales.
- NC = No calificado.

Tanto los AUV ligeros como los pesados (en ocasiones conocidos como LWV y HWV, por sus siglas en inglés, respectivamente) se lanzan generalmente usando un caballete en A o un sistema de grúa de tipo pluma, una rampa de lanzamiento y recuperación o un sistema especial de lanzamiento y recuperación desarrollado específicamente para un tipo de AUV en particular. Las operaciones de recuperación normal consisten en hacer que el AUV nade o quede a la deriva en la superficie. Los AUV normalmente tienen puntos de levantamiento a los cuales se pueden unir las cuerdas para recuperación o un asa de recuperación en la nariz a la cual se puede unir un sistema de gancho implementado desde una grúa o pescante. Este método requiere destreza en la operación del equipo y suficiente mano de obra. Debido a que muchas de estas operaciones requieren que el personal esté en estrecha proximidad al AUV, se requieren condiciones del mar relativamente tranquilas para las operaciones de lanzamiento y recuperación seguras. Algunos sistemas permiten la unión del sistema de recuperación por medio de un poste largo de fibra de carbono (aproximadamente 10 m).

La mayoría de los AUV usan un LARS dedicado que elimina la estrecha proximidad del gancho de poste. Al lanzar el AUV, el vehículo se libera desde el nicho de recuperación y se desliza hacia abajo (cola primero) entre el agua. El AUV libera la línea de recuperación y el flotador (desde la nariz) según las instrucciones, y son después capturadas por la tripulación usando un dispositivo de agarre. Tales técnicas son probadas en operaciones de océanos abiertos.

Normalmente, los USV se lanzan ya sea desde un deslizador en un puerto adyacente, después de lo cual se implementan automáticamente, o desde una embarcación de apoyo usando un pescante/grúa o un caballete en A de manera similar a los AUV. Los USV tienen puntos de levantamiento, generalmente en la proa y la popa (es posible que las embarcaciones ligeras tengan un solo punto de levantamiento). Las restricciones meteorológicas para el uso de USV son actualmente similares a las existentes para los AUV. La unión del sistema de recuperación también se asemeja a la de los AUV, aunque los USV son mucho más controlables, usando un modo de control local, cuando se encuentran junto a una embarcación de apoyo.

## Recomendaciones para diferentes escenarios de derrames

En las Tablas 9 a la 14 se proporcionan las recomendaciones de prioridad para las combinaciones de sensor y vehículo para usarse en cada uno de los siguientes escenarios de derrames:

1. Descarga en una terminal costera: derrame pequeño en superficie.
2. Buque tanque en tránsito costa afuera: derrame mediano, 25 km costa afuera a 10 m de profundidad.
3. Descarga de plataforma costa afuera: derrame pequeño en la superficie, 50 km costa afuera a 300 m de profundidad.
4. Rotura de oleoducto costa afuera: derrame pequeño, 50 km costa afuera a 50 m de profundidad durante 5 días.
5. Reventón de pozo en aguas profundas: derrame extenso, 100 km costa afuera a 2000 m de profundidad.

La puntuación de la compatibilidad se califica según la siguiente escala de puntos:

- 3 = Combinación de prioridad alta de vehículo y sensor para este escenario.
- 2 = Combinación de prioridad media de vehículo y sensor para este escenario.
- 1 = Combinación de prioridad baja de vehículo y sensor para este escenario.
- = Combinación de vehículo y sensor no compatible.

Las calificaciones que contienen un asterisco (\*) indican que los sensores y los vehículos son compatibles, pero es probable que no estén disponibles sin una inversión adicional para la integración y el desarrollo del software/algoritmos.

Las Tablas 9 a la 14 se adaptaron de Batelle, 2014.

**Tabla 9** Recomendaciones de sensor/vehículo para una descarga en una terminal costera: derrame pequeño en superficie

Grupo de sensores		Escenario 2: Descarga en una terminal costera									
		Vehículos de subsuperficie					Vehículos de superficie				
		Clases de AUV		Planeador	Clases de ASV			Embarcaciones tripuladas			
AUV tripulado portátil	AUV ligero/pesado	AUV de gran desplazamiento	ASV impulsado por olas/viento		ASV pequeño	ASV grande	Embarcación de oportunidad	Embarcación grande			
Sensor											
Sensores submarinos directos	Fluorómetro	1*	1*	1*	1*	1*	2	2	2	2	2
	NDIR (CH <sub>4</sub> )	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	1
Sensores submarinos indirectos	CTD	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	DO (electroquímico)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DO (óptico)	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	NDIR (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Medidor de turbidez	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Sensores de embarcación de superficie	LiDAR de fluorescencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*
	Radar	-	-	-	-	-	-	1	2	2	2
	Imágenes térmicas IR	-	-	-	-	-	2	2	3	3	3
	Imágenes UV	-	-	-	-	-	1	1	2	2	2
	Imágenes de luz visible	-	-	-	-	-	2	2	3	3	3

Derrame = crudo dulce ligero Prioridad: 3 = alta, 2 = media, 1 = baja, - = incompatible.

\*Existe la tecnología, pero se requieren recursos para la integración y el desarrollo del software/algoritmos.

**Tabla 10** Recomendaciones de sensor/vehículo para un buque tanque en tránsito costa afuera: derrame medio, 25 km costa afuera a 10 m de profundidad

Escenario 3: Buque tanque en tránsito costa afuera											
Grupo de sensores	Sensor	Vehículos de subsuperficie				Vehículos de superficie					
		Clases de AUV			Planeador	Clases de ASV			Embarcaciones tripuladas		
		AUV tripulado portátil	AUV ligero/pesado	AUV de gran desplazamiento		ASV impulsado por olas/viento	ASV pequeño	ASV grande	Embarcación de oportunidad	Embarcación grande	
Sensores submarinos directos	Fluorómetro	1*	2*	1*	1*	3*	1	3	3	3	3
	NDIR (CH <sub>4</sub> )	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	1
Sensores submarinos indirectos	CTD	1	2	1	1	3	1	3	3	3	3
	DO (electroquímico)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DO (óptico)	1	2	1	1	3	1	3	3	3	3
	NDIR (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Medidor de turbidez	1	2	1	1	3	1	3	3	3	3
Sensores de embarcación de superficie	LiDAR de fluorescencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2*
	Radar	-	-	-	-	-	-	3	3	3	3
	Imágenes térmicas IR	-	-	-	-	-	1	3	3	3	3
	Imágenes UV	-	-	-	-	-	1	2	2	2	2
	Imágenes de luz visible	-	-	-	-	-	1	3	3	3	3

Derrame = crudo dulce ligero Prioridad: 3 = alta, 2 = media, 1 = baja, - = incompatible.

\*Existe la tecnología, pero se requieren recursos para la integración y el desarrollo del software/algoritmos.

**Tabla 11** Recomendaciones de sensor/vehículo para una plataforma costa afuera: derrame pequeño, 50 km costa afuera a 0 m de profundidad

Grupo de sensores		Escenario 4a: Plataforma costa afuera (0 m de profundidad)									
		Vehículos de subsuperficie					Vehículos de superficie				
		Clases de AUV			Planeador	Clases de ASV		Embarcaciones tripuladas			
AUV tripulado portátil	AUV ligero/pesado	AUV de gran desplazamiento	ASV impulsado por olas/viento	ASV pequeño		ASV grande	Embarcación de oportunidad	Embarcación grande			
Sensores submarinos directos	Fluorómetro	1*	1*	1*	1*	1*	2*	1	2	2	2
	NDIR (CH <sub>4</sub> )	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1
Sensores submarinos indirectos	CTD	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2
	DO (electroquímico)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DO (óptico)	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2
	NDIR (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Medidor de turbidez	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2
Sensores de embarcación de superficie	LiDAR de fluorescencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3
	Imágenes térmicas IR	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3
	Imágenes UV	-	-	-	-	-	-	1	2	2	3
	Imágenes de luz visible	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3

Derrame = crudo dulce ligero Prioridad: 3 = alta, 2 = media, 1 = baja, - = incompatible.

\*Existe la tecnología, pero se requieren recursos para la integración y el desarrollo del software/algoritmos.

**Tabla 12** Recomendaciones de sensor/vehículo para una plataforma costa afuera: derrame pequeño, 50 km costa afuera a 300 m de profundidad

Escenario 4b: Plataforma costa afuera (300 m de profundidad)												
Grupo de sensores	Sensor	Vehículos de subsuperficie				Vehículos de superficie						
		Clases de AUV			Planeador	Clases de ASV				Embarcaciones tripuladas		
		AUV tripulado portátil	AUV ligero/pesado	AUV de gran desplazamiento		ASV impulsado por olas/viento	ASV pequeño	ASV grande	Embarcación de oportunidad	Embarcación grande		
Sensores submarinos directos	Fluorómetro	2*	3*	2*	2*	2*	1	2*	1	3	2	3
	NDIR (CH <sub>4</sub> )	1*	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	1	1	1
Sensores submarinos indirectos	CTD	2	3	2	2	2	2	2	1	3	2	3
	DO (electroquímico)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DO (óptico)	2	3	2	2	2	2	2	1	3	2	3
	NDIR (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Medidor de turbidez	2	3	2	2	2	2	2	1	3	2	3
Sensores de embarcación de superficie	LiDAR de fluorescencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3
	Imágenes térmicas IR	-	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3
	Imágenes UV	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	3
	Imágenes de luz visible	-	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3

Derrame = crudo dulce ligero Prioridad: 3 = alta, 2 = media, 1 = baja, - = incompatible.

