

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua: Evaluación de su madurez tecnológica 

ISCAR. UCM **UNED** GI3. UNED



► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

1

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua: Evaluación de su madurez tecnológica 

Proyecto de transferencia: Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua

- Objetivo
- Desarrollos
  - Embarcación y sistema de propulsión.
  - Planificación, Guiado Navegación y Control (PGNC).
  - Despliegue y Arrastre de barreras.
  - Atraque y desatraque del barco.
  - Sistema de detección.

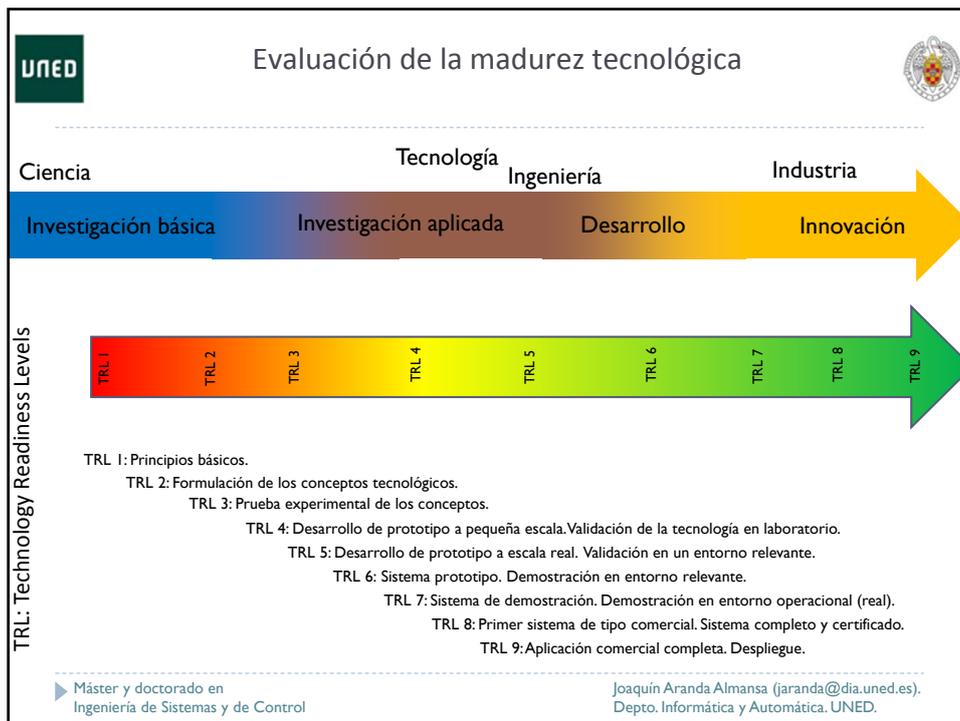
Evaluación madurez tecnológica

- Los niveles de madurez tecnológica (TRL).
- Estado de cada uno de los desarrollos.

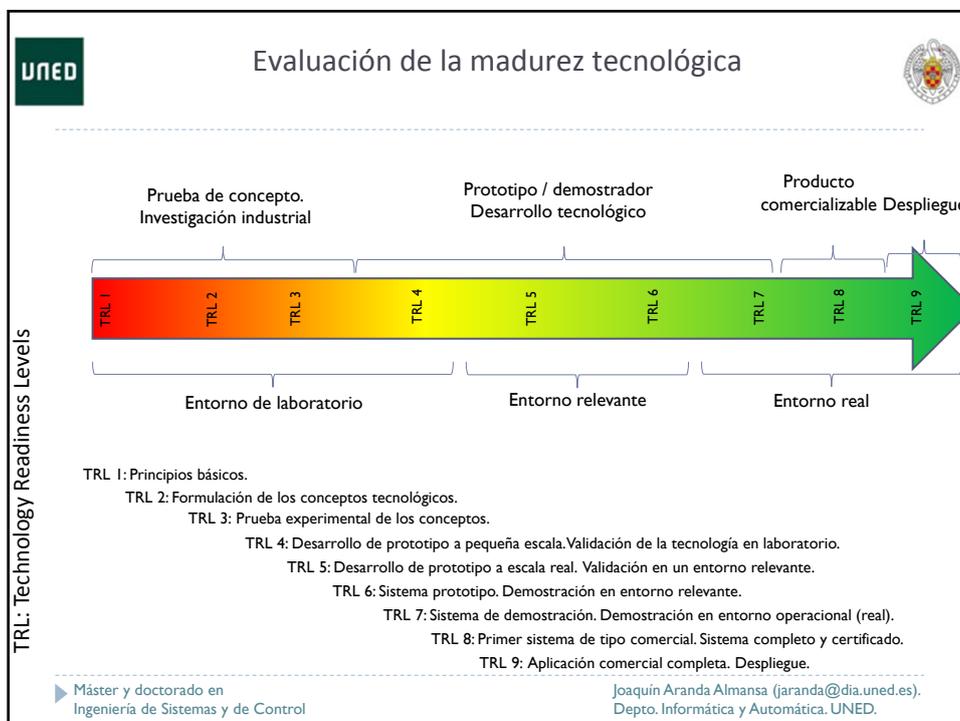
► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

2



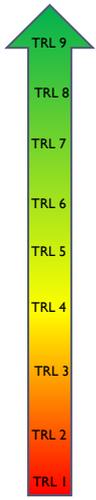
3



4

UNED

## Evaluación de la madurez tecnológica



**Propósito de los TRL**

**Disponer de herramienta de comunicación:**  
Evaluación más objetiva del nivel de desarrollo entre las partes interesadas

**Disponer de una hoja de ruta:**  
Minimizar riesgo en el desarrollo  
Desarrollar productos que sean adecuados para su propósito  
Fomente las pruebas y la iteración en el mundo real  
Introducir "controles de la realidad" en el proceso de desarrollo.

