

CIRTESU

Centro de Investigación en
Robótica y Tecnologías
Subacuáticas

INFORME DE BUENAS PRÁCTICAS

Enero 2018 - Septiembre 2021



CIRTESU

Centro de Investigación en Robótica
y Tecnologías Subacuáticas: Informe de buenas prácticas.
Enero 2018 - Septiembre 2021

Castelló de la Plana, septiembre 2021

CRÉDITOS

Universitat Jaume I

Coordinación:

Vicerrectorado de Investigación y Transferencia

Realización:

Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas y Oficina de Cooperación en Investigación y Desarrollo Tecnológico

Colaboración:

Biblioteca, Cátedra FACSA de Innovación en el Ciclo Integral del Agua, Gabinete de Rectorado, Oficina Técnica de Obras y Proyectos, Proyecto de Cultura Científica y Ciencia Ciudadana, Servicio de Comunicación y Publicaciones y Servicio de Lenguas y Terminología

Diseño y maquetación:

Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas y Format G10

Fotografías:

Portada, contraportada y págs. 6, 8, 12, 14, 25, 30 y 35: Servicio de Comunicación y Publicaciones

Pág 20: Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas

DOI: <http://dx.doi.org/10.6035/IDIFEDER.2018.013.2021>

Documento disponible en acceso abierto desde el Repositorio Institucional de la Universitat Jaume I: <http://repositori.uji.es/>



Este documento está publicado bajo una licencia
Reconocimiento – No Comercial

Actuación cofinanciada por la Unión Europea a través del Programa Operativo del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de la Comunidad Valenciana 2014-2020.



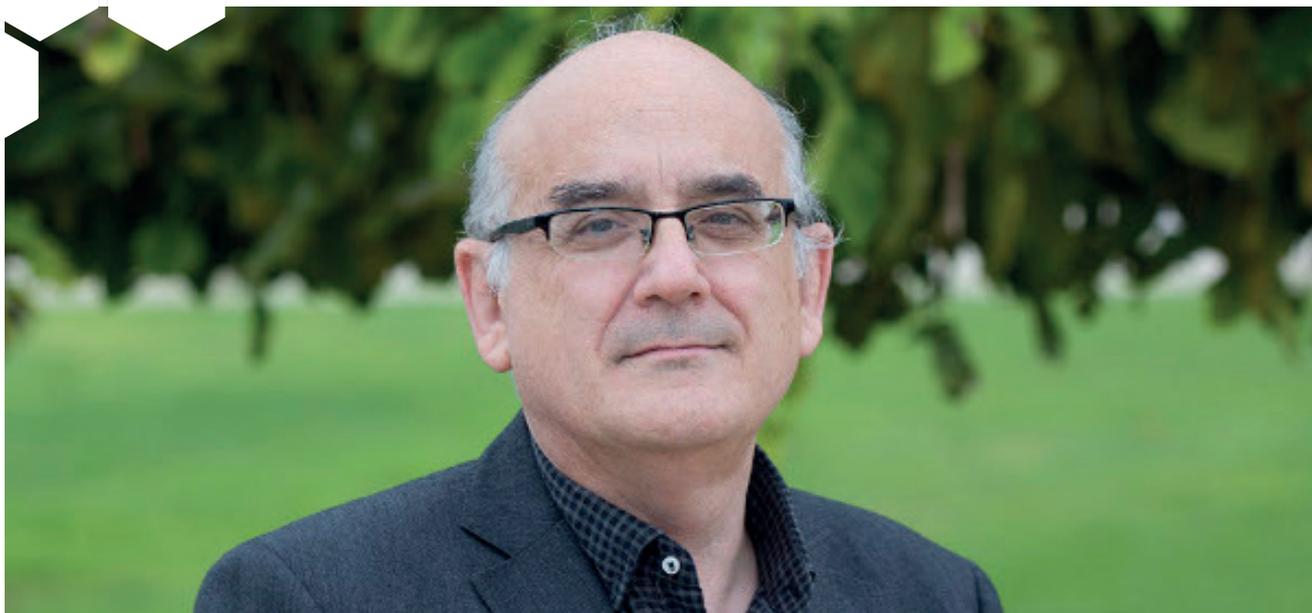
Contenidos

Presentación	6
Resumen ejecutivo	7
Entrevista con el coordinador del CIRTESU	8
Descripción del proyecto	11

Criterios de buenas prácticas

1. Difusión	14
2. Innovación	17
3. Resultados	20
4. Resolución de problemas	23
5. Grado de cobertura	25
6. Criterios horizontales	28
7. Sinergias con otras actuaciones	31

El CIRTESU en cifras	36
Agradecimientos	37
Referencias	38



Presentación

Desde su fundación hace ahora 30 años, la Universitat Jaume I tiene como fuerza motriz la contribución al desarrollo sostenible del territorio a través de la generación y transferencia de conocimientos comprometidos con el avance social, económico y medio ambiental.

Y es esta perspectiva, transversal a nuestro recorrido científico, la que nos permite una estrecha alineación con las prioridades y objetivos del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), que busca impulsar la innovación para fortalecer la cohesión socioeconómica de la Unión Europea.

La concordancia de las líneas de investigación de la Universitat Jaume I con la visión y misión de FEDER tiene como reflejo nuestra activa participación en el Plan Operativo FEDER Comunidad Valenciana 2014-2020, impulsado por la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital de la Generalitat Valenciana.

Entre las novedosas iniciativas que se han promovido en este plan, se encuentra el recientemente inaugurado Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas (CIRTESU), cuyo informe de buenas prácticas 2018-2021 presentamos a continuación.

Como se refleja en este documento, la puesta en marcha del CIRTESU es el punto de partida de una nueva y decisiva etapa para alcanzar la excelencia, que permitirá aportar soluciones innovadoras a problemas del entorno subacuático (robótica submarina, ciclo integral del agua, acuicultura...).

CIRTESU no es únicamente una instalación científica de alto impacto, sino que se sustenta en un equipo humano nacido de la asociación de diferentes grupos de investigación de trayectoria reconocida en áreas complementarias.

A la elevada proyección del CIRTESU contribuye su alto potencial de transferencia, ya que los resultados de la investigación serán extrapolables a sectores tan variados como la electromedicina o la tecnología nuclear y esto catalizará nuevas colaboraciones con empresas, centros de investigación y administraciones públicas. Cierro esta presentación con unas merecidas palabras de agradecimiento al coraje y esfuerzo que ha puesto todo el equipo humano, personal investigador y de administración y servicios, que han hecho realidad este fantástico proyecto.

Jesús Lancis Sáez
Vicerrector de Investigación y Transferencia
Universitat Jaume I



Resumen ejecutivo

Propósito y descripción del proyecto

El Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas (CIRTESU) de la Universitat Jaume I surge ante la necesidad de dar un impulso definitivo a la I+D+i de la Comunidad Valenciana y generar nuevas sinergias entre tres ámbitos: robótica subacuática, acuicultura y ciclo integral del agua.

Con este fin, entre 2018 y 2021, se ha creado un centro de alto nivel ubicado en una nave industrial que alberga un tanque de agua de 480 m³ en el que se simulan condiciones reales. A su vez, se ha adquirido un vehículo subacuático G500 al que se le ha adaptado un brazo robótico.

Para ello, se ha contado con una inversión de más de 750.000 €, procedentes del Fondo Europeo para el Desarrollo Regional (FEDER), la Generalitat Valenciana y la Universitat Jaume I.

Buenas prácticas

En el marco de la investigación e innovación responsable, la cooperación entre distintos actores ha hecho posible que el CIRTESU se alinee con los criterios de buenas prácticas identificados en el Programa Operativo FEDER.

1. Difusión

Se han realizado más de treinta actividades distintas destinadas a comunidad científica, empresas y público en general.

2. Innovación

El CIRTESU es el primer centro de su índole en la Comunidad Valenciana, lo que permite el desarrollo de aplicaciones de vanguardia relacionadas con la tecnología subacuática.

3. Resultados

Los objetivos iniciales han sido cubiertos y se han aumentado las capacidades para la validación de hipótesis en escenarios que simulan la realidad.

4. Resolución de problemas

El CIRTESU ha contribuido a mejorar la situación de partida, proporcionando un espacio idóneo para la experimentación científica y tecnológica.

5. Grado de cobertura

La comunidad científica y las empresas de los sectores implicados en el ámbito subacuático disponen ahora de un centro de I+D+i especializado.

6. Criterios horizontales

El CIRTESU promueve la igualdad de género en ciencia y tecnología, así como la sostenibilidad ambiental en el edificio, el equipamiento y las actuaciones.

7. Sinergias

Se crean sinergias en ejes clave del quehacer universitario: proyectos de I+D+i, formación (grado, máster y doctorado) y alineamiento con políticas.

Perspectivas futuras

El CIRTESU está llamado a convertirse en un centro de referencia en su ámbito. En los tres años de vida del proyecto se ha captado más de un 80 % de la inversión.

Junto a las líneas iniciales de investigación, ya se están abordando nuevas aplicaciones relacionadas con la protección de radiaciones en aplicaciones médicas, la revisión de tuberías en instalaciones nucleares y la detección de amenazas acuáticas para el Ministerio de Defensa.

Entrevista con el coordinador del CIRTESU

Pedro José Sanz Valero

Entre enero de 2018 y septiembre de 2021, el investigador Pedro José Sanz Valero ha coordinado las distintas fases del ciclo del proyecto CIRTESU - Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas de la Universitat Jaume I.

Pedro José Sanz Valero es catedrático de la Universitat Jaume I y está adscrito al Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Computadores. Coordina el grupo de investigación IRS Lab –Sistemas Interactivos y Robóticos, que ha obtenido la calificación de Grupo de Alto Rendimiento por esta universidad. Autor de más de un centenar de publicaciones internacionales, ha coordinado diversos proyectos de ámbito autonómico, nacional y europeo y ha estado involucrado en distintos cargos de organismos internacionales, como el Institute of Electrical and Electronics Engineers Systems Council.

Seguidamente se muestra el punto de vista del investigador sobre las experiencias y resultados más significativos del CIRTESU.

¿Cuáles son los orígenes del CIRTESU?

El equipo de investigación que, en 2009, constituimos el grupo IRS-Lab entramos en el mundo de la robótica subacuática partiendo de nuestra dilatada experiencia en los sistemas de interacción humano-máquina y la manipulación robótica multipropósito. La alianza con el Centro de Investigación en Robótica Submarina de la Universitat de Girona y la Universitat de les Illes Balears nos permitió obtener una serie de proyectos en la frontera de la tecnología, estatales y europeos, todos ellos coordinados desde el IRS-Lab.