\*Existe la tecnología, pero se requieren recursos para la integración y el desarrollo del software/algoritmos.



**Tabla 13** Recomendaciones de sensor/vehículo para una rotura de oleoducto costa afuera: derrame pequeño, 50 km costa afuera a 50 m de profundidad durante 5 días

Escenario 5: Rotura de oleoducto costa afuera											
Grupo de sensores	Sensor	Vehículos de subsuperficie				Vehículos de superficie					
		Clases de AUV			Planeador	Clases de ASV			Embarcaciones tripuladas		
		AUV tripulado portátil	AUV ligero/pesado	AUV de gran desplazamiento		ASV impulsado por olas/viento	ASV pequeño	ASV grande	Embarcación de oportunidad	Embarcación grande	
Sensores submarinos directos	Fluorómetro	1*	3*	1*	1*	2*	1	3	2	3	
	NDIR (CH <sub>4</sub> )	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	1
Sensores submarinos indirectos	CTD	1	3	1	1	2	1	3	2	3	3
	DO (electroquímico)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	DO (óptico)	1	3	1	1	2	1	3	2	3	3
	NDIR (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Medidor de turbidez	1	3	1	1	2	1	3	2	3	3
	LiDAR de fluorescencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sensores de embarcación de superficie	Radar	-	-	-	-	-	-	3	2	3	3
	Imágenes térmicas IR	-	-	-	-	-	1	3	2	3	3
	Imágenes UV	-	-	-	-	-	1	2	2	3	3
	Imágenes de luz visible	-	-	-	-	-	1	3	2	3	3

Derrame = crudo dulce ligero Prioridad: 3 = alta, 2 = media, 1 = baja, - = incompatible.

\*Existe la tecnología, pero se requieren recursos para la integración y el desarrollo del software/algoritmos.

**Tabla 14** Recomendaciones de sensor/vehículo para un reventón de pozo en aguas profundas: derrame extenso, 100 km costa afuera a 2000 m de profundidad

Escenario 6: Rotura de oleoducto costa afuera												
Grupo de sensores	Sensor	Vehículos de subsuperficie					Vehículos de superficie					
		Clases de AUV			Planeador	Clases de ASV			Embarcaciones tripuladas			
		AUV tripulado portátil	AUV ligero/pesado	AUV de gran desplazamiento		ASV impulsado por olas/viento	ASV pequeño	ASV grande	Embarcación de oportunidad	Embarcación grande		
Sensores submarinos directos	Fluorómetro	1*	3*	3*	3*	3*	1	3*	1	1	3	
	NDIR (CH <sub>4</sub> )	1*	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	1	1	
Sensores submarinos indirectos	CTD	1	3	3	3	3	1	3	1	1	3	
	DO (electroquímico)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	DO (óptico)	1	3	3	3	3	1	3	1	1	3	
	NDIR (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Medidor de turbidez	1	3	3	3	3	1	3	1	1	3	
Sensores de embarcación de superficie	LiDAR de fluorescencia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2*	
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	1	1	3	
	Imágenes térmicas IR	-	-	-	-	-	1	3	1	1	3	
	Imágenes UV	-	-	-	-	-	1	3	1	1	3	
	Imágenes de luz visible	-	-	-	-	-	1	3	1	1	3	

Derrame = crudo dulce ligero Prioridad: 3 = alta, 2 = media, 1 = baja, - = incompatible.

\*Existe la tecnología, pero se requieren recursos para la integración y el desarrollo del software/algoritmos.

## Establecimiento de capacidades de vigilancia en el agua y en superficie

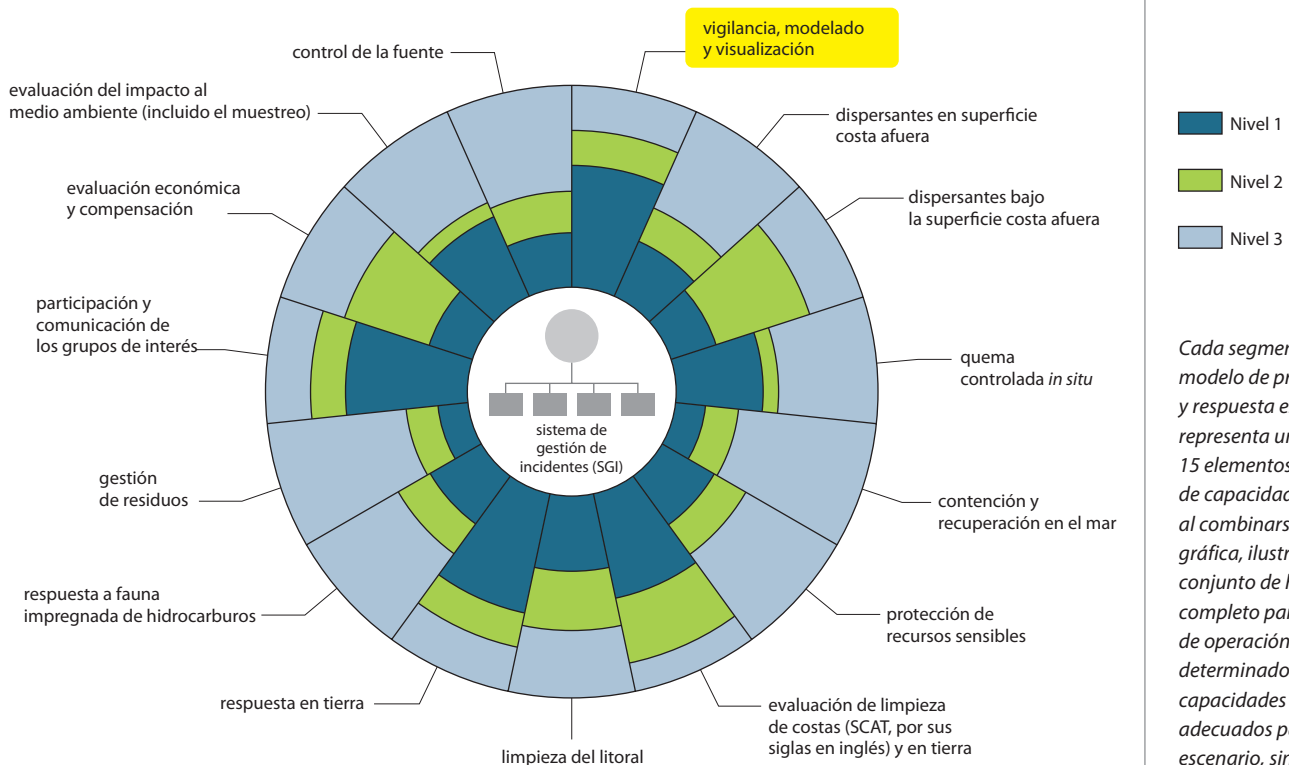
### El papel de la vigilancia en el sistema de gestión de incidentes

La vigilancia es una parte importante de las 15 áreas de capacidad que se combinan para ofrecer un sistema de preparación y respuesta escalonadas integrado. Se pueden encontrar detalles adicionales en la Guía de Buenas Prácticas de IPIECA-IOGP acerca de la preparación y respuesta escalonada (IPIECA-IOGP, 2015a) y el sistema de gestión de incidentes (IPIECA-IOGP, 2016a). La información contenida en estas GBP ayudará a enmarcar la toma de decisiones acerca de los recursos y las capacidades requeridos para la vigilancia en el agua dentro de una organización y para un evento (o simulacro) dado.

La Figura 4 se reproduce de la GBP acerca de la preparación y respuesta escalonadas y muestra las 15 áreas de capacidad, incluida la vigilancia, el modelado y la visualización.

Además del elemento de vigilancia dentro de una respuesta escalonada, también hay un requisito para el modelado y la visualización. Los datos de la vigilancia, junto con la predicción de los movimientos del derrame de hidrocarburos, se deben convertir en información útil, bien presentada y oportuna para permitir la toma de decisiones informada durante la respuesta.

Figura 4 El modelo de preparación y respuesta escalonadas



Cada segmento del modelo de preparación y respuesta escalonada representa uno de los 15 elementos específicos de capacidad, los cuales, al combinarse de manera gráfica, ilustran el conjunto de herramientas completo para esa área de operación. Cuando determinados tipos de capacidades no resultan adecuados para el escenario, simplemente se dejan en blanco. Las divisiones dentro de cada segmento representan las proporciones relativas de recursos de niveles 1, 2 y 3 requeridos para abordar el escenario actual.

## Recursos para la vigilancia en el agua en una respuesta escalonada

La decisión de cuál tecnología (si es que alguna) de vigilancia en el agua o en superficie tener internamente debe ser parte de la fase de planificación para cualquier actividad de respuesta ante derrames de hidrocarburos.

El Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos ha abordado el asunto de la planificación de la respuesta de manera más general, usando un enfoque basado en el riesgo. Los detalles completos, incluida una variedad de escenarios de planificación y evaluaciones de riesgos, se pueden encontrar en IPIECA-IOGP, 2013 junto con un debate acerca de la determinación de los recursos de respuesta ante derrames de hidrocarburos, incluido el equipo, el personal y la logística.

Las siguientes preguntas pueden ayudar en el proceso de toma de decisiones para operaciones de vigilancia en el agua.