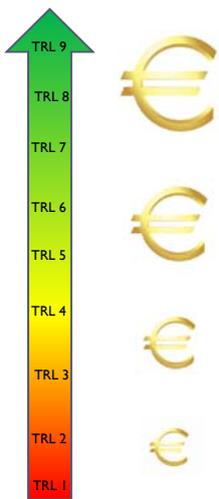
► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

5

UNED

## Evaluación de la madurez tecnológica



- Comience desde arriba: la "distancia" que queda hasta TRL 8-9 (producto en el mercado) es más importante que la distancia recorrida desde la etapa de la idea.
- Es importante lograr un equilibrio entre la aplicación del TRL y el riesgo y la complejidad del proyecto (no es necesario incluir todos los pasos en proyectos de menor riesgo / complejidad)
- Cuanto mayor es el TRL, más cuesta lograrlo
- Cuanto más cerca del mercado, más caro es si la tecnología / producto falla
- No hay una forma única de hacerlo y no hay mejores prácticas aceptadas (por el momento)

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

6



## Evaluación de la madurez tecnológica



---

**Comparación TRL Comisión Europea y original NASA**

**TRL 3: Prueba experimental de los conceptos.**

 Prueba analítica y experimental del concepto de funciones y / o características críticas.

Descripción: Estudios analíticos para predecir el desempeño de elementos separados de la tecnología en el contexto apropiado Estudios de laboratorio para validar físicamente que las predicciones analíticas son correctas.

Ejemplo: Se ha demostrado que el biocida aplicado a un parche de medios filtrantes "no tejidos" mata las bacterias gramnegativas en pruebas de laboratorio (filtro antilegionela).

**TRL 4: Validación de la tecnología en laboratorio.**

 Validación de componentes en un entorno de laboratorio

Descripción: Se integran componentes tecnológicos básicos para establecer que trabajarán juntos. Esto es relativamente "baja fiabilidad" en comparación con el sistema final.

Ejemplo: Componentes separados - comunicación por radiofrecuencia (RF), sensores, microcontrolador, conectores y componentes relacionados - señales conectadas y de salida procesadas por algoritmo de fallo en computador.  
Los estímulos simulados generan la alarma que se transmite mediante comunicación inalámbrica. (sistema de alarma de caídas).

▶ Máster y doctorado en  
Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

7



## Evaluación de la madurez tecnológica



---

**Comparación TRL Comisión Europea y original NASA**

**TRL 5: Validación en un entorno relevante.**

 Validación de componentes en un entorno relevante.

Descripción: Los componentes tecnológicos básicos están integrados con elementos de soporte razonablemente realistas (alta fiabilidad) para que puedan probarse en un entorno relevante controlado.

Ejemplo: Viga de prueba de acero de 2 metros recubierta por pulverización con nuevo revestimiento intumescente en un laboratorio de pruebas de certificación de incendios "quemada" en horno industrial a temperatura de fuego estándar ISO. (nueva capa intumescente).

**TRL 6: Demostración en entorno relevante.**

 Demostración del modelo del sistema (o subsistema) en un entorno relevante.

Descripción: El modelo representativo o el sistema prototipo, que va mucho más allá del TRL 5, se prueba en un entorno relevante. Es un paso importante en la demostración de la madurez tecnológica.

Ejemplo: Puerta prototipo construida por un fabricante de puertas según la nueva construcción e instalada en una sala de una de las instalaciones de los participantes del proyecto. (Construcción de puerta nueva).

▶ Máster y doctorado en  
Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

8



## Evaluación de la madurez tecnológica



---

**Comparación TRL Comisión Europea y original NASA**

**TRL 7: Demostración en entorno operacional (real).**



Demostración del modelo de sistema / subsistema o del prototipo en un entorno operacional.

Descripción: Prototipo cerrado o en el sistema operativo planeado. Representa un paso importante desde TRL 6 al requerir la demostración de un prototipo de sistema real en un entorno operativo (p.e., en una aeronave, en un vehículo o en el espacio). Normalmente se realiza cuando la tecnología y/o el subsistema es de misión crítica y de riesgo relativamente alto.

Ejemplo: Un prototipo de dispositivo miniaturizado completamente funcional (el "parche" en su factor de forma final) usado por una persona real en un apartamento para personas mayores equipado con sensores de movimiento y una caja de control del sistema funcional en el hogar. Conectado al sistema de alarma de la residencia de ancianos. (sistema de alarma de caídas)

---

▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

9



## Evaluación de la madurez tecnológica



---

**Comparación TRL Comisión Europea y original NASA**

**TRL 8: Sistema completo y certificado.**



Sistema real completado y certificado mediante ensayos y demostración.

Descripción: Se ha demostrado que la tecnología funciona en su forma final y en las condiciones previstas.