Dado que, en un principio, solo la Universitat de Girona disponía de las instalaciones para la validación experimental (únicas en España por entonces), progresivamente fuimos estableciendo el embrión del



CIRTESU en la Universitat Jaume I. Para ello partimos de un laboratorio provisto de un pequeño tanque de agua y posteriormente se produjo la cesión de la parcela en la que hoy se ubica el Centro.

En 2018 se produce un punto de inflexión en nuestra trayectoria al aprovechar este impulso y crear el CIRTESU a través de un consorcio entre la Universitat Jaume I y el Instituto de Acuicultura de Torre de la Sal (centro CSIC), al que, junto con el IRS-Lab, se adhirieron dos grupos de investigación de la UJI, Ingeniería del Diseño y Fluidos Multifásicos. El objetivo de esta unión era poder disponer de una estructura común con recursos compartidos para la experimentación en todas las vertientes del ámbito subacuático.

Esta potente asociación sumó una significativa experiencia en proyectos europeos, aumentó la masa crítica de la entidad y amplió enormemente las aplicaciones de la investigación en el ámbito subacuático.



¿Qué valor añadido ha aportado a tu carrera investigadora el apoyo del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)?

Debido a las características del proyecto y a las dificultades surgidas a raíz de la pandemia COVID 19, tanto en la obra civil como en la movilidad del personal investigador, todavía no hemos tenido recorrido suficiente para cuantificar el impacto de los nuevos medios desde la reciente puesta en marcha del CIRTESU (inaugurado en diciembre de 2020).

Lo que ya, en este momento, constatamos, es un importante logro consistente en que el apoyo de FEDER nos está dando una mayor visibilidad nacional e internacional. Este hecho está siendo corroborado por colegas que son referentes en robótica y tecnologías subacuáticas y que nos consideran candidatos idóneos para propuestas conjuntas de alto nivel, ya que, junto con nuestra experiencia, estamos respaldados por unas instalaciones y equipos singulares.

Y la posibilidad de esta cooperación se verá aumentada cuando, en breve plazo, dispongamos de una cantera de investigadores e investigadoras que recibirán adiestramiento en las instalaciones del CIRTESU, en el marco del Máster Interuniversitario Erasmus Mundus en Robótica Inteligente Marina y Marítima¹ y del nuevo grado de la UJI en Inteligencia Robótica.

¿Cuáles son tus principales prioridades en la coordinación del CIRTESU?

Disponemos de una infraestructura que nos permite abordar todas las vertientes de interés en el ámbito subacuático (oceanografía, piscifactorías, contaminación marina, defensa, arqueología submarina, industria offshore, puertos marítimos, ciclo integral del agua...) y por ello, mi mayor prioridad es buscar sinergias con entidades intervinientes en estos campos, en algunos de los cuales ya estamos trabajando en la actualidad (como en el proyecto SIMBAAD patrocinado por el Ministerio de Defensa).

Otra de mis prioridades es el refuerzo de nuestros recursos humanos, de modo que se obtenga el máximo rendimiento en el uso del equipamiento e instalaciones del Centro. Por último, como objetivo más complejo y a más largo plazo, aspiramos a que se dote al CIRTESU de un estatus en la línea de los institutos universitarios o institutos mixtos de investigación, lo cual daría un espaldarazo definitivo a la entidad.

¿Cómo visualizas el futuro del CIRTESU teniendo en cuenta su proyección local y global?

El CIRTESU es un proyecto de futuro que ya ha empezado a dar sus primeros frutos. En la actualidad, y en el ámbito autonómico, somos la cabeza visible de la Comunidad Valenciana en la robótica submarina de intervención, y un referente en las líneas de investigación que atañen a los restantes grupos que lo integran, con un extenso recorrido en acuicultura y ciclo integral del agua.

A partir de ahora, y a escala estatal, pretendemos ocupar un lugar destacado en todas estas disciplinas gracias a nuestras instalaciones singulares que hacen posible la validación de hipótesis científicas en un tanque de agua equipado con sistemas de aireación y de generación de corrientes. Estos mecanismos permiten modelar situaciones como las que nos vamos a encontrar en el mar o en las instalaciones depuradoras de aguas residuales, superando las limitaciones de los depósitos estáticos habitualmente utilizados en la experimentación.

Estas consideraciones son extrapolables al contexto internacional, en el que hemos incrementado nuestras relaciones con varios países europeos, Japón, Australia y EE. UU., facilitando que nuestros estudiantes de doctorado tengan la posibilidad de elaborar tesis internacionales dirigidas conjuntamente, a la vez que colaboramos en distintos proyectos europeos.

En este marco cabe destacar el hecho de que desde 2018 tenemos un convenio de cooperación con la Organización Europea para la Investigación

¹<https://www.master-mir.eu/>

Nuclear (CERN) en Suiza, el centro más importante del mundo en la materia. Actualmente ya estamos colaborando con esta organización en un proyecto europeo cuatrienal, El-Peacetolero, con el que entraremos de lleno en una vía de gran interés: la robótica de intervención en los entornos con radioactividad.

Para finalizar, quiero subrayar la trascendencia que, para nuestra trayectoria inmediata, han supuesto las colaboraciones con los citados grupos de investigación, referentes internacionales en su ámbito. Esta cooperación ha reforzado las sinergias entre disciplinas interrelacionadas, en una simbiosis que, sin duda, contribuirá a nuestro avance hacia la excelencia.

« El CIRTESU nos permite aplicar los resultados de la investigación que hemos estado cultivando durante más de diez años, convirtiéndose en una plataforma idónea hacia la excelencia. »

Pedro José Sanz Valero,
coordinador del CIRTESU y catedrático de
la Universitat Jaume I

Descripción del proyecto

Ficha identificativa

Título del proyecto	Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas
Acrónimo	CIRTESU
Localización	Parque Científico y Tecnológico, parcela E Campus del Riu Sec de la Universitat Jaume I (Castelló de la Plana)
Organismo convocante	Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital de la Generalitat Valenciana
Convocatoria	Subvenciones para infraestructuras y equipamiento de I+D+i para el periodo 2018-2020 (PO FEDER Comunidad Valenciana 2014-2020). Convocatoria 2018
Periodo	Del 1 de enero de 2018 al 30 de septiembre de 2021
Investigador principal	Pedro José Sanz Valero
Entidades	Universitat Jaume I e Instituto de Acuicultura Torre de la Sal - CSIC
Importe concedido	564.101,25 €
Presupuesto total	751.617,01 €
Página web	http://www.irs.uji.es/cirtesu/
Vídeo resumen	https://youtu.be/5te_SciX7Qs

Resumen del proyecto

¿Por qué es necesario?

En el ámbito de la tecnología subacuática, la creación de robots capaces de trabajar bajo el agua es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la comunidad científica, especialmente si estos son autónomos (sin conexión por cable umbilical a embarcaciones de superficie a las naves o plataformas nodrizas) y deben actuar coordinadamente. Su desarrollo abre las puertas a múltiples oportunidades para resolver necesidades existentes en áreas muy diversas, como arqueología, biología marina, oceanografía, acuicultura, explotaciones de gas y plataformas petrolíferas submarinas, etc.

Además, las complejas condiciones del medio subacuático plantean exigencias similares a las que se presentan en otros entornos hostiles, como centrales nucleares, instalaciones sanitarias con riesgo de radiaciones o contextos aeroespaciales. En estos entornos, el riesgo para la integridad del

personal científico-técnico se minimiza utilizando plataformas robóticas de control remoto adaptadas al medio, diseñadas a partir de la experiencia obtenida con los robots subacuáticos.

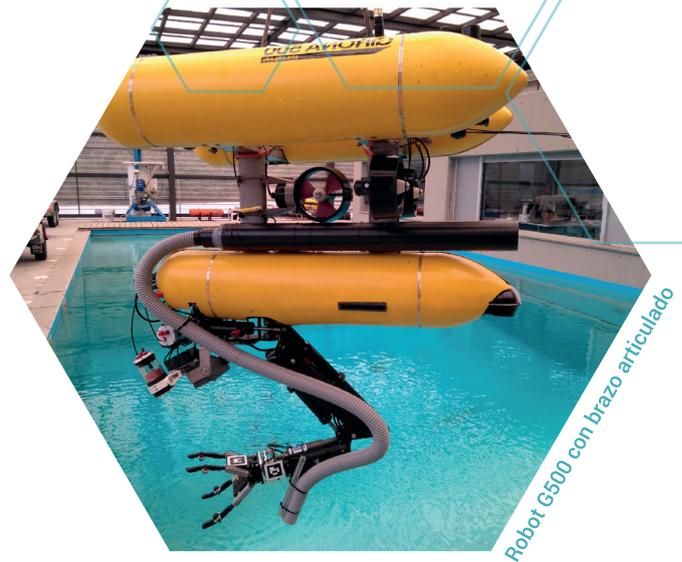
Sin embargo, para que la ciencia avance en este campo, es imprescindible que el personal investigador disponga de recursos específicos que no siempre están a su alcance, como piscinas convenientemente equipadas para que los robots y sus sistemas de comunicación se prueben en condiciones reales. Como ventaja añadida, estas piscinas permiten la experimentación en líneas de investigación relacionadas con el ciclo integral del agua, como el tratamiento y el almacenamiento de agua potable y la depuración y reutilización de las aguas residuales.

¿Cómo se da respuesta a las necesidades detectadas?

Con objeto de contribuir a la búsqueda de soluciones en este ámbito, el proyecto CIRTESU de la

Universitat Jaume I tiene como objetivo general crear un centro de investigación de alto nivel que permita resolver problemas complejos relacionados con las tecnologías subacuáticas. Para ello, la inversión realizada se ha estructurado en tres grandes bloques:

1 Adquisición y mejora del robot G500, que permite la integración de un brazo manipulador, sensores y herramientas, así como su interconexión de red con los robots y sensores ya disponibles. Este robot es vital para avanzar en el diseño de aplicaciones cooperativas de intervención, como aquellas a realizar en depósitos de agua potable, depuradoras de aguas residuales y piscifactorías en el mar.



Robot G500 con brazo articulado

2 Construcción de la infraestructura, formada por una nave industrial de 611,78 m² de superficie construida y 8,35 m de altura, cuyo elemento central es un tanque de agua de 480 m³ (la mitad de la capacidad de una piscina olímpica) diseñado para experimentar con tecnología subacuática.



Construcción de la nave industrial

3 Dispositivos para la generación de corrientes y el estudio del oxígeno en la depuración eficiente de agua, necesarios para simular entornos de gestión y depuración de agua directamente relacionados con las aplicaciones acuáticas, científicas e industriales del ciclo integral del agua y la robótica subacuática.



Sala de control

«El avanzado diseño del tanque de aireación y generación de corrientes permite la experimentación en tecnología subacuática en condiciones cercanas a la realidad y con resultados muy fiables.»