- ¿Hay algún requisito reglamentario para dichas tecnologías de vigilancia?, y de haberlo, ¿de qué forma se abordará esto?
- ¿Ya existe una tecnología adecuada en un centro local o nacional que sea posible movilizar fácilmente como parte de una iniciativa de respuesta (es decir, capacidades de niveles 2 y 3)?
- ¿Cumplen los recursos con los requisitos de las reglamentaciones locales?
- ¿Se cuenta con aprobaciones previas o procesos en caso de que fuera necesario importar las tecnologías?
- ¿Se cuenta con acuerdos con contratistas o usuarios para acceder a este apoyo?
- ¿Se cuenta con planes de gestión de riesgos y casos de seguridad robustos para la implementación segura de sistemas autónomos marinos, así como para el programa más amplio de vigilancia en el agua?
- Además de las tecnologías de vigilancia (por ejemplo, AUV y posiblemente ASV y USV), ¿qué otros apoyos logísticos (por ejemplo, embarcaciones), se requerirán?
- ¿Hay contratos de embarcaciones adecuadas o disponibles a través de acuerdos recíprocos existentes para implementar las tecnologías?
- ¿Hay disponibilidad de personal competente y capacitado adecuadamente para implementar el equipo?
- ¿Es el personal empleado por el operador o se ofrece con el equipo?
- ¿Están calibrados los instrumentos y está documentada la calibración?
- ¿Están disponibles los instrumentos para implementarse?
- Dada la naturaleza del hidrocarburo derramado, ¿están incluidos los sensores adecuados con las plataformas de vigilancia en el agua y en superficie?
- ¿Es adecuada la gama de recursos disponibles para el medio ambiente y las profundidades del agua en el sitio del incidente potencial?
- ¿Se requieren aprobaciones previas para la implementación de los sistemas de vigilancia? Esto podría ser un requisito particular en el caso de los sistemas autónomos que tienen alcances extensos.
- ¿Se requiere que un equipo científico acompañe al equipo y apoye la operación de monitoreo? ¿Son los objetivos del equipo científico compatibles con los objetivos de la respuesta? ¿El SGI de la organización tiene la capacidad de gestionar el equipo científico?
- ¿Cómo se relacionarán los datos de los diferentes sistemas de detección y plataformas en tiempo real o en tiempo casi real con el SGI?
- ¿Tiene el SGI de la organización la capacidad de integrar la información potencial de la vigilancia en el agua y en superficie en el COP de manera oportuna?
- ¿Se han realizado pruebas en los simulacros o ejercicios prácticos para asegurarse de que el equipo funcionará de la manera planificada y que los datos se puedan comunicar al COP y visualizarse en este?

No es posible sobreenfatizar la importancia de la planificación para las capacidades de vigilancia. Un derrame de hidrocarburos basado en la disponibilidad no planificada u oportunista de plataformas y sensores no es una opción viable.

## Monitoreo de la vigilancia en el agua y la inyección de dispersante bajo el nivel del mar

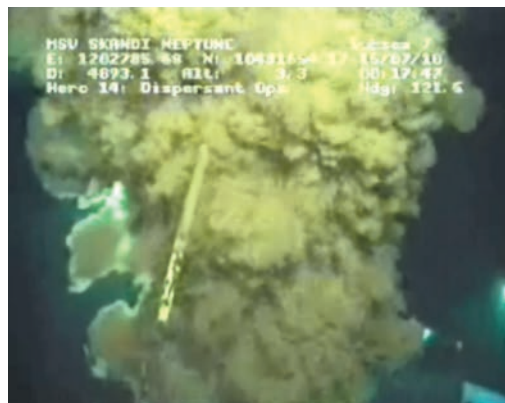
Una de las principales funciones de la vigilancia en el agua es monitorear la eficacia de la inyección de dispersante bajo la superficie del mar (SSDI). Muchas de las anteriores preguntas formarán parte de una revisión más amplia en la etapa de planificación de la respuesta al evaluar el uso potencial de SSDI. Un plan detallado de monitoreo de la vigilancia en el agua y en superficie ayuda a identificar los suministros, el equipo, el personal y las actividades necesarias para usar y evaluar eficazmente la SSDI en el evento de un derrame. Abordar estos requisitos a través de la planificación de la respuesta ayuda a producir resultados más eficientes y eficaces durante la iniciativa de respuesta.

Estos asuntos se analizan a detalle en la Guía de buenas prácticas de IPIECA-IOGP acerca de la inyección de dispersante bajo la superficie del mar (IPIECA-IOGP, 2015b). La publicación ofrece una visión general del monitoreo y evaluación submarinos llevados a cabo durante el derrame del Macondo en el Golfo de México en 2010; la primera ocasión en que se utilizó SSDI en una operación de respuesta ante derrames de hidrocarburos. También se abordan los detalles del monitoreo de la columna de agua realizado durante la respuesta al Macondo.

Tres de los principales objetivos operativos para el monitoreo submarino son (ver también páginas 37 a 40):

- monitorear la aplicación de dispersante bajo la superficie del mar y evaluar su eficacia;
- identificar la naturaleza, el comportamiento y la extensión de la columna de hidrocarburo dispersado en la columna de agua, y
- realizar una evaluación inicial de los posibles efectos ecológicos a medida que se relacionan con la toma de decisiones operativas.

Siempre que ocurra un derrame de hidrocarburos, existe la posibilidad de que una parte del hidrocarburo ascienda hasta la superficie donde es posible implementar técnicas de monitoreo más tradicionales. Estas pueden incluir el uso de embarcaciones y vehículos de superficie tripulados y no tripulados, así como el uso de sistemas de vigilancia aérea y satelital. Las guías de buenas prácticas de IPIECA-IOGP sobre observación aérea (IPIECA-IMO-IOGP, 2015) y sobre teledetección satelital (IPIECA-IOGP, 2016b) ofrecen información adicional acerca de estos temas. Debe notarse que la vigilancia en superficie puede usar las tecnologías asociadas con los protocolos de monitoreo especial de tecnologías de respuesta aplicadas (SMART, por sus siglas en inglés) (NOAA, 2006).



Modificado del video de ROV de BP

Las imágenes de la izquierda muestran el dispersante siendo inyectado directamente en la columna de hidrocarburos y gas que fluyen desde el cabezal roto del pozo durante el incidente del Macondo en 2010. Se inyectó dispersante en la columna por medio de una lanza o vara sostenida por el ROV y guiada por el operador del ROV.

La integración en el SGI de esta amplia gama de información de vigilancia potencial se cubre bajo el COP. El Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos ha desarrollado una práctica recomendada para el COP (IPIECA-IOGP, 2015d), la cual se analiza a detalle en las páginas 42 y 43 de esta guía.

La vigilancia en el agua también se puede utilizar para monitorear los parámetros físicos y químicos de la columna de agua y obtener una mejor comprensión de los efectos medioambientales de un derrame. Los datos acerca de los parámetros físicos como la temperatura, la conductividad (salinidad) y las corrientes oceánicas pueden ofrecer aportes invaluable a los modelos hidrodinámicos y de las columnas de derrames de hidrocarburos. Para maximizar estos beneficios para la toma de decisiones operativas, los datos se deben recuperar y transmitir en tiempo real (o en tiempo casi real). La asimilación de los datos en los modelos de derrames de hidrocarburos puede mejorar significativamente su desempeño para ofrecer predicciones acerca del movimiento del derrame de hidrocarburos y así poder mejorar la toma de decisiones para la respuesta. La planificación para la integración de los modelos de derrames en el COP se debe considerar con suficiente anticipación a la ocurrencia de un derrame verdadero y se debe probar durante simulacros o ejercicios prácticos.

En caso de que la decisión sea establecer una capacidad interna (es decir, plataformas y sensores) para vigilancia en el agua, la planificación de la organización de estos recursos de respuesta requerirá de consideración cuidadosa. Esta debe incluir el mantenimiento regular de los sistemas y la calibración de los sensores. Se debe contar con los procedimientos adecuados para asegurarse de que los paquetes de baterías y los sensores usados en los vehículos estén listos para implementarse de inmediato durante un simulacro o una respuesta ante un derrame. Al establecer esta capacidad interna, será importante determinar desde el inicio si el equipo habrá de:

- ser dedicado (es decir, no utilizarse para otras actividades) o compartido (por ejemplo, entre la industria);
- ser construido para el fin (para subrayar su propósito operativo), y
- tener un ciclo de mantenimiento único y/o una rápida capacidad de implementación (para subrayar el estado mejorado de la preparación).

Además del equipo requerido para la vigilancia en el agua, también se requerirá de personal adecuadamente capacitado. Se deben identificar claramente las descripciones de los empleos, las responsabilidades y la cadena de comando, junto con una estrategia de comunicación adecuada entre los diferentes grupos como los equipos de monitoreo y científico, planificación y logística, personal del COP y SIG, etc. Los principales grupos de interés en el grupo de comando del incidente deben estar totalmente conscientes y apoyar estas tecnologías y personal de vigilancia en el agua para maximizar los beneficios de su reclutamiento y retención.

Un enfoque alternativo es ver el suministro regional de recursos y personal para vigilancia en el agua. Un ejemplo de ello es el programa regional de respuesta operado en el Golfo de México bajo el auspicio de la Marine Well Containment Company (MWCC). Este ofrece el equipo y el personal adecuados para permitir la aplicación de las guías de monitoreo de la SSDI recomendadas por el API (2013a).

## Implementación de las tecnologías en una respuesta submarina

El API ha desarrollado directrices para el sector que se abocan principalmente al monitoreo operativo durante la implementación de la SSDI (API, 2013). Los datos de monitoreo se utilizan para ayudar a decidir si continuar o modificar el uso de dispersante bajo la superficie del mar durante una respuesta ante un derrame. Gran parte de las guías del API tienen importancia general para la vigilancia en el agua. El enfoque del monitoreo de la SSDI es recopilar datos de monitoreo en tiempo real, o en tiempo casi real, que se pueden utilizar para comunicar las decisiones operativas para el periodo actual de operaciones.