Ejemplo: Se produce, empaqueta, envía, ensambla, instala y utiliza un kit DryToilet completo en las instalaciones de un usuario final durante 6 meses. (kit de baño seco)

---

▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

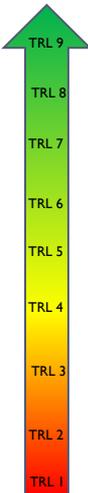
Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

10

**UNED**

Evaluación de la madurez tecnológica

**Resumen estados de desarrollo**



**TRL 9** Sistema tecnológico en su forma final y en pleno despliegue comercial.

**TRL 8** Sistema tecnológico en su forma final.

**TRL 7** Prototipo cerrado o en el sistema operativo planeado. Representa un gran paso adelante desde TRL 6.

**TRL 6** Modelo representativo o sistema prototipo, que va mucho más allá del TRL 5. Representa un paso importante en la preparación demostrada de una tecnología.

**TRL 5** Los componentes tecnológicos básicos están integrados con elementos de soporte razonablemente realistas para que puedan probarse en un entorno relevante controlado.

**TRL 4** Se integran componentes tecnológicos básicos para establecer que trabajarán juntos. Es relativamente "baja fiabilidad" en comparación con el sistema final.

**TRL 3** Estudios analíticos para predecir el funcionamiento de elementos separados de la tecnología en el contexto apropiado. Estudios de laboratorio para validar físicamente que las predicciones analíticas son correctas.

**TRL 2** Se formulan conceptos o aplicaciones prácticas

**TRL 1** La investigación científica comienza a traducirse en investigación y desarrollo aplicados

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

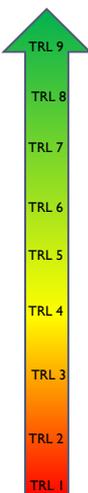
Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

11

**UNED**

Evaluación de la madurez tecnológica

**Descripción de los entornos**



**TRL 8 y 9 Operaciones reales.** Implementación del sistema final por parte del usuario final según se crea adecuado en sus operaciones diarias.

**TRL 7 Entorno operacional.** Entorno que aborda todos los requisitos operativos y las especificaciones requeridas del sistema final.

**TRL 6 Entorno operacional simulado.** (1) un entorno real que puede simular todos los requisitos operativos y las especificaciones requeridas del sistema final o (2) un entorno simulado que permite probar un prototipo virtual.

**TRL 5 y 6 Entorno relevante** Entorno de prueba en un laboratorio u otro entorno controlado que simula los aspectos más importantes y estresantes del entorno operativo.

**TRL 3 y 4 Laboratorio.** El entorno normal donde se desarrolla la tecnología o el producto, generalmente no relacionado con el entorno donde se utilizará.

**TRL 1 y 2 Despacho / laboratorio.**

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

12

**UNED** Evaluación de la madurez tecnológica 

**Diferencia entre validación y demostración**

<p><b>Validación (TRL 4, 5)</b></p> <p>Dá evidencia de que el concepto funcionará</p> <p>Prueba cuantificable de que el nuevo concepto funcionará según las especificaciones deseadas.</p>	<p><b>Demostración (TRL 6, 7)</b></p> <p>Demuestre que el concepto realmente funciona</p> <p>Un acto de mostrar o probar algo. Un acto de demostrar que algo existe o es cierto mediante pruebas o evidencias. Un evento que prueba un hecho. Demostrar que el proyecto / producto cumple con los requisitos mediante la observación de resultados.</p>
--	---

▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

13

**UNED** Evaluación de la madurez tecnológica 

**Desarrollos software**

	<p><b>TRL 9</b> v1.x, v2.x, etc. – desarrollo y mejora continua</p> <p><b>TRL 8</b> v1.0 – Versión estable para usuarios finales</p> <p><b>TRL 7</b> Prueba beta abierta: abierta para cualquier persona que se registre ("Caja negra").</p> <p><b>TRL 6</b> Prueba beta para usuarios finales invitados ("caja negra")</p> <p><b>TRL 5</b> Pruebas alfa de "caja negra" para usuarios finales externos seleccionados o usuarios / probadores internos no asociados con el desarrollo</p> <p><b>TRL 4</b> Prueba alfa del software por parte de uno o algunos desarrolladores o probadores internos ("caja blanca")</p> <p><b>TRL 1- 3</b> Concepto / pre-alfa: el guión es más una idea abstracta que un programa de trabajo real. A través de esta etapa se inicia la codificación y se realizan cambios en las funciones hasta que se crea un borrador de trabajo</p>
---	--

▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

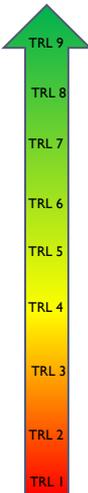
14



## Evaluación de la madurez tecnológica



---



### Desarrollos farmacéuticos

<b>TRL 9</b>	<b>TRL 9</b>	Estudios de poscomercialización y vigilancia
<b>TRL 8</b>	<b>TRL 8</b>	Se completa el ensayo clínico de fase 3. La FDA (CDER) aprueba la solicitud de nuevo fármaco (NDA)
<b>TRL 7</b>	<b>TRL 7</b>	Se completa el ensayo clínico de fase 2. El plan de ensayos clínicos de fase 3 está aprobado por la FDA (CDER)
<b>TRL 6</b>	<b>TRL 6</b>	Los ensayos clínicos de fase 1 respaldan el paso a los ensayos clínicos de fase 2. Solicitud de nuevo fármaco en investigación (IND) presentada y revisada por la FDA (CDER)
<b>TRL 5</b>	<b>TRL 5</b>	Estudios preclínicos, incluida la seguridad y toxicidad animal GLP, suficientes para respaldar la aplicación de IND
<b>TRL 4</b>	<b>TRL 4</b>	La PoC y la seguridad de la formulación del fármaco candidato se demuestran en un modelo definido animal o de laboratorio
<b>TRL 3</b>	<b>TRL 3</b>	La prueba de hipótesis y la prueba de concepto inicial (PoC) se demuestra en un número limitado de modelos in vitro y en vivo
<b>TRL 2</b>	<b>TRL 2</b>	Se desarrollan ideas y protocolos de investigación
<b>TRL 1</b>	<b>TRL 1</b>	Mantener una vigilancia científica técnica