Rosario Vidal, investigadora del CIRTESU, directora del Grupo Investigation and Development y Catedrática de la Universitat Jaume I.

¿Quiénes lo han hecho posible?

Ante la complejidad y proyección de la actuación, se constituyó un equipo de trabajo interdisciplinar que integra los siguientes grupos de investigación de la Universitat Jaume I:

- **Laboratorio de Sistemas Robóticos e Interactivos**, coordinador del proyecto. El trabajo del grupo se centra en la interacción persona-máquina y el desarrollo de soluciones (software/hardware) para aplicaciones de robótica en escenarios reales, especialmente en el ámbito subacuático y en otros entornos hostiles.

- **Grupo Green Investigation and Development**, cuyas líneas son la sostenibilidad medioambiental y social, la evaluación del ciclo de vida, el ecodiseño y la calidad medioambiental del agua potable en las estaciones de tratamiento, depósitos de almacenamiento y redes de distribución.

- **Grupo de Fluidos Multifásicos**, que tiene entre sus líneas de investigación el conocimiento de materiales, la nanotecnología, el modelado y simulación de estaciones depuradoras de aguas residuales (procesos bioquímicos, neutralización del olor y los nitratos...) y la gestión y reutilización de las aguas depuradas.

Junto a estos grupos de investigación y como miembro del CIRTESU desde sus orígenes, se cuenta con la participación del Instituto de Acuicultura Torre de la Sal, centro perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que contribuye a ampliar las oportunidades que el proyecto ofrece en la optimización de la acuicultura marina y de agua dulce.

El carácter integrador es una de las fortalezas del CIRTESU, habiéndose incluido en el proyecto a usuarios finales, como la empresa Fomento Agrícola Castellonense (FACSA) especializada en la operación y

mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas y desaladoras.

Generando nuevas oportunidades...

El CIRTESU favorecerá significativos avances tanto en el ámbito subacuático como en otros entornos de difícil acceso. Muestra de ello es que durante la ejecución del proyecto se han establecido las primeras alianzas estratégicas, que ya han comenzado a dar sus frutos, como:

- Colaboraciones con la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), gracias a las similitudes entre el medio radioactivo y el subacuático. Como actividades en marcha podemos citar el desarrollo de robots adecuados a técnicas mejoradas de radiación para aplicaciones médicas y para evaluación y mantenimiento de tuberías en instalaciones nucleares.

- Nuevas vías de investigación para la gestión de los cultivos marinos, especialmente aquellos que se realizan mediante dispositivos de jaulas, al conseguir condiciones óptimas de trabajo.

- Diseño de pequeños robots subacuáticos para toma de muestras de oxígeno en las depuradoras, en colaboración con la Cátedra FACSA-UJI.

- Cooperación con el Ministerio de Defensa para diseñar e implementar un sistema integrado de monitorización y búsqueda de amenazas acuáticas en superficie y profundidad, que utiliza un vehículo subacuático autónomo AUV comunicado inalámbricamente.

Actuaciones como las citadas se suman a la notable experiencia acumulada por el equipo del CIRTESU en proyectos de investigación, lo que impulsa a la Universitat Jaume I como referente en actividades de I+D+i en el ámbito de la robótica y demás tecnología subacuática.

«El CIRTESU es un puente que une la investigación subacuática con múltiples aplicaciones en diversas áreas del conocimiento, como la salud o la ingeniería.»

Raúl Marín, investigador del CIRTESU y profesor titular de universidad del Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Computadores de la Universitat Jaume I.

Criterios de buenas prácticas

Con la voluntad de que los resultados alcanzados por el CIRTESU puedan ser transferidos a otras entidades, a continuación se describe su adecuación a los criterios de buenas prácticas, identificados en la Estrategia de Comunicación de los Programas Operativos FEDER de la Comunidad Valenciana 2014-2020.

1. Difusión

Con objeto de establecer actividades adaptadas a los distintos colectivos, el primer paso de la estrategia de comunicación ha sido definir un mapa de públicos en el que se han identificado a los grupos reflejados en la siguiente figura.



Seguidamente, se han definido los objetivos y canales de comunicación más apropiados para cada grupo, dando lugar a las acciones señaladas en la siguiente página.

Inauguración oficial del CIRTESU, con la participación de altos representantes de los ámbitos políticos y educativos (3 de diciembre de 2020).



1.1. Actividades y actos públicos

Las principales actividades y actos públicos en los que se ha hecho difusión del proyecto se resumen en la siguiente tabla.

ACTIVIDAD	PÚBLICO	AÑO	BREVE DESCRIPCIÓN
Rueda de prensa	Medios de comunicación	2019	Organizada con motivo de la llegada del robot subacuático G500 a la Universitat Jaume I.
Innovación educativa	Estudiantado universitario	2019	Participación en la iniciativa Good Game para inspirar la creación de videojuegos.
Realización de experimentos	Comunidad científica	2019 2020	Experimentos en el marco de proyectos como El-Peacetolero (Comisión Europea) y TWINBOT (Ministerio de Ciencia e Innovación).
Visitas al CIRTESU	Administración pública Comunidad científica	2019 2020 2021	Las instalaciones han sido visitadas en diversas ocasiones por representantes políticos y personal investigador, como es el caso de las Jornadas de Automática 2021.
Presentaciones en congresos internacionales	Comunidad científica	2020 2021	El proyecto se ha dado a conocer en espacios como el Foro Europeo de Robótica y el Congreso Mundial de la International Federation of Automatic Control.
Noche Europea de las Investigadoras	Público en general	2020	Presentación del proyecto y su vinculación con la igualdad de género en la sección «Voces expertas».
Inauguración oficial	Administración pública Comunidad científica Empresas tecnológicas	2020	Acto celebrado en la Universitat Jaume I en el que representantes políticos y educativos han inaugurado y visitado las instalaciones.

1.2. Difusión en medios de comunicación

Durante todo el ciclo de vida del proyecto se han llevado a cabo acciones de difusión dirigidas tanto a la comunidad universitaria como al público en general, según se detalla seguidamente.

ACCIÓN	NÚMERO	BREVE DESCRIPCIÓN
Nota de prensa	2	Notas de prensa del Servicio de Comunicación y Publicaciones de la Universitat Jaume I enviadas a los medios de comunicación.
Noticia de prensa	18	Noticias publicadas en periódicos y revistas, en soporte papel y digital (ej. Europapress, El Mundo, Levante, Mediterráneo, Castellón Diario, Castellón Plaza, Valencia Plaza...).
Emisiones en radio	3	Entrevistas y noticias difundidas en emisoras como Radio Nacional de España, À Punt Ràdio y Onda Cero.
Vídeos de divulgación científica	3	Vídeos publicados en el Portal Ciencia de la Universitat Jaume I y en YouTube.
Inserciones en redes sociales	3	Información difundida a través de los canales de Twitter, LinkedIn y Facebook de la Universitat Jaume I, RUVID (Red de Universidades Valencianas) e IRS Lab.

1.3. Publicaciones externas

Considerando la idoneidad de las publicaciones para compartir los resultados del proyecto con la comunidad investigadora, el equipo del proyecto ha comenzado a plasmar sus avances en una serie de artículos científicos² cuyo número e impacto son de tendencia creciente. Junto a la participación de personal con una amplia trayectoria, destaca la incorporación de investigadores e investigadoras en formación, para quienes el proyecto ha generado nuevas oportunidades.

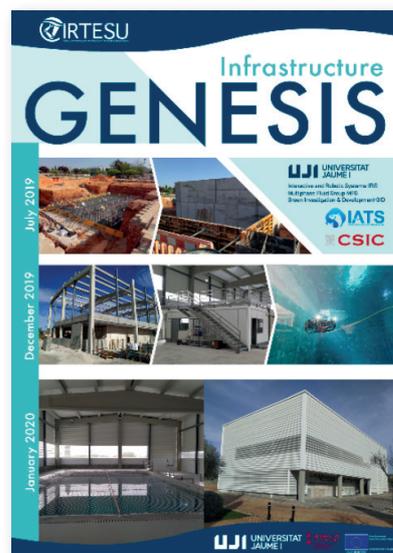
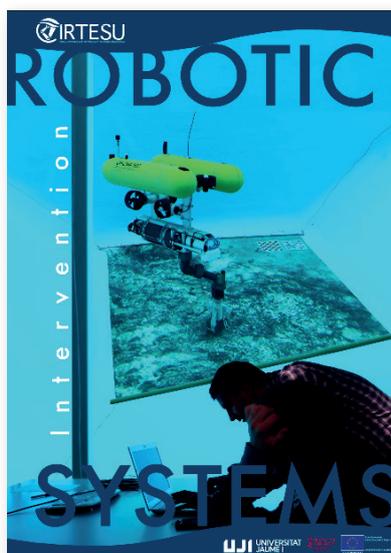
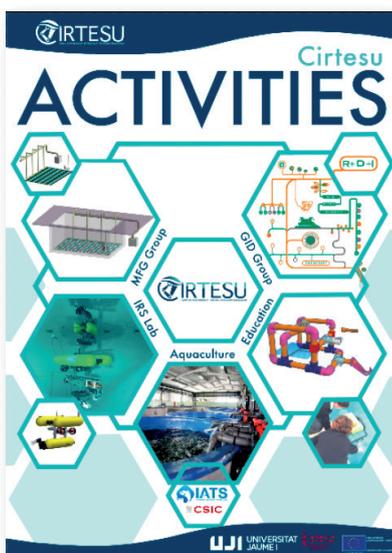
Complementariamente, se ha elaborado el presente informe divulgativo de buenas prácticas, de acceso abierto y orientado a acercar la ciencia a la ciudadanía, en línea con la Estrategia de Especialización Inteligente en Investigación e Innovación en la Comunidad Valenciana.

1.4. Información en páginas web

Reflejando la importancia de la actuación, se ha creado una página web específica del proyecto, albergada en el servidor de la Universitat Jaume I y se ha publicado una entrada específica en Wikipedia. Además, en distintas secciones de la página web de la Universitat Jaume I se visibiliza el CIRTESU, como el Portal Ciencia, el Videoblog Ciencia TV y los archivos de noticias y fotonoticias, lo que facilita el acceso a la información al público en general.

1.5. Soportes publicitarios

Se han elaborado diversos elementos gráficos que refuerzan la visibilidad del proyecto, como un cartel informativo, pósteres explicativos, un banner enrollable y adhesivos para los equipos y la zona de acceso al edificio.