Los datos de monitoreo que no estén fácilmente disponibles al SGI a través del COP no pueden apoyar decisiones operativas, pero se pueden utilizar para evaluaciones posteriores al derrame. Las estrategias de monitoreo diseñadas para evaluaciones medioambientales también pueden utilizar muchas de las plataformas y sensores que se abordan en esta guía, aunque gran parte de los datos recopilados requerirán un análisis e interpretación más detallados si se van a utilizar para evaluaciones medioambientales como resultado del derrame. Este tema no se cubre en mayor detalle en esta guía.

En función de la ubicación y la naturaleza del derrame de hidrocarburos, pueden necesitarse varios días para tener recursos de vigilancia en el agua y en superficie disponibles en el campo. Las reglamentaciones locales pueden exigir que se cuente con dichos recursos de monitoreo antes de realizarse una SSDI. Aunque la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores y las zonas de superficie y de costas sensibles desde el punto de vista medioambiental requieren la SSDI lo más pronto posible después de una descarga submarina, en la mayoría de los casos debe ser posible tener recursos de monitoreo listos para iniciar procedimientos de monitoreo más sofisticados junto con la inyección de dispersante.



Framepool

*Los datos de monitoreo son útiles para determinar si continuar o modificar la aplicación de dispersante bajo la superficie del mar durante una respuesta ante derrames de hidrocarburos. En la imagen de la izquierda se pueden ver tres ROV monitoreando la columna de hidrocarburo y gas liberados desde el cabezal del pozo durante el incidente del Macondo en 2010.*

### Monitoreo de dispersante bajo la superficie del mar

Como se observa en API (2013a) y en la guía de buenas prácticas de IPIECA-IOGP sobre la aplicación de dispersante bajo la superficie del mar (IPIECA-IOGP, 2015b), hay tres objetivos principales al monitorear la SSDI:

1. monitorear la aplicación de dispersante bajo la superficie del mar y evaluar su eficacia;
2. identificar la naturaleza, el comportamiento y la extensión de la columna de hidrocarburo dispersado en la columna de agua, y
3. una evaluación inicial de los posibles efectos ecológicos a medida que se relacionan con la toma de decisiones operativas de la respuesta.

Estas fases se organizan de manera cronológica y aumentan en complejidad al paso del tiempo. En circunstancias ideales, todas las fases deben concurrir, pero las consideraciones de tipo logístico pueden necesitar el enfoque de fases detallado y recomendado por el API. A continuación, se aborda cada fase a detalle.

## Fase 1: Evaluación de la eficacia de dispersantes bajo la superficie del mar

Antes de la iniciación de la SSDI, se requiere el monitoreo del punto de inyección propuesto para establecer las condiciones de referencia y guiar la selección de los métodos de inyección de dispersante y las tasas de aplicación. Este monitoreo inicial se utiliza para los siguientes propósitos:

- identificar la distribución espacial y temporal de la descarga submarina de hidrocarburos;
- calcular las tasas de flujo de hidrocarburo y gas, y
- determinar las propiedades y el comportamiento del hidrocarburo liberado.

El monitoreo en el agua comprende los siguientes elementos:

- Evaluaciones visuales desde los ROV equipados con cámaras de video: se pueden analizar las imágenes para comprobar si la nube visible de hidrocarburos cambia de color, densidad o forma.
- Evaluaciones acústicas basadas en sonar usando datos de retrodispersión desde un dispositivo montado en un ROV: el sonar, a la frecuencia adecuada, debe emitir una señal más fuerte antes de la inyección de dispersante, y más débil después de la inyección.
- Los recientes trabajos del API y el SINTEF han dado como resultado el desarrollo de la SilCam (cámara de silueta) que ha demostrado la capacidad de determinar de manera más precisa la distribución del tamaño de las gotas y la relación aceite-gas.

Además del monitoreo en el agua, la vigilancia desde fuentes en la superficie y aéreas se incorporan de la siguiente manera en la evaluación:

- Las imágenes aéreas se utilizan para evaluar la expresión y la extensión del hidrocarburo en la superficie: la comparación de imágenes antes de después de iniciada la SSDI permite evaluar si la cantidad de hidrocarburo que llega a la superficie ha disminuido.
- Se pueden utilizar embarcaciones de superficie que se encuentren en estrecha proximidad a la fuentes del derrame para monitorear los VOC y el porcentaje del límite inferior de explosión (LEL, por sus siglas en inglés). Si la SSDI es eficaz, se pueden esperar reducciones significativas en los VOC, pero la evidencia de la respuesta al incidente del Macondo en el Golfo de México en 2010 sugiere que el proceso es complejo y que la correlación puede no ser tan fuerte como la teoría puede sugerir.

Se recomienda implementar un programa formal de monitoreo de VOC/LEL, el cual debe incluir un componente de modelado numérico adecuado. Se recomienda seguir el enfoque de "seguridad primero" tanto durante incidentes como durante simulacros donde el uso de dispersante puede aumentar la capacidad de controlar la fuente con seguridad.

Uno de los problemas que se asocia con el monitoreo desde embarcaciones de superficie tripuladas es la posible exposición del personal a los efectos nocivos de los VOC. El monitoreo adecuado de los niveles de exposición permisibles (PEL, por sus siglas en inglés) puede facilitarse al hacer que el personal costa afuera use placas para monitoreo de vapores. De manera idónea, este tipo de monitoreo de los VOC puede realizarse usando sistemas marinos no tripulados o drones aéreos equipados adecuadamente, reduciendo así el riesgo a la salud y la seguridad del personal de respuesta y a otros en la zona.



## Fase 2: Identificación del comportamiento y la extensión de la columna de hidrocarburo dispersado en la columna de agua

Los fines de esta fase del monitoreo en el agua son:

- determinar la ubicación, la extensión y las características de los hidrocarburos disueltos y dispersados dentro de la columna de agua;
- identificar el movimiento lateral y vertical de los hidrocarburos disueltos y dispersados, y
- documentar los cambios en la concentración de los hidrocarburos a medida que se alejan de la fuente.

La estrategia principal de monitoreo implica el uso de una embarcación de superficie adecuada. Esta debe estar equipada con un caballete en A y un sistema de cabrestante para implementar un sistema de CTD para medir la conductividad, la temperatura y la profundidad. Normalmente, el sistema de CTD también incluirá una roseta para muestreo del agua con botellas Niskin, un fluorómetro y un sensor de oxígeno disuelto. Las muestras de agua se recogen desde profundidades determinadas por medio del análisis de los lanzamientos del CTD para determinadas estaciones y se almacenan para el análisis detallado posterior. Las muestras de agua para la determinación del oxígeno disuelto se deben recolectar a profundidades por encima, en y por debajo de cualquier incremento observado en la respuesta fluorométrica. Después de la recuperación de los instrumentos, se deben transferir las muestras del agua a recipientes adecuados, con los metadatos adecuados y almacenarse para el análisis posterior.

Además del sistema de CTD, se puede implementar un analizador de tamaño de partículas para aguas profundas (por ejemplo, LISST o SilCam) para ofrecer mediciones *in situ* en tiempo real de la distribución de los tamaños de las gotas de hidrocarburo. Un cambio significativo en el tamaño de las gotas grandes a pequeñas es un indicador de dispersión del hidrocarburo.

Los datos oceanográficos locales junto con los modelos hidrodinámicos, de estar disponibles, determinarán la dirección probable del movimiento del hidrocarburo bajo la superficie del mar. La determinación de los lugares para la toma de muestras de agua se debe basar en la información de un modelo confiable en 3D de derrame de hidrocarburos bajo la superficie del mar. Dichos modelos se desarrollan y se mejoran continuamente, y se debe de tener cuidado para asegurarse de que se esté empleando la versión más reciente. De manera ideal, el modelo seleccionado debe validarse como parte del proceso de planificación. La guía acerca de la validación del modelo hidrodinámico se desarrolló como parte del Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos (Actimar, 2015a).

Un modelo de derrame de hidrocarburos solo será confiable a medida que se utilicen los datos atmosféricos de entrada y las condiciones hidrodinámicas en su inicialización y operación. Por lo tanto, siempre que sea posible, se deben asimilar en el sistema de modelado los datos meteorológicos y oceanográficos de la zona del derrame en tiempo real o en tiempo casi real. El sistema de observación oceánica mundial (GOOS, por sus siglas en inglés) ofrece datos oceanográficos a escala mundial y es posible acceder fácilmente a gran parte de ellos. Un estudio reciente a nivel mundial de sistemas de observación de océanos se puede encontrar en Ocean News & Technology (2015). El papel de la asimilación de los modelos oceánicos ha sido el enfoque de importante investigación en el Experimento de asimilación de datos oceánicos mundiales de las Naciones Unidas (GODAE, por sus siglas en inglés). Se puede encontrar un resumen de esta investigación y sus últimos descubrimientos en un número especial reciente del *Journal of Operational Oceanography* (IMarEST, 2015).

Se puede encontrar una revisión de las bases de datos meteorológicos y oceanográficos y recursos disponibles por cuenca oceánica en el trabajo realizado por el Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos por Actimar (2015b). Además, este informe ofrece una revisión exhaustiva de una amplia gama de modelos atmosféricos e hidrodinámicos. Estos van desde modelos globales hasta aquellos diseñados para usarse en cuencas específicas, y se hacen

recomendaciones respecto de cuál modelo es probable que sea el más adecuado para usarse en cada cuenca.