---

▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

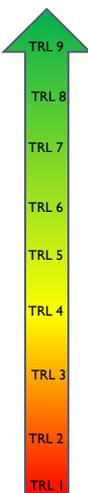
15



## Evaluación de la madurez tecnológica



---



### Desarrollos tecnológicos

<b>TRL 9</b>	<b>TRL 9</b>	Sistema tecnológico en su forma final y en pleno despliegue comercial
<b>TRL 8</b>	<b>TRL 8</b>	Sistema tecnológico en su forma final
<b>TRL 7</b>	<b>TRL 7</b>	Prototipo cerca o en el sistema operativo planeado. Representa un gran paso adelante desde TRL 6
<b>TRL 6</b>	<b>TRL 6</b>	Modelo representativo o sistema prototipo, que va mucho más allá del TRL 5. Representa un paso importante en la preparación demostrada de una tecnología
<b>TRL 5</b>	<b>TRL 5</b>	Los componentes tecnológicos básicos están integrados con elementos de soporte razonablemente realistas para que puedan probarse en un entorno relevante controlado
<b>TRL 4</b>	<b>TRL 4</b>	Se integran componentes tecnológicos básicos para establecer que trabajarán juntos. Esto es relativamente "baja fiabilidad" en comparación con el sistema eventual
<b>TRL 3</b>	<b>TRL 3</b>	Estudios analíticos para predecir el desempeño de elementos separados de la tecnología en el contexto apropiado - Estudios de laboratorio para validar físicamente que las predicciones analíticas son correctas
<b>TRL 2</b>	<b>TRL 2</b>	Se formulan conceptos o aplicaciones prácticas
<b>TRL 1</b>	<b>TRL 1</b>	La investigación científica comienza a traducirse en investigación y desarrollo aplicados.

---

▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

16

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua 

► **Objetivo planteado:**

- Desarrollar un sistema autónomo compuesto por uno o más barcos de superficie, un centro de control de tierra y una plataforma de recarga y atraque automática, que permita que los barcos se desplieguen de forma individual o coordinada arrastrando una barrera u otros sistemas de lucha en torno a una zona especificada mediante referencias geográficas precisas. Será posible la presencia de navegación en el medio y en condiciones realistas de estado de la mar y atmosférico. Además, se pretende que, al estar siempre operativo, posea la capacidad necesaria para contener el vertido en el menor tiempo de respuesta posible.





► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

17

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua 

► **Desarrollos:**

- Embarcación y sistema de propulsión.
- Planificación, Guiado Navegación y Control (PGNC).
- Centro de Control.
- Coordinación varios vehículos.
- Despliegue y Arrastre de barreras.
- Atraque y desatraque del barco.
- Control vehículos aéreos autónomos
- Sistema de detección.





► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

18

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Vehículos para ensayos en entornos relevantes -

▶ Vehículos autónomos marinos de superficie.  
Componentes:

- ▶ Sistema de Navegación Inercial
- ▶ GPS
- ▶ Sistema de Comunicaciones
- ▶ Motores timón y hélice
- ▶ Radar
- ▶ Sistema de Visión.





▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

19

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Vehículo para ensayo en entorno operacional -

▶ Prototipo a escala real para actuación en mar.  
Sistemas embarcados:

- ▶ Sistema de comunicación
- ▶ AIS
- ▶ Radar de navegación
- ▶ GPS – IMU
- ▶ Sistemas de detección
  - ▶ Multiespectral
  - ▶ Ultravioleta
  - ▶ LWIR
  - ▶ Térmico
  - ▶ Láser
  - ▶ Radar detección vertidos en agua
- ▶ Sistema de arrastre de barrera
- ▶ Sistema de atraque y desatraque autónomo




▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

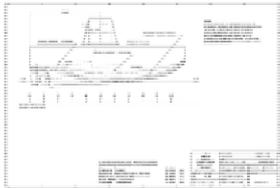
Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

20

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Vehículo para ensayo en entorno operacional -

▶ Características:

Eslora total:	5.50m
Manga:	2.50m
Puntal:	1.25m
Calado:	0.44m
Desplazamiento:	2.20Tn
Propulsión:	Torqueadoo Deep blue 40
Velocidad de diseño:	8 nudos




▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

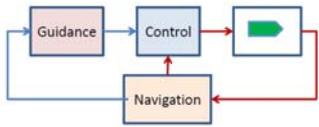
21

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Planificación, Guiado Navegación y Control (PGNC) -

▶ Coordinación y control USV

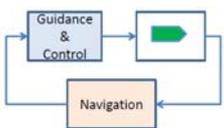
▶ Seguimiento de camino

▶ Dividido en un lazo de control interno y un lazo de guiado externo



- El lazo interno estabiliza las dinámicas del sistema
- El lazo externo controla la cinemática del vehículo y calcula los comandos de referencia para el lazo interno, proporcionando las capacidades de seguimiento de camino