Elementos gráficos que refuerzan la visibilidad del CIRTESU

²Artículos publicados durante la realización del proyecto:

- de la Cruz, M.; Casañ, G.; Sanz, P.; Marín, R. Preliminary Work on a Virtual Reality Interface for the Guidance of Underwater Robots. *Robotics* 2020, 9, 81. <https://doi.org/10.3390/robotics9040081>
- de la Cruz, M.; Casañ, G.; Sanz, P.; Marín, R. A New Virtual Reality Interface for Underwater Intervention Missions. *Proceedings of 2020 IFAC Conference*.
- Pérez, J.; Bryson, M.; Williams, S.B.; Sanz, P.J. Recovering Depth from Still Images for Underwater Dehazing Using Deep Learning. *Sensors* 2020, 20, 4580. <https://doi.org/10.3390/s20164580>
- R. Pi, P. Cieślak, P. Ridao and P. J. Sanz, "TWINBOT: Autonomous Underwater Cooperative Transportation," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 37668-37684, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3063669.

2. Innovación

El carácter innovador es una de las señas de identidad del proyecto del CIRTESU, que abarca toda la cadena de valor, desde la generación y utilización del conocimiento hasta la obtención de resultados que den respuesta a las necesidades existentes.

2.1. Infraestructura y equipamiento

La trayectoria del equipo investigador participante en el CIRTESU, especializado en ámbitos como la robótica subacuática, ha permitido detectar las limitaciones asociadas a la falta de infraestructuras y equipamiento adecuados para llevar a cabo avances científicos en este ámbito y tener un profundo conocimiento sobre las características que debía reunir el edificio que alberga al CIRTESU.

En la nave industrial de 30 x 15 x 8,35 metros construida ex profeso, junto al tanque de agua y los dispositivos para la simulación de situaciones reales, se han ubicado las zonas de lanzamiento y recuperación de robots, la sala de control, la grúa pórtico y el taller de diseño y construcción de tecnología subacuática. Cabe destacar que la visualización del interior del tanque es posible a través de un amplio ventanal de cristal blindado dispuesto en uno de sus paramentos verticales.

Por su parte, el tanque de agua cuenta con agitadores sumergibles y una unidad soplante de aire que alimenta a parrillas extraíbles con difusores, situadas en su interior. Este conjunto modular permite reproducir los fenómenos hidrodinámicos y el proceso de aireación de los reactores biológicos utilizados en las estaciones depuradoras de aguas residuales a escala real, siendo también de gran utilidad en la experimentación con robots subacuáticos.

En el campo de la robótica subacuática es destacable la adquisición de un robot autónomo con posibilidad de intervención, adaptado sobre la base del robot G500 y provisto de un brazo manipulador y una cámara estéreo, lo que permite múltiples aplicaciones, como la exploración de fondos marinos o la búsqueda y recuperación de objetos, como la caja negra de una aeronave. Esto es posible gracias a que el robot puede sumergirse hasta una profun-

didad de 500 metros y a que, sus baterías de ion-litio le proporcionan una autonomía de alrededor de seis horas.

Además, al no requerirse un cable umbilical que comunique al robot con la plataforma de superficie o la nave nodriza, se elimina el riesgo de enredamiento y rotura del cable, lo que puede conllevar la pérdida del equipo. A otra escala de intervención, también se prevé el desarrollo de robots sumergibles de pequeño tamaño y bajo coste para trabajos en instalaciones de menores dimensiones, como depuradoras.

En las actuaciones de robótica subacuática del CIRTESU se utiliza como soporte básico el programa de simulación UWSim, desarrollado y actualizado por el grupo de investigación IRS Lab. Esta herramienta de código abierto, accesible desde la página web de la Universitat Jaume I, permite visualizar la reconstrucción de una intervención real y simular actuaciones subacuáticas, siendo posible incorporar en la pantalla del simulador componentes como vehículos subacuáticos, embarcaciones de superficie, manipuladores robóticos y sensores. Habiendo sido creado a través de proyectos previos, el CIRTESU potenciará su utilización y propiciará nuevos avances.

«El estudio a escala real de los procesos hidrodinámicos en el interior de los reactores biológicos de las estaciones depuradoras de aguas residuales permitirá grandes avances en la optimización de los procesos de depuración.»

Sergio Chiva, investigador del CIRTESU, director del Grupo de Fluidos Multifásicos y Catedrático de la Universitat Jaume I

2.2. Líneas de investigación y aplicaciones

El nexo entre la generación del conocimiento y su transferencia es uno de los ejes transversales del CIRTESU. Teniendo en cuenta la variedad de entor-

nos de difícil acceso, el proyecto amplía las posibilidades en múltiples ámbitos del conocimiento vinculados a la robótica inteligente y al ciclo integral del agua, algunas de las cuales se resumen a continuación.

Principales líneas de investigación

Robótica subacuática y en otros entornos hostiles aplicada a escenarios reales, incluyendo el desarrollo de software para la simulación, programación y control de equipos autónomos y coordinados.

Procesos con **fluidos multifásicos** (aire-agua) utilizados en las **estaciones depuradoras de aguas residuales** para la degradación de la materia orgánica por medio de microorganismos aerobios en **reactores biológicos**.

Ingeniería del diseño de productos, instalaciones y equipos para **sostenibilidad ambiental** y la medición y mejora de la **calidad del agua potable**.

Ejemplos de aplicación

Evaluación y mantenimiento de tuberías de poliamida en **centrales nucleares**.

Acceso de robots a **instalaciones sanitarias** con riesgo de radiaciones.

Monitorización de **cultivos subacuáticos** en jaulas (autolimpieza de tanques, oxigenación...).

Recopilación de información para **cartografía submarina**.

Apoyo a la investigación del **patrimonio cultural subacuático** mediante el estudio de elementos sumergidos en el medio.

Monitorización y búsqueda de **amenazas acuáticas** (minas submarinas...) para el Ministerio de Defensa.

Revisión y mantenimiento de instalaciones en **puertos marítimos**.

Experimentación de un **reactor biológico** en **estación depuradora de aguas residuales** a escala real (fenómenos hidrodinámicos, aireación y mezclado, modelado y simulación computacional...).

Abastecimiento de agua con **optimización de los recursos hídricos** mediante sistemas de información geográfica.

Desarrollo y validación de **modelos de calidad del agua potable** para redes de almacenamiento y distribución.

«La participación del Instituto de Acuicultura de Torre la Sal (CSIC) en el CIRTESU abre nuevas vías para mejorar la gestión de los cultivos marinos y poder avanzar hacia una acuicultura más sostenible.»

Ariadna Sitjà, directora del Instituto de Acuicultura de Torre la Sal (centro del CSIC)

2.3. Innovación respecto al territorio y al público objetivo

La infraestructura del CIRTESU es única en la Comunidad Valenciana, lo que supone un notable avance en el posicionamiento del territorio como polo de investigación en tecnología subacuática, siendo del máximo interés para la Universitat Jaume I, la provincia de Castelló y la Comunidad Valenciana.

La singularidad de la instalación abre múltiples posibilidades de colaboración científico-tecnológica con novedosos aportes para el público al que va dirigido el proyecto. En la siguiente figura se ofrece un resumen de estos.

Muestra de las innovaciones que aporta el CIRTESU respecto al público objetivo



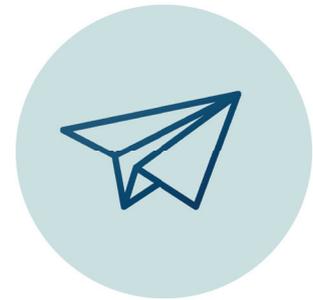
Personal investigador

Espacio pionero para la experimentación subacuática simulando condiciones reales de intervención



Estudiantado

Aprendizaje relevante y prácticas experimentales de alto nivel en robótica subacuática



Centros de I+D+i

Aplicación del conocimiento para nuevos desarrollos aplicables a diversos entornos hostiles



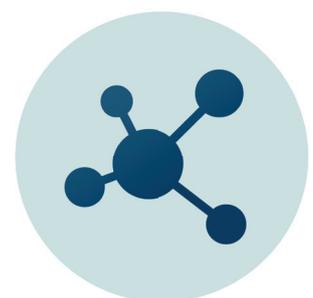
Empresas

Nuevas oportunidades de colaboración público-privada en el ámbito de la inteligencia artificial



Administración pública

Contribución a políticas de desarrollo sostenible basadas en la I+D+i



Ciudadanía

Participación en el progreso científico y en la generación de una sociedad basada en el conocimiento

3. Resultados

Según se describe a continuación, los resultados conseguidos en el proyecto CIRTESU han permitido alcanzar los objetivos definidos en la solicitud inicial, constatándose el valor añadido obtenido gracias a la cofinanciación de FEDER.

Objetivo 1.- Robótica cooperativa, con capacidad de supervisión e intervención con equipos de sensores y robots manipuladores móviles heterogéneos, aplicable en el ámbito acuático e industrial (Internet de las Cosas e industria offshore).

Objetivo logrado a través de la adquisición de un robot tipo AUV (siglas en inglés de vehículo subacuático autónomo) al que se le ha adaptado un brazo manipulador articulado provisto de una garra que permite la utilización de herramientas. Junto a ello, se ha avanzado en el diseño de pequeños robots móviles con capacidad de manipulación y bajo coste y se han llevado a cabo pruebas de inspección cooperativa en el CIRTESU.

Objetivo 2.- Experimentación en escenarios cercanos a la realidad, en presencia de corrientes y situaciones imprevistas.

La simulación de contextos reales en el tanque de agua del CIRTESU se ha visto potenciada por el diseño y puesta en marcha de una serie de dispositivos de control hidráulico y generación de corrientes, así como la adaptación del programa simulador de robótica submarina UWSim. Así, ya se han realizado los primeros experimentos que han permitido, por ejemplo, que un robot recupere la caja negra de una aeronave (maqueta a escala real) en el fondo del tanque de agua.

Objetivo 3.- Aplicaciones del ámbito acuático: vigilancia y optimización del sistema de aguas potables, inspección y mejora de la gestión del agua en depuradoras, optimización de regantes para el uso eficiente del agua, mantenimiento de piscifactorías y de instalaciones estratégicas subacuáticas.

La integración en el CIRTESU de los grupos de investigación Green Investigation and Development y Fluidos Multifásicos, especializados en la evaluación medioambiental, el tratamiento y la depuración de aguas, ha permitido al Centro disponer de los elementos necesarios para que la experimentación generada pueda convertirse en innovaciones de utilidad para empresas y entidades del sector público y privado vinculadas a la gestión integral del ciclo del agua.

«Las instalaciones experimentales de CIRTESU son para nosotros una oportunidad única donde poder avanzar en entender con detalle los procesos de tratamientos de aguas con los que trabajamos en nuestro día a día.»

José Guillermo Berlanga Clavijo, director I+D+i y Mejora Continua de FACSA.