También se pueden evaluar los resultados de los modelos de derrames de hidrocarburos frente a las observaciones *in situ* de las ubicaciones de las columnas de hidrocarburos en la columna de agua y en la superficie. Puede ser necesario ejecutar un conjunto de diferentes modelos o un solo modelo de columna de hidrocarburos con varias condiciones de límites hidrodinámicos para obtener una predicción “consensuada” de la ubicación más probable de la columna de hidrocarburos y guiar las ubicaciones óptimas para muestreo futuro.

Cuando no hay modelos disponibles para ayudar en la selección de las ubicaciones de muestreo, se debe desarrollar una cuadrícula de muestreo y centrarse en la ubicación del derrame. Se deben establecer estaciones en un patrón radial ubicadas a distancias fijas desplazándose desde el centro, y se deben utilizar las lecturas de fluorómetro de las mediciones de los lanzamientos del CTD y de las medidas de LISST para determinar el trayecto del hidrocarburo dispersado. Además, se puede usar un arreglo fijo, estaciones o arreglos de muestreo adaptados para complementar las estaciones fijas a medida que el escenario del derrame cambia con el paso del tiempo.

De cualquier manera que se determine el patrón de muestreo, se debe tener cuidado de asegurarse de que las operaciones de la embarcación de monitoreo y el ROV sean adecuadas con otras actividades logísticas que se desarrollen alrededor del sitio del derrame. Las decisiones acerca de operaciones simultáneas (SIMOPS, por sus siglas en inglés) forman parte integral del SGI. El conocimiento detallado y actualizado de las ubicaciones de las embarcaciones, plataformas y sensores que llevan a cabo las operaciones de vigilancia y monitoreo en el agua se requerirán en el COP para facilitar dicha toma de decisiones.

### Fase 3: Evaluación inicial del potencial de efectos ecológicos

---

Esta fase del monitoreo busca identificar totalmente todas las muestras de agua recolectadas por los lanzamientos del CTD, usando técnicas de análisis de laboratorio de última tecnología para análisis de petróleo y análisis de marcadores de dispersantes. Las muestras de agua deberán regresarse a tierra para la transferencia rápida a un laboratorio acreditado y certificado y se deben seguir los procedimientos adecuados de la cadena de custodia mientras que las muestras estén en tránsito. El tiempo de trayecto en la embarcación, el tiempo de transferencia de la muestra y el procesamiento en el laboratorio pueden representar un mínimo de cinco días para procesar una muestra, en función de la ubicación del incidente. En el caso de un derrame mayor donde se recolecten cantidades significativas de muestras, podría demorarse de 7 a 10 días para recibir los resultados analíticos detallados que cumplan las normas de aseguramiento y control de la calidad. Es probable que muchas ubicaciones en el mundo no tendrán suficientes instalaciones de laboratorios para ofrecer el nivel de química toxicológica y analítica que se requirieron durante la fase de muestreo y monitoreo del agua de la respuesta de dispersante al incidente del Macondo.

En cualquier actividad de vigilancia o simulacro de recolección de muestras, es importante entender y aceptar los estándares, límites y motivos para recopilar los datos que se regresarán como parte del simulacro de vigilancia. Esto asegurará que los datos recopilados sean significativos en términos de guiar la respuesta o que los datos confirmarán la presencia o la ausencia de cualquier impacto negativo comparado con una referencia establecida y acordada.

## Planificación del aseguramiento de la calidad

---

Es necesario un plan de proyecto de aseguramiento de la calidad (QAPP, por sus siglas en inglés) adecuado para gestionar la metodología de la recolección de muestras, el manejo, la cadena de custodia y los procedimientos de descontaminación para asegurar que se recopilen y se mantengan datos de la más alta calidad. El QAPP debe incluir:

- una introducción que identifique los objetivos del proyecto y el personal del proyecto;
- la descripción y los antecedentes del sitio, incluida la batimetría, las corrientes oceánicas y otras características pertinentes del sedimento y geológicas; la descripción debe identificar cualquier filtración relevante de hidrocarburos o infraestructura de gas natural en la zona;
- una descripción de los protocolos del muestreo y el monitoreo, objetivos de calidad de los datos y las estrategias de implementación de salud y seguridad, y
- aseguramiento de la calidad para abordar los procedimientos de la cadena de custodia, registros en el campo y manejo de datos cualitativos, incluidas imágenes y videos.

## Uso y comunicación de datos e información

Durante la respuesta al incidente del Macondo en 2010, se generaron grandes volúmenes de datos de vigilancia de una amplia gama de fuentes. El desafío de convertir estas grandes cantidades de datos en información que pudiera ayudar al personal de respuesta se volvió un asunto clave para la iniciativa de respuesta. Por lo tanto, no se debe pasar por alto el valor de los estudios existentes (por ejemplo, evaluaciones de sensibilidad medioambiental) y los datos de referencia, y se deben capturar en el COP como parte de la fase de planificación previa. Esto facilitará la toma de decisiones oportuna durante un incidente cuando grandes volúmenes de nuevos datos e información de un incidente real o un simulacro lleguen al centro de comando del incidente.

La información precisa, oportuna y con referencia geográfica es de vital importancia para la toma de decisiones operativas y estratégicas. Los impedimentos que se identificaron para la conciencia sincronizada y total acerca de la situación durante la respuesta del Macondo incluyeron (USCG, 2011):

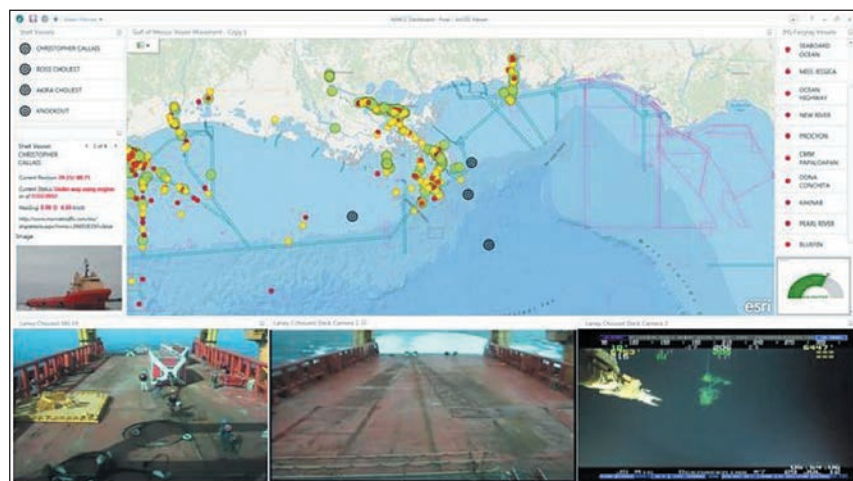
- la falta de acuerdos acerca de cuáles datos se debían rastrear y transmitir;
- la vasta geografía de la zona de operaciones de la respuesta;
- la falta de disponibilidad de tecnología comunicaciones interoperable adecuada;
- la capacidad limitada de empujar datos en tiempo real, tanto verticalmente como lateralmente a lo largo de la organización de la respuesta, y
- diferentes estándares informáticos.

### Panorama operativo en Común (COP)

Los aprendizajes obtenidos al revisar estos impedimentos dentro del Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos han llevado al desarrollo de prácticas recomendadas para la arquitectura del panorama operativo en común (COP) (IPIECA-IOGP, 2015d). Al seguir las guías de estas prácticas recomendadas, se pueden abordar muchos de los problemas que evitaron la toma de decisiones oportuna durante el incidente del Macondo. No menos importante de estas es el desarrollo de un plan de gestión de la información (IMP, por sus siglas en inglés) que debe incluir:

- estándares aceptados de los datos;
- requisitos para los informes de campo;
- formatos de los medios;
- política de control del acceso, y
- requisitos para el archivo de los datos.

*Ejemplo de un tablero geoespacial del COP de una respuesta ante un derrame de hidrocarburos*



Los siguientes elementos son de importancia particular para la vigilancia en el agua:

- Georreferencia precisa de los datos de vigilancia a un sistema común de referencia de coordenadas.
- Un dato de referencia vertical adecuado al lugar (por ejemplo, nivel medio del mar, dato de gráfico).
- Metadatos que describan la fuente, la ubicación, el muestreo y las unidades y formatos de salida de los flujos de datos entrantes incluidas las fuentes de video.
- Formato de datos compatible con OGC<sup>1</sup>: es de advertirse que muchos de los sistemas de detección en el agua usan formatos de salida propios que no son compatibles con los estándares OGC (Batelle, 2014).
- El etiquetado de recursos operativos para facilitar la identificación y seguimiento del equipo y los recursos, por ejemplo, el uso de transmisores de sistema de identificación automática (AIS, por sus siglas en inglés) en embarcaciones de superficie.
- Los sistemas y los procedimientos para el procesamiento y el análisis de los datos entrantes para generar información que se pueda utilizar para la toma de decisiones operativa por parte del equipo de respuesta; esto es probable que incluya la integración con otros datos e información disponibles dentro del COP y requerirá de expertos adecuados para realizar las evaluaciones generales.
- Se debe conservar el historial de procesamiento y flujo de trabajo de la información y los productos generados para evaluaciones posteriores al derrame.