▶ Guiado y control integrado



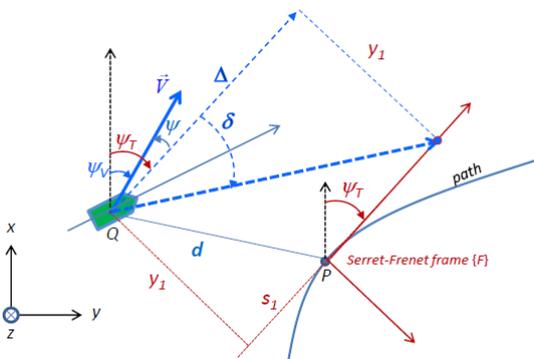
▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

22

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Planificación, Guiado Navegación y Control (PGNC) - 

► Seguimiento de camino  
 ► Line Of Sight guidance



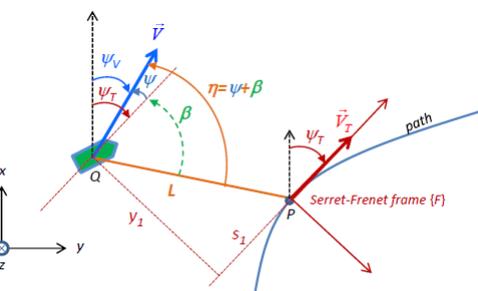

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
 Depto. Informática y Automática. UNED.

23

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Planificación, Guiado Navegación y Control (PGNC) - 

► Seguimiento de camino  
 ► Streamlined Nonlinear Guidance Law



$$\dot{\psi}_V = \begin{cases} -\frac{2V}{L} \sin(\eta), & |\eta| \leq \frac{\pi}{2} \\ -\frac{2V}{L} \text{sign}(\eta), & |\eta| > \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\dot{s} = V \cos \psi + K(s_1 + L)$$

J. M. de la Cruz, J. A. Lopez-Orozco, E. Besada-Portas, J. Aranda-Almansa. A Streamlined Nonlinear Path Following Kinematic Controller. In Robotics and Automation (ICRA), 2015 IEEE International Conference on, pages 6394–6401. IEEE, 2015.

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
 Depto. Informática y Automática. UNED.

24

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Planificación, Guiado Navegación y Control (PGNC) - 

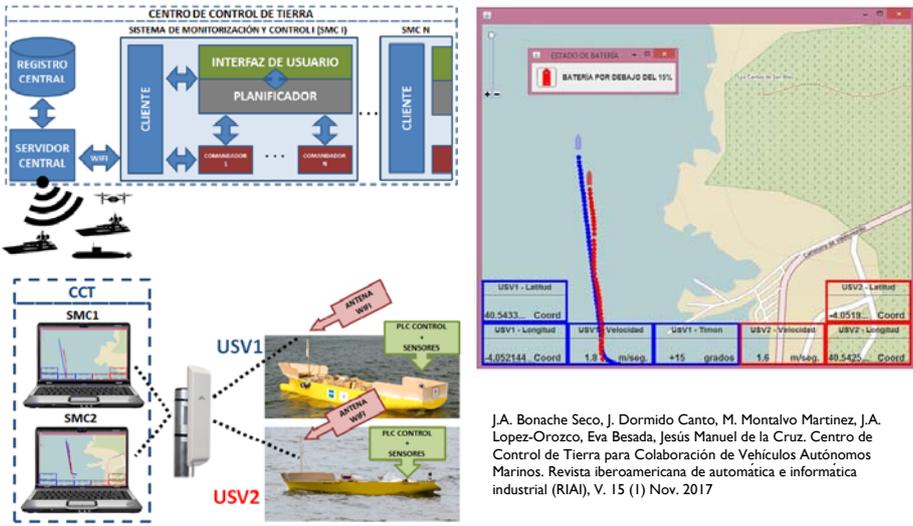


► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

25

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Centro de control- 



USV1 - Latitud	USV1 - Longitud	USV1 - Velocidad	USV1 - Timon	USV2 - Velocidad	USV2 - Longitud
40.5433 - Coord	-4.0519 - Coord	1.3 m/seg	+15 grados	1.6 m/seg	40.5425 - Coord

J.A. Bonache Seco, J. Dormido Canto, M. Montalvo Martinez, J.A. Lopez-Orozco, Eva Besada, Jesús Manuel de la Cruz. Centro de Control de Tierra para Colaboración de Vehículos Autónomos Marinos. Revista iberoamericana de automática e informática industrial (RIAI), V. 15 (1) Nov. 2017

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

26

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Coordinación vehículos -

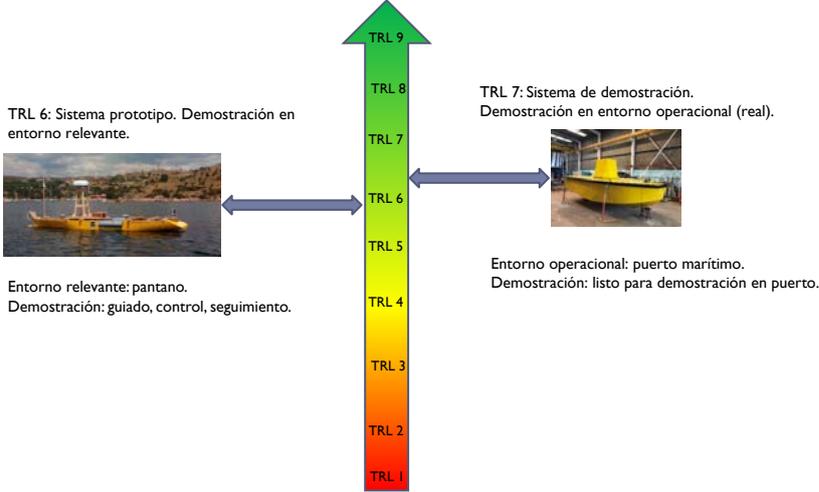


► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

27

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Madurez tecnológica de los vehículos autónomos marinos -



TRL 9  
TRL 8  
TRL 7  
TRL 6  
TRL 5  
TRL 4  
TRL 3  
TRL 2  
TRL 1

TRL 6: Sistema prototipo. Demostración en entorno relevante.  
Entorno relevante: pantano.  
Demostración: guiado, control, seguimiento.