Objetivo 4.- Aplicaciones del ámbito industrial: cooperación de robots industriales en el ámbito de la Industria 4.0, redes de sensores (IoT), simulaciones e interfaces de control cooperativo de robots industriales.

El diseño de robots ha contribuido a que la investigación sobre inteligencia artificial converja con la experiencia de la Universitat Jaume I en la innovación y transferencia hacia el sector manufacturero, abriendo posibilidades para que las empresas mejoren su competitividad a través de la alta tecnología. Ejemplos de las aportaciones del CIRTESU a la robótica industrial son las técnicas de sellado para el uso en ambientes polvorientos y el control remoto de equipos con comunicación reducida, como sucede en los túneles.

Objetivo 5.- Aplicaciones del ámbito científico: diseño de tecnología para la salvaguarda del patrimonio arqueológico submarino de la Comunidad Valenciana, control remoto de sistemas de intervención robótica en escenarios peligrosos (ej. fuego, radiación y agua), investigaciones en ingeniería de fluidos y mejora de los sistemas de construcción de las instalaciones del ciclo del agua, así como avances en determinadas técnicas de acuicultura y eficiencia en piscifactorías.

Una vez identificado el interés del público objetivo, el CIRTESU ha mantenido contactos con distintas entidades para facilitar que los avances en I+D+i sean utilizados para dar solución a necesidades concretas. La relación con empresas, centros de investigación y administraciones públicas ha llevado a iniciar la experimentación en ámbitos como los sistemas de control avanzado de riego, la arqueología subacuática, la depuración y almacenamiento de agua potable o la atención hospitalaria en zonas con riesgo de radiación.

Objetivo 6.- Objetivo transversal: siguiendo las directrices internacionales de las buenas prácticas en ética robótica (Robot ethics) e ingeniería, se investigará y diseñará tecnología con el objetivo de servir a las personas, para la mejora de la calidad de vida, el fomento del empleo y la paz.

Alineándose con la investigación e innovación responsables (RRI por sus siglas en inglés), la labor del CIRTESU busca contribuir a los valores de la sociedad. Acciones concretas para ello han sido promover la educación científica con actividades como la Noche Mediterránea de las Investigadoras, impulsar el acceso abierto a la información y sumarse a la Estrategia de Excelencia de Recursos Humanos en la Investigación de la Universitat Jaume I.

La robótica subacuática tiene un gran potencial para facilitar y potenciar las intervenciones de arqueología submarina.



Photo: Juha Flinkman, SubZone OY, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons

Para llegar a estos resultados se ha seguido el plan de trabajo planteado en la memoria del proyecto y, a lo largo de su ciclo de vida, se han ido alcanzando las metas previstas en todas sus fases, siendo los logros más significativos los siguientes:

Fase 1. Simulación de intervenciones robóticas en corrientes

Metas:

- Diseño de los planos del sistema automatizado de corrientes de agua
- Adaptación del programa simulador de robótica submarina UWSim
- Evaluación empírica en simulación con robots

Fase 2. Experimentos de mecánica de fluidos y diseño de tanque de corrientes

Metas:

- Análisis de resultados de la evaluación empírica
- Adaptación del proyecto del edificio a la configuración final del sistema de corrientes, así como de las zonas de lanzamiento y recuperación de robots, sala de control, grúa pórtico y taller de diseño y construcción de tecnología subacuática.

Fase 3. Inspección cooperativa

Metas:

- Adquisición de un robot subacuático tipo AUV modelo G500.
- Adaptación del sistema de manipulación del robot G500 con la implantación de un brazo articulado provisto de una garra que permitirá el uso de herramientas en piscifactorías, pozos, etc.
- Avance en el diseño de pequeños robots móviles con capacidad de manipulación y bajo coste para instalaciones subacuáticas de menores dimensiones.
- Pruebas de inspección cooperativa en las instalaciones provisionales del proyecto (CIRS Girona).

Fase 4. Experimentos en el tanque de corrientes con robot

Metas:

- Verificación del correcto funcionamiento de las instalaciones
- Pruebas preliminares de robots en el tanque de generación de corrientes.

Fase 5. Experimentos de intervención cooperativa en tanque de corrientes. Final del proyecto

Metas:

- Monitorización e intervención robótica cooperativa, en condiciones próximas a la realidad para el transporte de tuberías subacuáticas.
- Transferencia del software desarrollado para la cooperación eficiente en red para su utilización en otros ámbitos de la robótica cooperativa.

Fase transversal

Meta:

- Elaboración de un marco integrador de las líneas de investigación del CIRTESU con la Estrategia de Especialización Inteligente para la Investigación e Innovación en la Comunidad Valenciana, los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 y las directrices internacionales de las buenas prácticas en ética robótica e ingeniería.

4. Resolución de problemas

La contribución del CIRTESU a la resolución de problemas o debilidades detectadas en el ámbito de ejecución, parte de la realización de un análisis detallado de la situación inicial de la investigación en tecnología subacuática y robótica cooperativa en la Comunidad Valenciana. Esta coyuntura se ha sintetizado a través de la matriz DAFO que se presenta a continuación, en la que se analizan sus debilidades,

amenazas, fortalezas y oportunidades y que se presenta a continuación.

La matriz facilita la visualización de las principales dificultades y posibilidades asociadas al proyecto a nivel interno y externo y se ha inspirado en la Estrategia de Especialización Inteligente para la Investigación e Innovación en la Comunidad Valenciana (Generalitat Valenciana, 2016) y, más concretamente, en el DAFO incluido en esta Estrategia.

DAFO sobre la investigación en tecnología subacuática y robótica cooperativa en la Comunidad Valenciana

ANÁLISIS INTERNO DEBILIDADES

1. Escasez de instalaciones apropiadas para realizar experimentos en los que se simulen entornos reales.
2. Alto coste de los equipos e infraestructuras requeridos para la investigación aplicada.
3. Desequilibrio en el acceso de mujeres y hombres a estudios sobre áreas afines al CIRTESU (inteligencia artificial, tecnología en entornos hostiles).
4. Dificultad para encontrar personal técnico especializado en el manejo de los dispositivos del CIRTESU.
5. Universidad de mediano tamaño con recursos limitados para invertir en el plan propio de investigación.
6. Restricciones a la movilidad del personal investigador acentuadas por la situación generada durante la pandemia COVID 19.

FORTALEZAS

1. Equipo humano con amplia trayectoria investigadora en sistemas robóticos e interactivos, almacenamiento y depuración de agua y acuicultura.
2. Estrecha colaboración entre grupos de investigación complementarios (ej. grupos Fluidos Multifásicos y Green Investigation and Development).
3. Elevado apoyo institucional en la realización y promoción del CIRTESU como centro de referencia en su ámbito.
4. Gran capacidad de atracción para personal investigador en formación.
5. Sólida red de contactos con centros europeos e internacionales con quienes se ha forjado una relación de confianza.
6. En la universidad se imparten estudios de grado y postgrado vinculados al proyecto, lo que permite contar con personas capacitadas para participar en el CIRTESU.
7. Producción propia del hardware y software (UWSim) necesarios para la simulación y la programación y el control de los robots subacuáticos.

ANÁLISIS EXTERNO AMENAZAS

1. Reducido tejido empresarial en la provincia de Castelló especializado en tecnología subacuática.
2. Dificil acceso a ayudas exteriores para cofinanciar la inversión requerida en medios humanos y materiales.
3. Baja inversión en I+D+i en el ámbito del proyecto en comparación a otras regiones y países europeos.
4. Compleja consolidación de la carrera del personal investigador, que lleva a la emigración de personas altamente cualificadas que han sido formadas en centros de la Comunidad Valenciana.
5. Crisis económica a raíz de las consecuencias de la pandemia COVID-19.

OPORTUNIDADES

1. Interés mostrado en la robótica subacuática por empresas de diversos sectores.
2. Surgimiento de nuevas aplicaciones de la tecnología robótica en entornos de difícil acceso, como la vigilancia y control en entornos radioactivos.
3. Centros de I+D de prestigio internacional han mostrado interés por colaborar con el CIRTESU, como el Instituto Superior Técnico de Lisboa.
4. Las políticas de ámbito autonómico, estatal, europeo e internacional promueven la investigación e innovación responsable.
5. El territorio en el que se ubica la universidad tiene tradición en innovación y cultura emprendedora.
6. Estrecha conexión con el eje mediterráneo, con análogos intereses y preocupaciones, lo que facilita la extensión del CIRTESU a contextos similares.
7. Necesidad de optimizar la construcción y gestión de instalaciones de depuración y almacenamiento de agua potable mediante la experimentación y el diseño.

Aunque que a lo largo del informe se hace referencia a cómo el proyecto ha abordado los distintos aspectos del análisis DAFO, se considera de interés ofrecer una visión global que sintetice las principales relaciones entre sus resultados y el CIRTESU.



Contribuir a solucionar las debilidades

La construcción de la nave en la que se encuentra el tanque de generación de corrientes de agua, junto a los dispositivos para simular entornos reales y la adquisición y adaptación del robot subacuático G500, permite la realización de todo tipo de experimentos en el ámbito del proyecto, lo que evita complejos y costosos desplazamientos a centros de características similares ubicados fuera de la Comunidad Valenciana.

En relación a la equidad de género, el CIRTESU manifiesta su total alineación con las estrategias y directrices de la UJI, en especial con las propugnadas en el II Plan de Igualdad de la Universitat Jaume I 2016-2020 y la acreditación europea de calidad HR Excellence in Research (Excelencia de los Recursos Humanos en la Investigación). Para un mayor detalle sobre lo expuesto nos remitimos al apartado 6.1. de este Informe «Criterios horizontales: Igualdad».



Potenciar las fortalezas

La puesta en marcha del proyecto no habría sido posible sin una estrecha colaboración entre los grupos de investigación que lo integran. Gracias al trabajo interdisciplinar se han generado espacios para el conocimiento mutuo y la colaboración y han surgido nuevos proyectos, algunos de los cuales ya han empezado a funcionar. Las posibilidades que ofrece el CIRTESU para la investigación han atraído la incorporación de jóvenes investigadores e investigadoras que se han unido al equipo y han visto impulsado el inicio de su carrera científica.

Por otro lado, y en vista a potenciar la capacitación para el uso y mantenimiento de las instalaciones del CIRTESU, en la Universitat Jaume I se han impartido contenidos específicos en los estudios de grado y postgrado relacionados con las temáticas del proyecto.

Como ejemplo de aplicación, destaca el interés que despierta el proyecto para la arqueología, con interesantes posibilidades de colaboración con instancias como el Centro de Estudios de Derecho y Relaciones Internacionales, grupo de investigación de la Universitat Jaume I con un amplio bagaje en la defensa del patrimonio cultural submarino.