## Modelado de derrames de hidrocarburos

El modelado de un derrame de hidrocarburos como parte de la respuesta tiene tres componentes principales:

1. modelado de la trayectoria de un derrame/columna de hidrocarburos;
2. modelado hidrodinámico y atmosférico de parámetros como curvas, corrientes y vientos que impulsan los modelos de derrames y columnas de hidrocarburos, y
3. modelado atmosférico para los VOC y los LEL.

La selección del modelo o los modelos adecuados requerirá de conocimientos tanto de los especialistas medioambientales como meteorológicos y oceanográficos dentro del sector. Como se mencionó anteriormente, los modelos de derrames de hidrocarburos solo serán confiables en la medida que se utilicen los datos atmosféricos de entrada y las condiciones hidrodinámicas en su inicialización y operación. Los resultados de cualquier modelo se deben validar frente a observaciones *in situ* e información de vigilancia. Si se utiliza un conjunto de modelos, la selección de uno con el resultado más preciso puede variar de un día a otro, en función de las condiciones hidrodinámicas y atmosféricas específicas.

Es probable que el COP reciba el resultado de modelo en una variedad de formatos. Además, la integración del resultado de modelo con los datos meteorológicos y oceanográficos y de vigilancia *in situ* puede ser desafiante debido a la gran variedad de formatos que están en uso. Siempre que sea posible, se debe acordar respecto de estos y codificarse durante las fases de planificación y, a continuación, probarse en ejercicios prácticos y simulacros para asegurarse de que el equipo de respuesta pueda utilizar la información fácilmente y de manera oportuna.

<sup>1</sup> El Consorcio geoespacial abierto (OGC, por sus siglas en inglés) es un consorcio internacional de más de 480 empresas, organismos gubernamentales, organizaciones de investigación y universidades que participan en un proceso de consenso para desarrollar estándares geoespaciales disponibles públicamente. Los estándares OGC apoyan las soluciones interoperables que habilitan geográficamente los servicios de basados en la web, inalámbricos y basados en el sitio y las corrientes principales de TI. Los estándares OGC permiten a los desarrolladores de tecnología volver accesibles y útiles la información y los servicios geoespaciales con cualquier aplicación que se deba habilitar geoespacialmente. [www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org)

## Innovaciones y desarrollos tecnológicos futuros

La vigilancia en el agua es una de las diferentes áreas de respuesta ante derrames de hidrocarburos que está experimentando un rápido desarrollo tecnológico en la actualidad, incluidos los avances en la tecnología de sensores, plataformas de alojamiento, sistemas de software y tecnologías de baterías. Además, también presentan rápidos avances las herramientas de modelado y visualización que se requieren para ofrecer inteligencia de vigilancia a los equipos de respuesta.

En EE. UU., el Comité coordinador de interorganismos para la investigación de contaminación de hidrocarburos (ICCOPR, por sus siglas en inglés) publicó recientemente su plan sexenal para la investigación y desarrollo en respuestas ante derrames de hidrocarburos (ICCOPR, 2015). Este incluye secciones relacionadas con la detección y vigilancia de derrames de hidrocarburos. Un equipo de expertos de la Royal Society of Canada también ha producido un informe de tipo prospectivo similar (Lee *et al.*, 2015).

### Plataformas de alojamiento

El desarrollo de tecnología para plataformas de vigilancia en el agua está evolucionando rápidamente. Las innovaciones cubren una gama de diferentes aspectos. Algunos de estos se abordan brevemente a continuación y, con el desarrollo y las pruebas adecuadas, tienen el potencial de mejorar significativamente las capacidades de respuesta ante derrames de hidrocarburos en los próximos años.

Los vehículos híbridos, algunos de los cuales combinan las características de los UV y los ROV, también se encuentran en desarrollo. Esta tecnología fue desarrollada inicialmente para mercados militares y para inspecciones costa afuera de hidrocarburos y gas y para funciones de intervención, pero se podría adaptar para misiones de vigilancia de derrames de hidrocarburos. Los ejemplos incluyen el Saab

Sabretooth que comprende un AUV/ROV flotante con capacidad para aguas profundas. Un operador puede controlar las operaciones por medio de una unión de fibra óptica, o la unidad se puede desatar y realizar una operación autónoma. La funcionalidad del AUV incluye la prevención de obstáculos, el control basado en el comportamiento, la flotación y la capacidad de atracar bajo la superficie del mar. Esta última permite recargar la batería y descargar los datos y permite una implementación sostenida durante más de seis meses sin necesidad de mantenimiento, eliminando la necesidad de los costos asociados de una embarcación de acompañamiento en superficie.



*Saab Sabretooth representa un nuevo desarrollo en la tecnología de AUV/ROV híbridos para vigilancia en el agua; combina la tecnología de flotación con capacidad de aguas profundas, resistencia autónoma extendida y mayor impulso para estudios a alta velocidad en entornos de corrientes fuertes.*

En ciertos países, la robótica marina es un campo que actualmente está recibiendo importante atención (y financiación). La Unión Europea financia trabajos a través de su programa Horizon 2020 para desarrollar planeadores oceánicos de aguas profundas con capacidades de profundidad de 2400 a 5000 metros. En el Reino Unido, el Centro de Innovación de Robótica Marina está unido al Centro Nacional de Oceanografía de Southampton que recibe una importante inversión del gobierno. Gran parte el trabajo que se desarrolla en el Centro de Innovación de Robótica Marina está destinado a mejorar la capacidad y la economía del monitoreo oceánico mundial, ya sea para fines científicos, militares o comerciales. En el campo de las ciencias marinas, se está evaluando el potencial del uso de sistemas autónomos para ciertas observaciones marinas, en vez de usar embarcaciones de investigación que requieren una extensa mano de obra, costos de mantenimiento y de operación.

Muchos de los desarrollos que están sucediendo actualmente en el Centro de Innovación de Robótica Marina y en otros centros de investigación marina podría aplicarse a la vigilancia en el agua de derrames de hidrocarburos, como se muestra en los siguientes ejemplos:

- Hay trabajos en marcha para mejorar el monitoreo de los parámetros oceánicos usando sistemas inteligentes y adaptados para muestras para eventos efímeros. Estos tienen el potencial de aplicarse a vigilancia en el agua de columnas de hidrocarburos derramados, etc.
- Se está realizando investigación para investigar el potencial de comunicaciones en tiempo real entre los AUV para permitirles trabajar en equipo en vez de como unidades individuales autónomas.
- Se está mejorando el papel de los ASV para permitir la comunicación entre el vehículo de superficie y una flotilla de AUV trabajando en la misma zona; hay planes para hacer que un AUV actúe como un sistema de lanzamiento para AUV y proporcione el centro de comando y comunicaciones para integrar las señales desde los sistemas de sensores submarinos y en superficie implementados en los ASV, AUV y ROV.

Las implementaciones como estas ofrecen el potencial de mejorar la operación simultánea de recursos de monitoreo en el evento de un derrame. Sin embargo, hay problemas reglamentarios relativos al uso de sistemas marinos autónomos en general. Estos se encuentran actualmente bajo debate en foros internacionales, incluida la Organización Marítima Internacional (OMI).

El Grupo de trabajo reglamentario de sistemas autónomos marinos del Reino Unido (MASRWG, por sus siglas en inglés) está preparando actualmente un código impulsado por el sector y un código de prácticas para la operación segura de USV, y está trabajando con una cantidad de asociados internacionales para lograr consenso para la inclusión de USV en instrumentos de la OMI, como el COLREGS, SOLAS, STCW y MARPOL.

## Comunicaciones y baterías

Las limitaciones de las tasas de transferencia de datos bajo la superficie del mar están bajo revisión, y se está desarrollando una variedad de tecnologías distintas a la transmisión acústica. Un ejemplo es BlueComm, un sistema de corto alcance basado en óptica desarrollado por Lumasys, Inc., que tiene la capacidad de ofrecer transmisión de datos en ancho de banda alto a velocidad de ancho de banda sobre distancias de hasta 200 metros.

Todos los tipos de AUV generalmente utilizan tecnología de baterías. Muchos usan baterías de ion litio (Li-ion), pero estas tienen algunas limitaciones, entre las que se incluyen las siguientes:

- se degradan con el paso del tiempo, incluso si no se utilizan;
- hay restricciones para su transporte: es probable que los envíos estén sujetos a controles de importación/exportación, y
- requieren un circuito de protección para mantener el voltaje y la corriente dentro de los límites de operación seguros.

Durante los últimos 10 años, ha tenido lugar el desarrollo de la siguiente generación de baterías basada en litio usando tecnología de sulfuro de litio (Li-S). Las baterías de Li-S ofrecen en potencia hasta cinco veces la densidad de energía teórica que las baterías de Li-ion. Además, hay baterías distintas a las de Li-ion que no necesitan mantenimiento, son más ligeras y de flotación neutral que requieren flotación de espuma sintáctica para usarse en implementaciones de AUV para mantener su flotación. Sin embargo, incidentes recientes de alto perfil que involucraron incendios causados por baterías de litio han dado lugar a preocupaciones de seguridad relacionadas con el transporte aéreo de estas fuentes de energía; esto representa un desafío mayor para las respuestas internacionales.

La mayor potencia de las baterías de Li-S ofrece las siguientes ventajas, individualmente o en combinación, sobre las baterías convencionales de Li-ion en sistemas de AUV:

- mayores velocidades;
- mayor duración, y
- mayor carga útil.

Las baterías de Li-S aún no se producen a escala comercial, pero se espera que la tecnología se vuelva más ampliamente disponible en los próximos años.