TRL 7: Sistema de demostración. Demostración en entorno operacional (real).  
Entorno operacional: puerto marítimo.  
Demostración: listo para demostración en puerto.

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

28

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Despliegue y arrastre de barreras - 

**Barreras arrastradas**  
 Conjunto de elementos flotantes  
 Uniones flexibles  
 Faldón de arrastre

Conjunto de elementos "independientes"  
 Fuerzas de arrastre en los extremos  
 Fuerzas de ligadura e hidrodinámicas en los elementos

**Intenta arrastrar toda la capa superficial de agua**  
 "Nada hidrodinámicas"  
 Mucha resistencia en una dirección y poca en la otra




► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

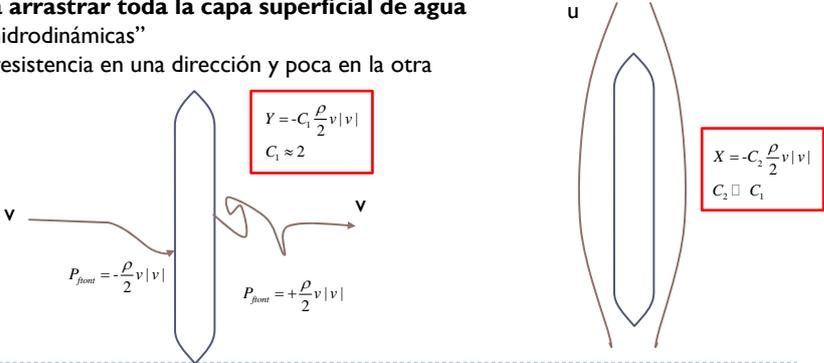
Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
 Depto. Informática y Automática. UNED.

29

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Despliegue y arrastre de barreras - 

**Barreras arrastradas**  
 Modelado físico, identificación coeficientes hidradinámicos.  
 Regresión simbólica  
 Least Squares Support Vector Machines for Regression

**Intenta arrastrar toda la capa superficial de agua**  
 "Nada hidrodinámicas"  
 Mucha resistencia en una dirección y poca en la otra

$P_{front} = -\frac{\rho}{2} v |v|$

$P_{rear} = +\frac{\rho}{2} v |v|$

$Y = -C_1 \frac{\rho}{2} v |v|$   
 $C_1 \approx 2$

$X = -C_2 \frac{\rho}{2} v |v|$   
 $C_2 \ll C_1$

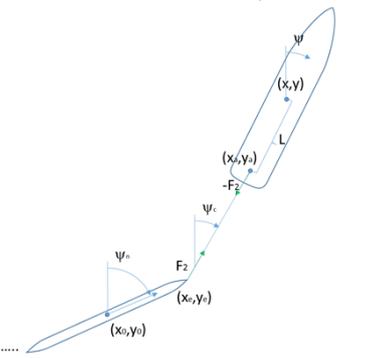
► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
 Depto. Informática y Automática. UNED.

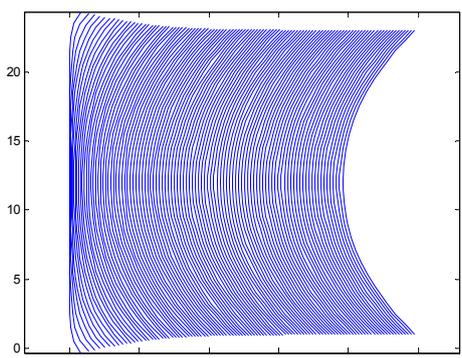
30

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Despliegue y arrastre de barreras -

Interacción de la barrera y del barco



Simulación de una barrera arrastrada



► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

31

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Despliegue y arrastre de barreras -

**Características barrera usada**

Sólo aceites – Sintético – Naranja/Blanco [Repelente agua]  
OO-SYN Boom SPE 20/25 Barrera c/faldón, 0,2x25m, 1u

Sólo aceites – Biodegradable – Azul [Repelente agua]  
OO-BIO Boom SPE 20/25 Barreras c/faldón, 0,2x25m, 1u



Juan F Jimenez, Jose M Giron-Sierra. "USV based automatic deployment of booms along quayside mooring ships: Scaled experiments and simulations". Ocean Engineering. Volume 207. 1 July 2020. Pages 107438