Reducir el riesgo de amenazas

Se han identificado empresas de diversos sectores para ampliar las posibilidades de aplicación de la investigación realizada en el CIRTESU. Para ello se ha trabajado a escala local, regional y europea con entidades de distinta tipología que han manifestado su potencial interés en esta cuestión.

En relación a la sostenibilidad económica, se ha realizado un mapeo de posibles convocatorias de ayudas, haciendo especial hincapie en el nuevo programa marco de la Unión Europea 2021-2027, Horizonte Europa, por su capacidad y prioridades en la financiación de la I+D+i.



Alinearse con las oportunidades

Con el fin de ampliar las potencialidades del proyecto, se han localizado entornos de difícil acceso similares al medio subacuático, en los que hay muchas posibilidades de transferir los resultados obtenidos en la investigación de aplicaciones robóticas en contextos hostiles.

Entre ellos, se ha iniciado la experimentación en el tanque de generación de corrientes a fin de validar o contrastar hipótesis científicas para mejorar la construcción y gestión de instalaciones de depuración y almacenamiento de agua potable. Asimismo, la iniciativa WATER UJI, consistente en un hub tecnológico en el sector del agua, creado en la UJI a finales de 2020 gracias a un proyecto financiado por la Agencia Valenciana de la Innovación, permitirá el fortalecimiento de sinergias con otros grupos de investigación y empresas.

Por otro lado se ha comenzado la colaboración con el Ministerio de Defensa a través de un proyecto cuyo objeto es el diseño de un sistema integrado para la monitorización y búsqueda de amenazas acuáticas utilizando vehículos autónomos submarinos.

5. Grado de cobertura

En el análisis del grado de cobertura del CIRTESU sobre la población a la que se dirige, mencionaremos el alcance sobre la comunidad investigadora de la Comunidad Valenciana y sobre las empresas de los principales sectores que pueden verse beneficiados por el proyecto.

5.1. Cobertura entre la comunidad investigadora

Dentro del panorama de las estructuras de investigación universitaria valenciana, el impacto del

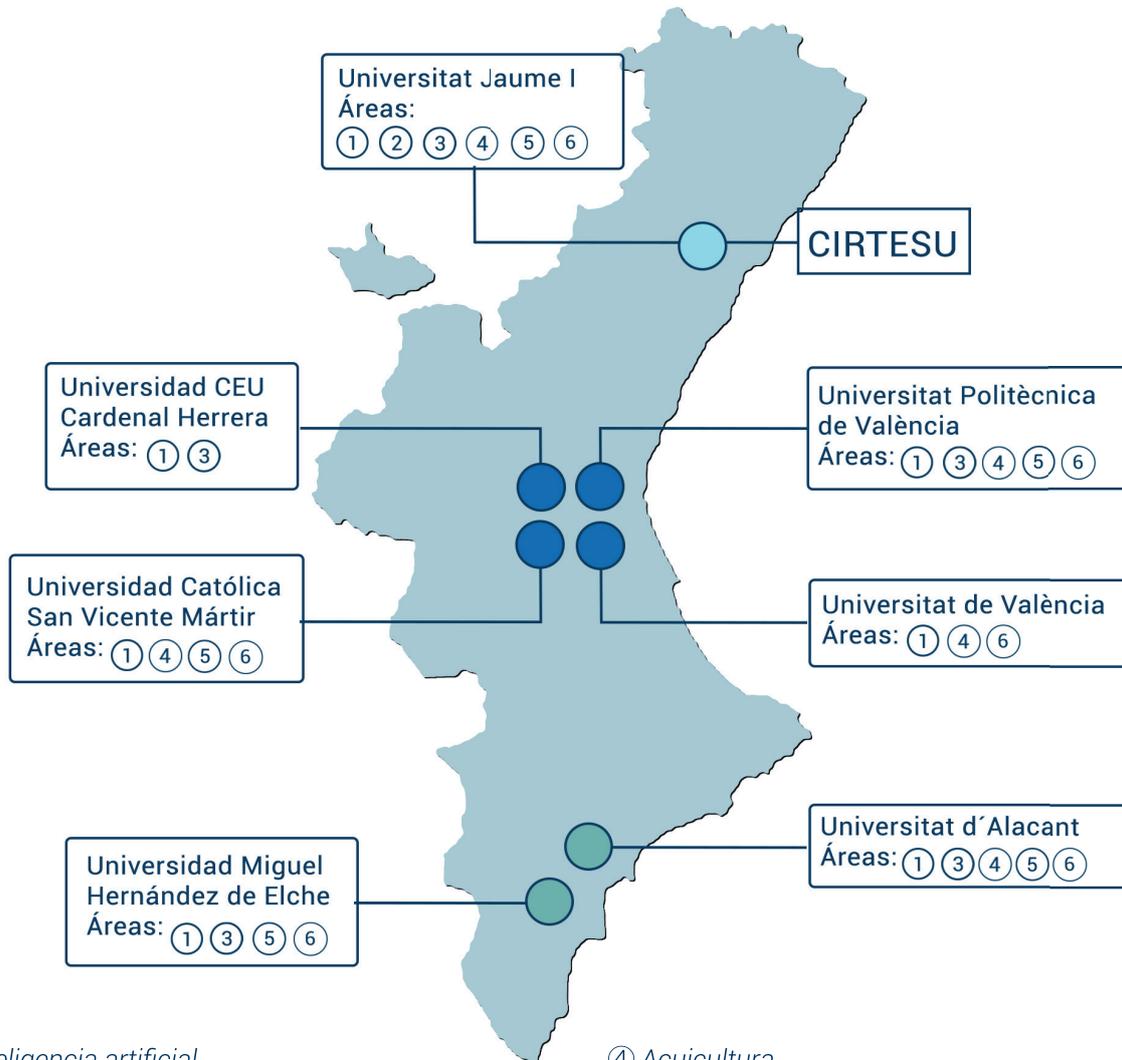
CIRTESU puede ser considerable debido a la singularidad de sus instalaciones y equipos. Gracias a su existencia será posible que otras universidades del territorio, con proyectos propios en líneas de trabajo afines, lleven a cabo experimentos que les permitan avanzar en su trayectoria de I+D+i.



En todas las universidades de la Comunidad Valenciana hay estructuras de investigación que realizan trabajos relacionados con el CIRTESU.

A fin de sintetizar las posibilidades existentes, el siguiente gráfico ofrece una muestra de las áreas de experimentación de las universidades valencianas concurrentes con el CIRTESU.

Principales áreas de experimentación en las universidades valencianas concurrentes con el CIRTESU



- ① Inteligencia artificial
- ② Robótica subacuática y en otros entornos hostiles
- ③ Robótica para la industria 4.0.
- ④ Acuicultura
- ⑤ Depuración y almacenamiento de agua potable
- ⑥ Telecomunicaciones subacuáticas inalámbricas para transferencia de datos.

Junto a la comunidad científica que desarrolla su labor en las universidades, la Comunidad Valenciana también alberga otros relevantes centros de I+D+i en los que se trabaja en líneas análogas a las del CIRTESU. Por su estrecha relación con el proyecto se mencionan:

- Instituto de Acuicultura Torre de la Sal, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y miembro activo del CIRTESU.

- Instituto Tecnológico de la Información y las Comunicaciones.
- Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.
- Instituto Cartográfico Valenciano.

5.2. Cobertura entre empresas de sectores vinculados

A modo de ejemplo, en este apartado se muestra una aproximación a dos sectores relevantes en el territorio y especialmente unidos al CIRTESU: la acuicultura y el agua. Ello, sin olvidar que existen más escenarios con proyección de futuro a corto plazo como la vigilancia y mantenimiento de instalaciones portuarias.

acuicultura, facilitadas por la colaboración del CITERUSU y del Instituto de Acuicultura de Torre la Sal (centro CSIC), pueden contribuir a la mejora de esta situación. Este avance redundaría en el progreso económico del territorio, especialmente en la zona costera.

Foto: Gordon Leggett / Wikimedia Commons / CC BY-SA 4.0



La utilización de robots subacuáticos contribuirá a la mejora de la producción en el sector de la acuicultura.

En relación a la acuicultura, la producción mundial alcanzó en 2017 los 112 millones de toneladas, siendo superior a la obtenida por la pesca extractiva (IVACE, 2019). Según el Comité Económico i Social (2020), la Comunidad Valenciana, con más de 500 kilómetros de costa, es la primera productora en España de peces de crianza de mar. Así, en el año 2019, se autorizaron 28 granjas marinas con la siguiente ubicación: 16 en Alicante, 8 en Valencia y 4 en Castellón, además de 22 bateas mejilloneras y 2 de crianza de ostras. Entre todas produjeron un total de 16.667 toneladas por un importe de 87,57 millones de euros, correspondiendo la mayor producción a la dorada (6.528 toneladas), la lubina (4.561 toneladas), la corvina (4.125 toneladas) y otras especies (1.453 toneladas).

Aun con este posicionamiento, y en contradicción con el elevado potencial de la zona por su situación privilegiada, se considera que el saldo comercial en el territorio ha de ser reforzado. Junto con la adopción de otras medidas necesarias de carácter administrativo, la conjunción de las líneas de investigación en robótica subacuática con las propias de la

En cuanto al sector empresarial del agua en la Comunidad Valenciana, destaca su carácter atomizado, con un claro predominio de las pequeñas y medianas empresas. Con una población próxima a los cinco millones de personas, la Comunidad Valenciana se encuentra en un frágil equilibrio cuantitativo entre sus recursos y demandas hídricas, con un aumento del riesgo por los efectos del cambio climático (Cabezas, 2008). En relación a la calidad del agua, manifiestamente mejorable, existen problemas puntuales, sobre todo en la provincia de Alicante, por la sobreexplotación y salinización de acuíferos por intrusión marina, la contaminación por actividades agrarias y vertidos, la insuficiencia de depuración y la escasa reutilización de las aguas residuales.

Según un estudio de la Universitat Politècnica de València (2019), la necesaria innovación en el sector del agua en la Comunidad Valenciana se lleva a cabo a través de 24 Instituciones y empresas públicas (algunas de ellas mixtas), 40 empresas privadas y 47 unidades de investigación, incluidas las de las distintas universidades valencianas. En este encaje, el CIRTESU puede contribuir a través de la experimen-

En primer lugar, el CIRTESU se adhiere plenamente al II Plan de Igualdad de la Universitat Jaume I 2016-2020. Entre otras acciones, en el Plan se ratifica la no discriminación por motivos de sexo, raza, religión, creencias u orientación sexual. A su vez, se propugna la utilización de un lenguaje oral y escrito inclusivo en todas las comunicaciones, tanto en las que se efectúen en el interior de la Universidad como en aquellas que se presenten en el exterior de esta. También se establece que las imágenes difundidas a través de los medios de comunicación no representarán roles estereotipados, además de mantener un equilibrio entre el número de hombres y mujeres que aparezcan en ellos.