## Sensores

---

El trabajo realizado por el API Y SINTEF ha llevado al desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real de los tamaños de las gotas, especialmente cerca del cabezal del pozo. Este es un sistema de cámara de silueta retroiluminada conocida como SilCam, capaz de medir las gotas de hidrocarburos y las burbujas de gas de manera simultánea, algo que no había sido posible anteriormente. La capacidad de medir gotas y burbujas es crítico para optimizar la dosificación de dispersante bajo la superficie del mar. Se ofrecen detalles adicionales en SINTEF (2014). Instrumentos similares están disponibles de Sequoia Scientific, Inc., con su gama LISST de sistemas de parámetros múltiples para observaciones *in situ* de distribuciones de tamaño de partículas y concentraciones de volumen.

El Comité coordinador de interorganismos para la investigación de contaminación de hidrocarburos (ICCOPR, por sus siglas en inglés) recomienda el uso de sistemas acústicos y tecnología LiDAR, tanto individualmente como en un conjunto empaquetado, para investigaciones de hidrocarburos sumergidos (ICCOPR, 2015). También recomienda el desarrollo de sensores químicos nuevos y mejorados para detección de hidrocarburos sumergidos.

La experiencia en el uso de AUV para el monitoreo durante la respuesta al incidente del Macondo sugiere que el uso de métodos innovadores que combinan muestreo/rastreo avanzado de productos químicos *in situ*, el muestreo robótico y el posicionamiento acústico con sistemas de control de AUV puede ofrecer una identificación y ubicación eficiente de hidrocarburos en la columna de agua. El Instituto internacional para la investigación de Stavanger ha publicado una útil revisión de estas tecnologías (IRIS, 2013). Las cargas útiles de sensores bajo la superficie del mar recomendadas por IRIS para muestreo adicional de productos químicos *in situ* incluyen:

- fluorómetros, incluidos los sensores hiperespectrales y de fluorescencia a tiempo resuelto;
- espectrómetros de masa;
- espectrometría Raman de superficie mejorada;
- inmunosensores;
- rastreadores;
- lengüeta electrónica de parámetros múltiples, y
- tecnología de "laboratorio en un solo chip".



## Modelado

---

Se están realizando desarrollos significativos en el área del modelado numérico, tanto de columnas de hidrocarburos como de LOS modelos hidrodinámicos y atmosféricos que se usan para impulsarlos. El trabajo emprendido por el API se ha enfocado en mejorar la identificación de columnas de hidrocarburos en modelos de derrames de hidrocarburos. Se puede encontrar un resumen de las iniciativas del API en esta y otras actividades de investigación relacionada en Socolofsky *et al.*, 2015.

En el campo de la observación oceánica y asimilación de datos, se debate tecnología actual y futura es una edición especial del *Jurnal of Operational Oceanography*, editado por Bell *et al.* (IMarEST, 2015).

Es claro que la vigilancia en el agua por sus méritos propios y especialmente al integrarse con otras tecnologías de vigilancia y el modelado adecuado y los esquemas de visualización jugarán un papel cada vez más importante en las iniciativas de respuesta ante derrames marinos. Los desarrollos tecnológicos están avanzando rápidamente en muchas de las principales áreas de importancia para el personal de respuesta, por ejemplo, vehículos, sensores, baterías, modelos, software de visualización, etc. Por lo tanto, es vital revisar estas tecnologías a intervalos regulares para asegurarse de que se esté usando la combinación más adecuada y actualizada de tecnologías en una operación de respuesta ante un derrame de hidrocarburos. Para facilitar dicha revisión, los sitios web de los principales fabricantes de sensores y plataformas se listan en las páginas 51 y 52 de esta guía.

## Lista de acrónimos

ABAN	Análisis de beneficio ambiental neto	LISST	Dispersión y transmisometría in situ por láser (por sus siglas en inglés)
AIS	Sistema de identificación automática (por sus siglas en inglés)	LWV	Vehículo ligero (por sus siglas en inglés)
AOV	Vehículo oceanográfico autónomo (por sus siglas en inglés)	MARIC	Centro de innovación robótica marina (por sus siglas en inglés) del Reino Unido
API	Instituto Americano del Petróleo (por sus siglas en inglés)	MARPOL	Convenio internacional para la prevención de contaminación de embarcaciones (por sus siglas en inglés)
ASV	Vehículo de superficie autónomo (por sus siglas en inglés)	MASRWG	Grupo de trabajo reglamentario de sistemas autónomos marítimos (por sus siglas en inglés) del Reino Unido
AUV	Vehículo submarino autónomo (por sus siglas en inglés)	µm	Micrómetro
CDOM	Materia orgánica disuelta cromofórica (por sus siglas en inglés)	MWCC	Empresa de contención de pozos marinos (por sus siglas en inglés)
COLREGS	Reglamentos internacionales para evitar las colisiones en el mar (por sus siglas en inglés)	NDIR	Infrarrojo no dispersivo (por sus siglas en inglés)
COP	Panorama operativo en común (por sus siglas en inglés)	OMI	Organización Marítima Internacional
CTD	Conductividad, temperatura, profundidad (por sus siglas en inglés)	ONG	Organización no gubernamental
DO	Oxígeno disuelto (por sus siglas en inglés)	PAH	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (por sus siglas en inglés)
GBP	Guía de buenas prácticas	QAPP	Plan de proyecto de aseguramiento de la calidad (por sus siglas en inglés)
GOOS	Sistema de observación oceánica mundial (por sus siglas en inglés)	RHIB	Bote inflable de casco rígido (por sus siglas en inglés)
HWV	Vehículo pesado (por sus siglas en inglés)	ROV	Vehículo de operación remota (por sus siglas en inglés)
ICCOPR	Comité coordinador de interorganismos para la investigación de contaminación de hidrocarburos (por sus siglas en inglés)	SGI	Sistema de gestión de incidentes
IMCA	Asociación Internacional de Contratistas Marinos (por sus siglas en inglés)	SIG	Sistema de información geográfica
IMP	Plan de gestión de la información (por sus siglas en inglés)	SilCam	Cámara de silueta
IOGP	Asociación Internacional de Productores de Petróleo y Gas (por sus siglas en inglés)	SMART	Monitoreo especial de tecnologías de respuesta aplicadas (por sus siglas en inglés)
IPIECA	Asociación para la Conservación Ambiental de la Industria Petrolera Internacional (por sus siglas en inglés)	SOLAS	Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar (por sus siglas en inglés)
IR	Infrarrojo	Sonar	Sistema para la detección de objetos bajo el agua por medio de la emisión de pulsos de sonido y detectar o medir su regreso tras ser reflejados. (De las palabras en inglés SOund NAVigation and Ranging o "Navegación por sonido".)
IRIS	Instituto internacional para la investigación de Stavanger (por sus siglas en inglés)	SSDI	Inyección de dispersante bajo la superficie del mar (por sus siglas en inglés)
JIP	Proyecto conjunto del sector (por sus siglas en inglés)	STCW	Normas de capacitación, titulación y guardia para la gente de mar (por sus siglas en inglés)
LARS	Sistema de lanzamiento y recuperación (por sus siglas en inglés)	UOV	Vehículo oceanográfico no tripulado (por sus siglas en inglés)
LEL	Límite explosivo inferior (por sus siglas en inglés)	USV	Vehículo de superficie no tripulado (por sus siglas en inglés)
LiDAR	detección y medición a través de la luz (por sus siglas en inglés)	UUV	Vehículo submarino o tripulado (por sus siglas en inglés)
		VOC	Compuesto orgánico volátil (por sus siglas en inglés)

## Referencias

- Actimar (2015a). *Recommendations on validation techniques*. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP) Report MOC-0970-02, Version 3.1. February 2015. 52 pp.  
<http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-WP3-and-WP4-RECOMMENDATIONS-ON-VALIDATION.pdf>
- Actimar (2015b). *Review of models and metocean databases*. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP) Report MOC-0970-01 Version 1.2. February 2015. 75 pp.  
<http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-WP3-and-WP4-REVIEW-OF-MODELS-AND-METOCEAN-DATABASES.pdf>
- API (2013a). *Industry recommended subsea dispersant monitoring plan, Version 1*. American Petroleum Institute (API) Technical Report 1152. September 2013. 20 pp.
- API (2013b). *Remote sensing in support of oil spill response – planning guidance*. American Petroleum Institute (API) Technical Report 1144. September 2013. 79 pp.
- Arthur, M., G. Coelho and P. Twomey. (2013). *Monitoring hydrocarbon releases in deep water environments: A review of new and emerging technologies*. HDR Ecosystem Management & Associates, Inc. Lusby, MD. API Technical Report 13-01. 55 pp.
- Battelle (2014). *Capabilities and Uses of Sensor-Equipped Ocean Vehicles for Subsea and Surface Detection and Tracking of Oil Spills; IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP) Surveillance, Modelling and Visualization Work Package 1: In Water Surveillance*. 233 pp.  
[www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-Battelle.pdf](http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-Battelle.pdf)
- ICCOPR (2015). *Oil Pollution Research and Technology Plan, Fiscal Years 2015–2021*. Interagency Coordinating Committee on Oil Pollution Research (ICCOPR). September 2015. 294 pp.
- Davis, R. E., Eriksen, C. C. and Jones, C. P. (2002). Autonomous Buoyancy-driven Underwater Gliders. In *The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles*. G. Griffiths (ed), Taylor and Francis, London.
- IMCA (2016). *Guidance for The Safe and Efficient Operation of Remotely Operated Vehicles*. International Marine Contractors Association. Report no. IMCA R 004 Rev. 4. May 2016.  
<http://www.imca-int.com/remote-systems-and-rov-division/code-of-practice-for-the-safe-and-efficient-operation-of-remotely-operated-vehicles.aspx>
- IPIECA-IMO-IOGP (2015). *Aerial observation of oil spills at sea*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 518. 56 pp.  
<http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2013). *Oil spill risk assessment and response planning for offshore installations*. Report of the IOGP Global Industry Response Group (GIRG) response to the Macondo incident in the Gulf of Mexico in April 2010. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP).  
<http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2015a). *Tiered preparedness and response*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 526.  
<http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2015b). *Dispersants: subsea application*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 533.  
<http://oilspillresponseproject.org>