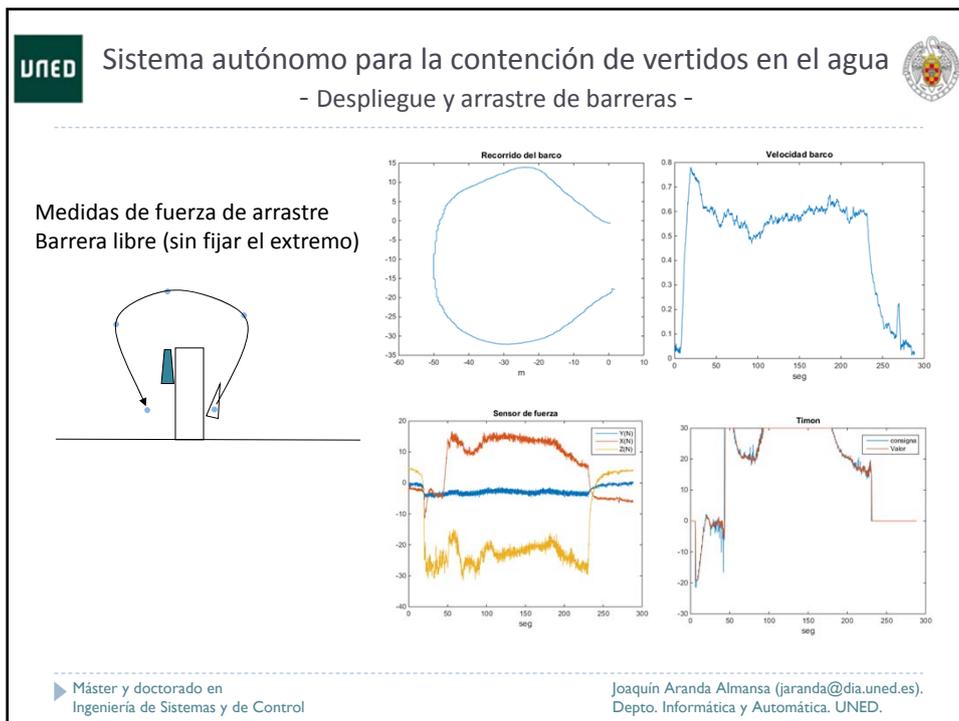
Juan Jiménez, José M<sup>o</sup> Girón Sierra, Dictino Chaos. "Modelo dinámico para el despliegue automático de una barrera de contención de vertidos marinos". "XXXVII JJAA", Madrid 2016. Premio al menor artículo de las Jornadas

D. Moreno-Salinas, E. Besada-Portas, J.A. López-Orozco D. Chaos, J.M. de la Cruz, J. Aranda. Symbolic Regression for Marine Vehicles Identification. 10th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft. Copenhagen, August 2015. IFAC-PapersOnLine, Volume 48, Issue 16, 2015, Pages 210-216

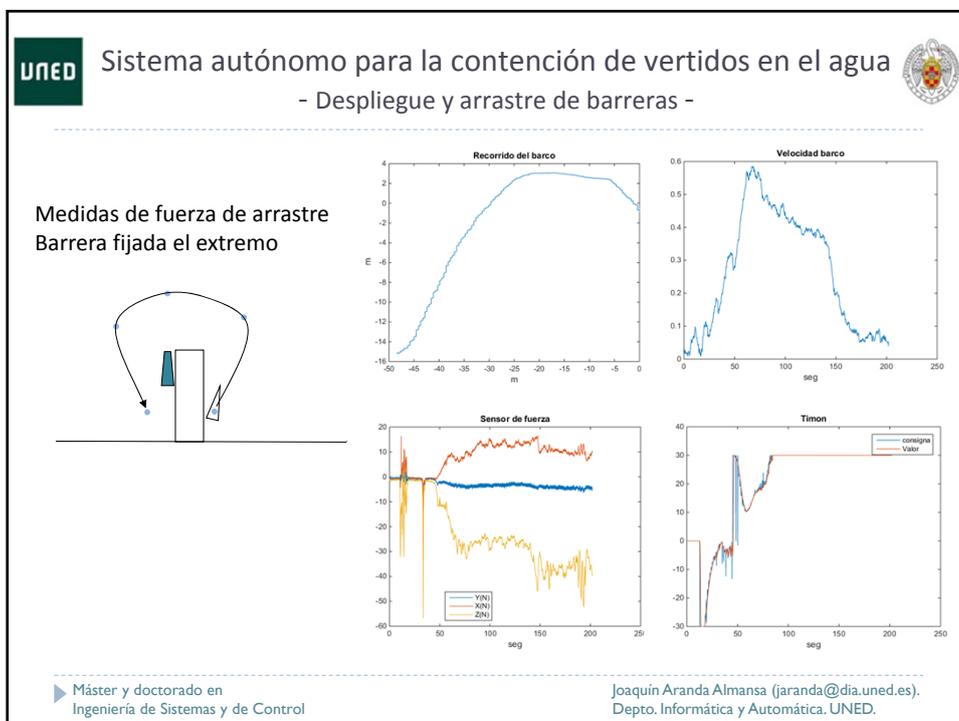
► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

32



33



34

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Despliegue y arrastre de barreras - 



► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

35

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Despliegue y arrastre de barreras - 



► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

36

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Madurez tecnológica despliegue y arrastre de barreras -

TRL 9  
TRL 8  
TRL 7  
TRL 6  
TRL 5  
TRL 4  
TRL 3  
TRL 2  
TRL 1

TRL 4: Desarrollo de prototipo a pequeña escala. Validación de la tecnología en laboratorio.

Laboratorio: CEHIPAR. Validación: arrastre con dos vehículos.

TRL 5: Desarrollo de prototipo a escala real. Validación en un entorno relevante.

Entorno relevante: pantano. Validación: arrastre barrera real con un vehículo. Pruebas con dos vehículos.

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

37

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Atraque y desatraque-

A) Soporte metálico  
B) Depósito con la barrera  
C) Anclaje magnético  
D) Anclaje mecánico

Ref.: 2018/114247: sistema de atraque para vehículos autónomos (robots marinos). Dictino Chaos García, David Moreno Salinas, Joaquín Aranda.