Otro referente esencial para el CIRTESU es la acreditación de calidad HR Excellence in Research (Excelencia de los Recursos Humanos en la Investigación), que la Comisión Europea concedió a la Universitat Jaume I en 2020. Con esta distinción se reconoce la alineación de la política de recursos humanos con los principios de la Carta Europea del Investigador y el Código de Conducta para la contratación de investigadores e investigadoras. En la práctica, la acreditación lleva implícita la implementación de un Plan de Acción que incluye compromisos concretos, como la promoción del equilibrio de género en la composición de los comités de selección de personal, la garantía de acceso a las convocatorias y la no discriminación del personal investigador a través de la Unidad de Igualdad de la Universidad.

«En el camino hacia la igualdad en la ciencia estamos consiguiendo una sociedad más justa, pero también una acción investigadora más rica, completa y eficaz, al incorporar la perspectiva de género.»

Lluís Martínez León, responsable del Proyecto de Cultura Científica y Ciencia Ciudadana (PC⁴) de la Universitat Jaume I.

El tercer eje con el que colabora el equipo del CIRTESU es el Proyecto de Cultura Científica y Ciencia Ciudadana de la Universitat Jaume I, que tiene entre sus líneas de trabajo la divulgación científica, la difusión de los resultados de la investigación y el fomento de acciones de ciencia ciudadana. Por su relación directa con la igualdad, señalamos acciones de divulgación como el Día de la Mujer y la Niña en la Ciencia (11 de febrero) y la MEDNIGHT - Noche Mediterránea de las Investigadoras⁴.

Junto a las anteriores, y teniendo en cuenta que la brecha es mayor en la investigación científico-tecnológica, el CIRTESU también participa en eventos en los que se realizan actividades específicas en el ámbito de la robótica, como el taller Girls in Control, llevado a cabo en el 21 Congreso Mundial de la IFAC (Federación Internacional del Control Automático), celebrado en julio de 2020. El taller, pionero en este tipo de congresos, se centró en atraer la atención de niñas de entre 10 y 15 años hacia las carreras de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas.

Otro ejemplo serían las Jornadas de Automática que se albergaron en la Universitat Jaume I (septiembre de 2021), en las que tuvo lugar una mesa redonda sobre la mujer en el sector profesional de la automática.

⁴El proyecto MEDNIGHT es un evento asociado a la iniciativa Noche Europea de Investigadores de la Unión Europea, financiada por las acciones Marie Skłodowska-Curie.

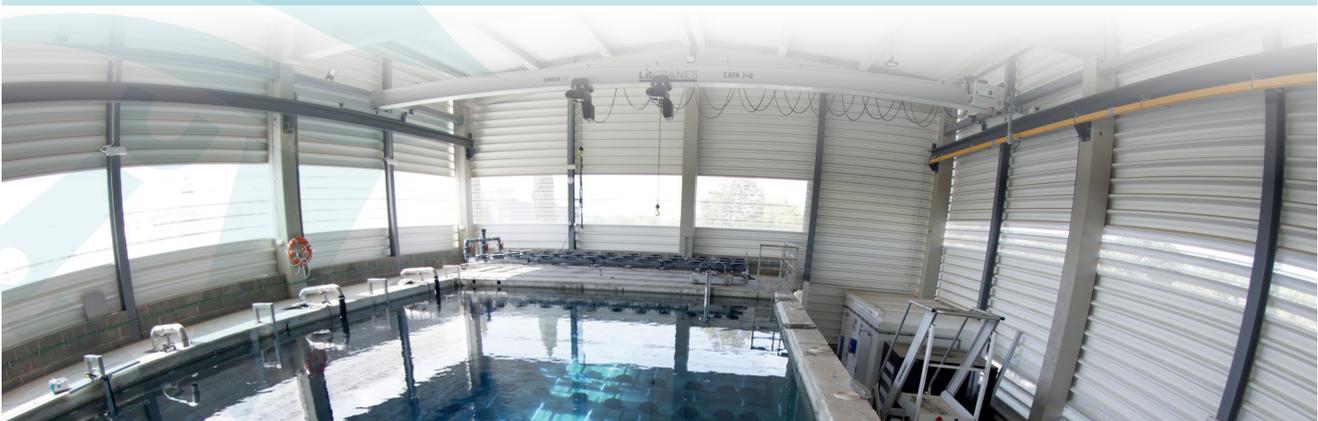
6.2. Sostenibilidad ambiental

Iniciamos el análisis a partir del edificio en el que se aloja el CIRTESU. Tal y como se resume en la siguiente tabla, la construcción de la nave que alberga el tanque de generación de corrientes y sus

correspondientes instalaciones y anexos. Realizada bajo la dirección facultativa de la Oficina Técnica de Obras y Proyectos de la Universitat Jaume I, ha seguido criterios de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental.

LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DEL EDIFICIO DEL CIRTESU

1. La nave dispone de **aislamiento térmico en cubierta** para evitar el exceso de temperatura en el interior en verano.
2. Las fachadas microperforadas permiten la **ventilación e iluminación natural** de la nave.
3. El tanque de agua se ha hecho con **hormigón hidrófugo** para reducir los gastos y no utilizar más materiales que impermeabilicen y protejan la impermeabilización, dejando un acabado más resistente para soportar los impactos que producirá el uso.
4. La **iluminación interior es del tipo LED** para reducir el consumo.
5. El sistema de **climatización está basado en tecnología INVERTER DC**, que permite ajustar el rendimiento del compresor a los cambios de temperatura detectados en el local, lo que redonda en una mayor eficiencia, ahorro energético y confort.
6. Se ha instalado un sistema de **cloración salina**, sustituyendo el cloro por sal, lo que hace que se trabaje con productos más saludables que el cloro.
7. El cuadro eléctrico del edificio sale directamente del edificio Espaitec 2, que dispone en cubierta de una instalación **solar fotovoltaica** que cubre de forma parcial la demanda de ambos edificios.
8. El edificio está conectado a través de la galería de servicios a la red separativa del campus donde se dispone de **redes diferenciadas por aguas fecales y pluviales**.
9. La propia galería de servicios permite **ampliar la conectividad** con otras instalaciones del edificio sin tener que realizar otras obras.
10. El edificio está conectado al **sistema de gestión integral** del campus lo que permite llevar un control a distancia además de monitorizar todos los consumos energéticos.



Respecto al equipamiento e instalaciones se recalca el hecho de que se utiliza exclusivamente la energía eléctrica y que, además, todos los robots disponibles funcionan con baterías eléctricas de alto rendimiento de ion-litio. Por ende, no se emiten gases de efecto invernadero, siendo la contaminación ambiental prácticamente nula, incluso la indirecta, ya que la energía eléctrica para la recarga de las baterías de los robots puede provenir de la energía fotovoltaica procedente de los paneles instalados en la cubierta del edificio del EspaiTec 2 de la Universitat Jaume I.

En cuanto a la sostenibilidad de las actuaciones, hemos de subrayar que las zonas costeras como la afectada por el proyecto poseen una considerable riqueza natural que se verá potenciada por los avances previstos en la conjunción robótica subacuática-acuicultura. Además, es de esperar que exista un balance muy positivo para la investigación en el área de salud y calidad de vida como consecuencia de las actuaciones en la mejora del agua potable.

Como aportación complementaria, y en un sentido altamente favorable, queremos hacer constar la posibilidad de reducir el riesgo de contaminación marítima mediante la utilización de robots subacuáticos para el control de estructuras submarinas, como las terminales de descarga de crudo o las instalaciones portuarias. Con ello se apoyan los objetivos de la Ley 6/2014, de 25 de julio, de la Generalitat Valenciana, de Prevención, Calidad y Control Ambiental de Actividades en la Comunidad Valenciana, inspirada en las directivas europeas en las que la prevención de la contaminación ha venido configurándose como primordial para la construcción de la normativa europea.

7. Sinergias con otras actuaciones

El impacto del CIRTESU se ha visto claramente reforzado gracias a la generación de sinergias con las principales funciones de la Universidad. Ha propiciado un efecto multiplicador en los proyectos de investigación financiados con fondos públicos (locales, regionales, nacionales, europeos), ha potenciado la docencia en distintas áreas de conocimiento y contribuido a otras políticas y estrategias de intervención pública.

7.1. Sinergias con proyectos de investigación

Con una trayectoria que se inicia en los años noventa, el equipo investigador del actual CIRTESU se ha especializado en el estudio y experimentación de los entornos subacuáticos (robótica, ciclo integral del agua...), lo que a su vez ha dado lugar al surgimiento de nuevos proyectos en medios hostiles (radioactividad, fuertes campos magnéticos...) por sus similitudes con la robótica subacuática, sobre todo en las técnicas de sellado y control remoto para equipos con comunicación reducida.

En la línea del tiempo que se observa a continuación, se incluye una muestra de los proyectos más relevantes. Aquellos considerados como antecedentes del CIRTESU se desarrollaron antes del 2018, siendo previos a la implementación de este marco, al que sirvieron como base. En el trienio siguiente (2018-2021), se simultaneó el diseño y construcción del Centro con la puesta en marcha de nuevos proyectos en líneas de investigación complementarias, cuyos resultados pueden representar un considerable adelanto científico y tecnológico.

Con la inauguración oficial de la infraestructura física en diciembre de 2020, se inicia una etapa de continuidad y progreso en la I+D+i, estableciéndose un punto de partida para la consolidación del CIRTESU como polo de atracción de talento.

La coherencia y el mantenimiento del trabajo llevado a cabo a lo largo del tiempo han favorecido que las iniciativas del equipo sean apoyadas por diversos fondos, lo que facilita la sostenibilidad del Centro a medio y largo plazo.

Principales proyectos vinculados al CIRTESU con financiación externa

2021

SIMBAAD - Sistema Integrado de Monitorización y Búsqueda de Amenazas Acuáticas para Defensa. Desarrollo de un prototipo capaz de detectar y reconocer amenazas submarinas de forma autónoma con vehículos no tripulados.

Financia: Ministerio de Defensa

VIRAL - Desarrollo del reactor virtual en estaciones de depuración de aguas residuales. Uso de la inteligencia artificial y modelado con programas de dinámica de fluidos computacional para gestión y control online.

Financia: FACSA

EL-PEACETOLERO - Soluciones electrónicas integradas para herramientas de escaneo innovadoras de polímeros que utilizan dispositivos emisores de luz para rutinas de diagnóstico.