- IPIECA-IOGP (2015c). *Response strategy development using net environmental benefit analysis (NEBA)*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 527. <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2015d). *Work Package 5: Common Operating Picture. Recommended practice for Common Operating Picture architecture for oil spill response, release 2.1. Final Report*. Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2016a). *Incident management system for the oil and gas industry*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 517. 56 pp. <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2016b). *Satellite remote sensing*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). IOGP Report 549. <http://oilspillresponseproject.org>
- IRIS (July, 2013). *NDP State of the art study – Deep water remote sensing and monitoring*. International Research Institute of Stavanger (IRIS), Report 2013/103. 66pp.
- IMarEST (2015). *GODAE OceanView Part 2*. Special issue of the Journal of Operational Oceanography, Official Journal of the Institute of Marine Engineering, Science & Technology (IMarEST), Volume 8, Supplement 2, 2015. Pages s189-s271. Guest Editors: M. Bell, K. Haines, A. Schiller, N. Smith and Z. Willis.
- Lee, K. (chair), Boufadel, M., Chen, B., Foght, J., Hodson, P., Swanson, S. and Venosa, A. (2015). *Expert Panel Report on the Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into Aqueous Environments*. Royal Society of Canada, Ottawa, Ontario, Canada.
- NOAA (2006). *Special monitoring of applied response technologies (SMART)*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Office of Response and Restoration. Seattle, Washington, USA. <http://response.restoration.noaa.gov/smart>
- NRT (2013). *Environmental monitoring for atypical dispersant operations*. U.S. National Response Team, May 2013. 25 pp.
- Oceaneering (2015). *Capabilities and Uses of Sensor and Video-Equipped Waterborne Surveillance-ROVs for Subsea Detection and Tracking of Oil Spills*. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project Surveillance, Modelling and Visualization. Work Package 1: In Water Surveillance. 89 pp. <http://oilspillresponseproject.org>
- Ocean News and Technology (2015). A Worldwide Survey of Recent Ocean Observatory Activities: 2015 Update. In *Ocean News and Technology*, September 2015, pp. 18-29. <http://digital.oceannews.com/publication/?i=270944>
- Socolofsky, S. et al. (2015). Intercomparison of oil spill prediction models for accidental blowout scenarios with and without subsea chemical dispersant injection. In *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 96, Issue 1–2, pp. 110-126. [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X15002969](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X15002969)
- SINTEF (2014). Combining technology to extend the limits of particle measurements in subsea blowouts. In *Particles in Europe (PiE): Program and Abstracts*. Proceedings of the PiE Conference held in Esbjerg, Denmark, 7–9 October, 2014. [www.sequoiasci.com/wp-content/uploads/2014/07/Program-Particles-in-Europe-WITH-abstracts.pdf](http://www.sequoiasci.com/wp-content/uploads/2014/07/Program-Particles-in-Europe-WITH-abstracts.pdf)
- USCG (2011). *BP Deepwater Horizon Oil Spill: Incident Specific Preparedness Review (ISPR)*. United States Coast Guard. Final Report, January 2011.

## Sitios web y recursos de utilidad

- Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos: <http://oilspillresponseproject.org>
- Arctic Response Technology—Sitio web de preparación para derrames de hidrocarburos: [www.arcticresponsetechnology.org](http://www.arcticresponsetechnology.org)
- Sitio web de prevención y respuesta ante derrames de hidrocarburos del Instituto Americano del Petróleo (API): [www.oilspillprevention.org](http://www.oilspillprevention.org)
- Materiales de referencia sobre sensores y AOV:
  - Aanderaa Data instruments (AADI): [www.aadi.no](http://www.aadi.no)
  - ALSEAMAR: [www.alseamar-alcen.com](http://www.alseamar-alcen.com)
  - AML Oceanographic: <http://amloceanographic.com>
  - ASV: [www.asvglobal.com](http://www.asvglobal.com)
  - Atlas Elektronik: [www.atlas-elektronik.com/en/](http://www.atlas-elektronik.com/en/)
  - Atlas Maridan: [www.maridan.atlas-elektronik.com/](http://www.maridan.atlas-elektronik.com/)
  - AutoNaut: <http://www.autonautusv.com>
  - Autonomous Underwater Vehicle Applications Center: <http://auvac.org>
  - Bluefin Robotics: [www.bluefinrobotics.com/](http://www.bluefinrobotics.com/)
  - Canon U.S.A. Inc.: <http://canon.com>
  - C&C Technologies: [www.cctechnol.com](http://www.cctechnol.com)
  - Chelsea Technologies Group: [www.chelsea.co.uk](http://www.chelsea.co.uk)
  - Deep Ocean Engineering: [www.deeпоcean.com](http://www.deeпоcean.com)
  - ECA Group: [www.ecagroup.com](http://www.ecagroup.com)
  - Exocetus: <http://exocetus.com>
  - Falmouth Scientific, Inc.: [www.falmouth.com](http://www.falmouth.com)
  - FLIR Systems, Inc: [www.flir.com](http://www.flir.com)
  - Fluidion: <http://fluidion.com>
  - GoPro, Inc.: <http://gopro.com>
  - Hamamatsu Photonics K.K.: <http://hamamatsu.com>
  - INFRATEC GmbH: <http://infratec.com>
  - International Submarine Engineering: [www.ise.bc.ca](http://www.ise.bc.ca)
  - JAI: <http://jai.com>
  - JENOPTIK AG: <http://jenoptik.com>
  - Kongsberg Maritime: <http://www.km.kongsberg.com>
  - Laser Diagnostic Instruments: [www.lidi.ee](http://www.lidi.ee)
  - Liquid Robotics: <http://liquidr.com>
  - Lockheed Martin: <http://lockheedmartin.com/us/products/marlin.html>
  - Lumasys (BlueComm communications products): [www.lumasys.com](http://www.lumasys.com)

Miros: <http://miros.no>  
Mitsui Engineering & Shipbuilding Co. Ltd: [www.mes.co.jp/english](http://www.mes.co.jp/english)  
Nikon Corporation: <http://nikon.com>  
Nortek USA: [www.nortekusa.com](http://www.nortekusa.com)  
OceanServer (gama de vehículos Iver): <http://iver-auv.com>  
OPTIMARE Systems GmbH: <http://optimare.de>  
Oxis Energy (tecnología de baterías): <http://oxisenergy.com>  
Rutter: <http://rutter.ca>  
Saab: [www.seaeye.com](http://www.seaeye.com)  
Sea & Sun Technology: [www.sea-sun-tech.com](http://www.sea-sun-tech.com)  
Sea Robotics: <http://searobotics.com>  
Sea-Bird Electronics: [www.seabird.com](http://www.seabird.com)  
Seapoint Sensors, Inc.: [www.seapoint.com](http://www.seapoint.com)  
Sequoia Scientific: <http://sequoiasci.com>  
SIEL Advanced Sea Systems: [www.sielnet.com](http://www.sielnet.com)  
Sony Corporation: <http://sony.com>  
Teledyne Gavia: [www.teledynegavia.com](http://www.teledynegavia.com)  
Teledyne RD Instruments: [www.rdinstruments.com](http://www.rdinstruments.com)  
Teledyne Webb Research: [www.webbresearch.com](http://www.webbresearch.com)  
Trios Optical Sensors: [www.trios.de](http://www.trios.de)  
Turner Designs: [www.turnerdesigns.com](http://www.turnerdesigns.com)  
WetLabs: [www.wetlabs.com](http://www.wetlabs.com)

## Agradecimientos

El texto original de esta guía fue preparado por Colin Grant, CG Metocean Consulting, en nombre del Proyecto conjunto del sector sobre respuesta ante derrames de hidrocarburos.

# IPIECA

IPIECA es la asociación de la industria global de hidrocarburos y del gas para cuestiones medioambientales y sociales. Desarrolla, comparte y fomenta las buenas prácticas y el conocimiento para ayudar a la industria a mejorar su desempeño medioambiental y social; y es el canal de comunicación principal que la industria tiene con las Naciones Unidas. A través de sus grupos de trabajo dirigidos por miembros y del liderazgo de sus directivos, IPIECA reúne la experiencia técnica colectiva de las compañías y asociaciones del petróleo y del gas. Su posición única dentro de la industria permite a sus miembros responder con eficacia a los principales asuntos medioambientales y sociales.

[www.ipieca.org](http://www.ipieca.org)



IOGP representa a la industria procesadora de materias primas del petróleo y del gas ante organizaciones internacionales como la Organización Marítima Internacional, los convenios de mares regionales del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y otros grupos que se encuentran bajo el auspicio de las Naciones Unidas. A nivel regional, IOGP es el representante de la industria ante la Comisión Europea y el Parlamento Europeo y la Comisión OSPAR para el Nordeste atlántico. Igualmente importante es el papel de IOGP en la elaboración de las mejores prácticas, especialmente en las áreas de salud, seguridad, medio ambiente y responsabilidad social.

[www.iogp.org](http://www.iogp.org)