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

38

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Atrake y desatrake-



► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

The image shows a small, dark-colored autonomous robot with a laptop mounted on top, floating in a large, dark water tank. The robot is positioned in the center of the frame, and the water surface is dark and slightly rippled. The background shows the concrete walls and metal railings of the tank.

39

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Atrake y desatrake-



► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

The image shows a larger, more complex autonomous robot floating in a water tank. The robot has a white laptop on top, a green sensor or camera module, and a white rectangular box. It is positioned in the center of the frame, and the water surface is dark. The background shows the concrete walls and metal railings of the tank.

40

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Madurez tecnológica atraque y desatraque-

TRL 9  
TRL 8  
TRL 7  
TRL 6  
TRL 5  
TRL 4  
TRL 3  
TRL 2  
TRL 1

TRL 3: Prueba experimental de los conceptos..

Laboratorio: Canal de la ETS Ingenieros Navales.  
Prueba concepto de atraque y desatraque de forma autónoma por sistema electromecánico.

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

41

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Control vehículos aéreos autónomos UAV -

Pruebas en interior  
Cuadricóptero Parrot AR.Drone 2.0

- IMU
  - Acelerómetro de 3 ejes
  - Giróscopo de 3 ejes
  - Magnetómetro de 3 ejes
- Sensor de ultrasonidos
- Cámaras: Frontal e Inferior
- Fusión de sensores
- Control remoto vía Wi-Fi

## Estabilización en un punto

TFM: Modelado y control de un cuadricóptero AR.DRONE  
Alumno: Nicolás Monteagudo Duro  
Tutor: Dicitino Chaos García (UNED)

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

42

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Control vehículos aéreos autónomos UAV -

Pruebas en exterior  
Microdrones m4-200

- ▶ IMU
- ▶ GPS
- ▶ Cámaras: Frontal e Inferior
- ▶ Radio enlace
- ▶ Microprocesador

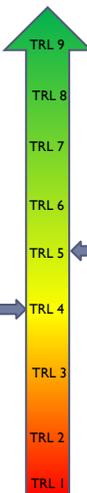


▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

43

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua  
- Madurez tecnológica Control vehículos aéreos autónomos UAV -



TRL 4: Desarrollo de prototipo a pequeña escala. Validación de la tecnología en laboratorio.

Laboratorio: Depto. Informática y Automática. Validación: estabilización en un punto, seguimiento de trayectorias, desplazamientos a puntos de consigna, seguimiento de objetos.

TRL 5: Desarrollo de prototipo a escala real. Validación en un entorno relevante.

Entorno relevante: exteriores universidad. Validación: despegue y desplazamiento a punto de consigna.

▶ Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

44

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Equipos detección de sustancias en el mar-

Sistemas probados



Sistema emisor-receptor UV embarcado



Sistemas de detección basados en imagen: IR-térmica, UV y visible



Sistemas de detección ópticos integrados y conectados con el procesador y la pantalla de visualización



Sistemas de detección ópticos observando un vertido de crudo en las instalaciones del CEDEX, junto con la visualización de las imágenes capturadas



Sistemas de detección ópticos observando una zona del pantalán en una refinería

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

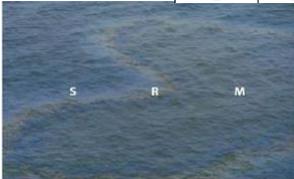
Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

45

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Equipos detección de sustancias en el mar-

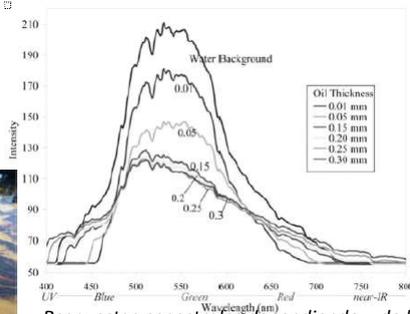
- Ópticos: Diferencia de contraste entre los vertidos y el agua no contaminada

NOAA	Código	Apariencia	Espesor de la capa (mm)
	S	Plateado/gris brillante	0.04-0.30
	R	Irisaciones	0.30-5.0
	M	Metálico	5.0-50
	D	Color verdadero del petróleo discontinuo	50-200
	E	Color verdadero del petróleo continuo	>200



Imágenes de las distintas apariencias de vertidos





Respuestas espectrales dependiendo de las longitudes de onda.

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

46

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Equipos detección de sustancias en el mar

- Sistemas multi-hiper espectrales
  - Captan radiación en un amplio rango de longitudes de onda: ultravioleta – infrarrojo térmico
  - El espectro depende de la naturaleza del vertido

Espectro vertido del Deepwater Horizon

Detección con sistema térmico (superior), con sistema multi espectral (inferior)

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

47

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua - Madurez tecnológica Equipos detección de sustancias en el mar

TRL 4: Desarrollo de prototipo a pequeña escala. Validación de la tecnología en laboratorio.

Laboratorio: CEDEX.  
Validación: Identificación manchas de vertido mediante distintas técnicas.

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

48

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua:  
Evaluación de su madurez tecnológica

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

49

**UNED** Sistema autónomo para la contención de vertidos en el agua:  
Evaluación de su madurez tecnológica

**Grupo ISCAR – UCM**  
**Grupo GI3 – UNED**

► Máster y doctorado en Ingeniería de Sistemas y de Control

Joaquín Aranda Almansa (jaranda@dia.uned.es).  
Depto. Informática y Automática. UNED.

50