Financia: Comisión Europea

CERN-MEDICIS - Investigación sobre robots adecuados a técnicas mejoradas de radiación para aplicaciones médicas.

Financia: Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN)

ROBOT FOR ACCELERATORS - Campo de control humano-supervisor de equipos de robots para telemanipulación en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) y otros aceleradores del CERN.

Financia: Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN)

2018

CIRTESU - Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas

Financia: Generalitat Valenciana y Fondo Europeo de Desarrollo Regional

TWINBOT - Robots gemelos para misiones de intervención subacuática cooperativa.

Financia: Ministerio de Economía y Competitividad

ROBÓTICA MARINA - Robótica marina de intervención: manipulación, localización, comunicaciones y HRI (Interacción Humano-Robot).

Financia: Generalitat Valenciana

ROBOTS COOPERATIVOS - Robots cooperativos marinos multifuncionales para dominios de Intervención.

Financia: Ministerio de Economía y Competitividad

CALIDAD AGUA - Diseño de herramienta de ayuda a la toma de decisiones para la optimización de la calidad del agua en la red de abastecimiento y distribución.

Financia: Grupo Wasser

TRITON - Intervención submarina mediante robots marinos cooperativos y percepción multisensorial.

Financia: Generalitat Valenciana

TRIDENT - Robots marinos y manipulación diestra para habilitar misiones autónomas de intervención submarina multipropósito.

Financia: Unión Europea

RAUVI - Diseño, implementación y ejecución de experimentos de validación en el proyecto coordinado Rauvi sobre intervención autónoma submarina.

Financia: Ministerio de Ciencia e Innovación

2008

INICIO DE LA TRAYECTORIA INVESTIGADORA EN ROBÓTICA SUBMARINA



Foto: CERN

«La colaboración con CIRTESU nos permite abordar nuevos retos, como el control remoto de equipos en entornos peligrosos, de gran utilidad para operaciones robóticas del acelerador de partículas para mantenimiento remoto.»

Mario Di Castro, director de la sección de Mecatrónica, Robótica y Operaciones de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN-MRO).

La aplicabilidad de la investigación del CIRTESU a entornos radioactivos ha llevado a la experimentación en el Gran Colisionador de Hadrones del CERN.

7.2. Sinergias con la educación universitaria

La Comisión Europea ha definido una serie de lineamientos para alcanzar, en 2025, un espacio europeo de educación que enlace la formación con la creación de empleo, el crecimiento económico y la cohesión social. Según recoge en su Comunicación sobre el Espacio Europeo de Educación (CE, 2020), se establece como prioridad de la educación superior el desarrollo de talento en disciplinas científicas y tecnológicas avanzadas (como las relacionadas con la inteligencia artificial) y se resalta la necesidad de aumentar el número de personas expertas en dichos campos.

En este marco, no cabe duda de que la posibilidad de que el alumnado universitario conozca y realice prácticas en unas instalaciones vanguardistas como las del CIRTESU representa una importante innovación educativa en materia de robótica y otras tecnologías subacuáticas, estableciendo sinergias con nuevas titulaciones de la Universitat Jaume I que se encuentran en proceso de implantación. Titulaciones que, al margen de su autonomía, permiten habilitar un itinerario formativo de especialización de alto nivel estructurado en dos etapas. A saber:

1. Formación inicial polivalente a través del **grado en Inteligencia Robótica**, con un total de 240 créditos ECTS (European Credit Transfer System) distribuidos en cuatro años. Estos estudios tienen un carácter generalista e incluyen contenidos sobre robótica

cooperativa, vehículos autónomos (terrestres, marinos y submarinos), drones, robots domésticos, etc.

2. Especialización en Robótica aplicada para misiones de intervención submarina, mediante el máster interuniversitario Erasmus Mundus en Robótica Inteligente Marina y Marítima, de 120 créditos ECTS impartidos en cuatro semestres. Junto a la Universitat Jaume I de Castelló, en el máster participan como socios la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, la Universidad de Lisboa y la Universidad de Toulon (coordinadora). Además, cuenta con la implicación de 25 instituciones académicas y socios industriales de 21 países.

Las sinergias obtenidas son extensivas a los grados y másteres ya consolidados en la UJI en los que investigadores e investigadoras del CIRTESU imparten docencia. En concreto:

- **Grados** en Ingeniería Informática, Matemática Computacional, Diseño y Desarrollo de Videojuegos e Ingeniería en Tecnologías Industriales.

- **Másteres** universitarios en Sistemas Inteligentes, Ingeniería Industrial y Eficiencia Energética y Sostenibilidad.

Por otro lado, la estrecha conexión entre el CIRTESU y los estudios de **doctorado** está permitiendo que personal investigador en formación realice novedosos estudios experimentales y participe en re-

des científicas de ámbito europeo. Muestra de ello es que, durante el ciclo de vida del proyecto, se han estado llevando a cabo cuatro tesis doctorales en las instalaciones de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), y se ha presentado públicamente en la Universitat Jaume I la primera de ellas⁵.

7.3. Sinergias con otras políticas y estrategias

Tal como se ha visto en otras secciones del presente informe, el CIRTESU se alinea con diversas políticas, planes y estrategias en el ámbito autonómico, europeo e internacional. Ello permite reforzar su impacto, sumándose a otros actores que trabajan bajo esos lineamientos y favoreciendo el alcance de objetivos específicos, compromisos y metas, a los que nos referimos a continuación.



Dentro de la Estrategia de Especialización Inteligente para la Investigación e Innovación en la Comunidad Valenciana (RIS3-CV)

el CIRTESU comparte objetivos específicos con los siguientes ejes:

EJE 1. Calidad de vida

- **Alimentación:** aplicar la robótica subacuática en la acuicultura como apoyo a la producción de alimentos seguros y de calidad, facilitando que se reduzcan los recursos energéticos e hídricos necesarios para ello. Desarrollar sistemas de control avanzado de riego agrícola, en el que las TIC juegan un papel fundamental.

EJE 2. Producto innovador

- **Hábitat:** mejorar el diseño, construcción y gestión de depuradoras y depósitos de almacenamiento de agua potable a partir de la experimentación en el tanque de generación de corrientes del CIRTESU.

EJE 3. Procesos avanzados de fabricación

- **Bienes de equipo:** fortalecer los desarrollos de sistemas de control con la incorporación de nuevas funcionalidades TIC, aplicándolos esencialmente al desarrollo de la robótica subacuática y otros entornos hostiles.

En relación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, el CIRTESU contribuye a alcanzar varias de las metas previstas para 2030 a través de sus líneas de investigación. En concreto:



• **Objetivo 2. Hambre cero:** transferir los resultados de la investigación del CIRTESU para aumentar la rentabilidad de la acuicultura con el ahorro hídrico y de pienso. Promover la agricultura sostenible,

umentando la productividad y la producción de alimentos con la implantación de sistemas de control de riego utilizando las TIC de bajo costo.



• **Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento:** colaborar en la aplicación de nuevas técnicas de construcción y gestión de instalaciones de depuración y almacenamiento de agua potable a partir de la experimentación en el tanque de generación de corrientes.



• **Objetivo 14. Vida submarina:** emplear la robótica subacuática para conocer y utilizar los recursos de la plataforma continental (gas, petróleo...), así como para mantener instalaciones off-shore

(como las plataformas petrolíferas) minimizando el riesgo de contaminación marina.



• **Objetivo 17. Alianzas para lograr los objetivos:** incrementar la cooperación regional e internacional en la I+D+i sobre robótica subacuática, fomentando la constitución de alianzas en las esferas pública, público-privada y de la sociedad civil.

⁵Lunghi, G., Marín, R., Sanz, P, di Castro, M. (2020). Multimodal Human-Robot Interface for Heterogeneous Robotic Systems Control in Harsh Environment (Tesis doctoral). Universitat Jaume I, Castelló.

«La puesta en marcha del CIRTESU supone un hito científico para la Universitat Jaume I. Con esta infraestructura, única en la Comunidad Valenciana y de las pocas en Europa, nos convertiremos en un polo científico de alcance internacional en robótica subacuática.»

Eva Alcón, rectora de la Universitat Jaume I.



El CIRTESU en cifras



1º Centro de investigación
en tecnología subacuática de la
Comunidad Valenciana



+480 m³ de capacidad
en el tanque de agua para experimentar
con tecnología subacuática
(1/2 piscina olímpica).



+10 medidas ambientales
implementadas para garantizar
la sostenibilidad del edificio.



+10 ámbitos de aplicación
en los que puede emplearse la I+D+i
realizada en el CIRTESU



**+20 investigadores e
investigadoras**
han participado en su implementación



+1.100 estudiantes
han tenido acceso a nuevos conocimientos
sobre tecnologías subacuáticas



+30 actividades de difusión
que incluyen actos públicos, noticias,
publicaciones y soportes publicitarios



+15.800 personas
componen el público objetivo de las
actividades de comunicación



+750.000 € invertidos
en la construcción de CIRTESU y la
adquisición del equipamiento



+80% de la inversión inicial
realizada en el CIRTESU ya se ha
captado en 3 años

Agradecimientos

El impacto y la proyección del Centro de Investigación en Robótica y Tecnologías Subacuáticas se ven potenciados gracias a la colaboración de las siguientes entidades.

UNIVERSIDADES Y CENTROS DE I+D+i



Instituto de Acuicultura Torre de la sal - CSIC



Instituto Físico-Técnico Ioffe Academia Rusa de las Ciencias



Instituto Técnico de Lisboa



Sorbonne Université



Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología



Universitat de Girona



Universitat de les Illes Balears



Université de Toulon

ADMINISTRACIONES PÚBLICAS



Generalitat Valenciana



Ministerio de Ciencia e Innovación



Ministerio de Defensa

EMPRESAS



Arttic



Blue Print Lab



Electricité de France



Facsa



Forschungszentrum Jülich GmbH



Ingesom



IQUA Robotics



Mirsense



Narwhal



Puerto de Castelló



Robotnik



UTEK

ENTIDADES Y ORGANISMOS EUROPEOS E INTERNACIONALES



Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives



EU Robotics



Federación Internacional de control Automático



Fondo Europeo de Desarrollo Regional



Fraunhofer Gesellschaft zur Foerderung der Angewandten Forschung E.V.



Institute of Electrical and Electronics Engineers-Section Robótica y Automatización



Organización Europea para la Investigación Nuclear



Programa Horizonte 2020 de la Comisión Europea

Referencias

Cabezas Calvo-Rubio, F., Cabrera Marcet, E., Morell Evangelista, I. (2008). El agua: una cuestión de estado. Perspectiva desde la Comunidad Valenciana. Asociación Valenciana de Empresarios. Recuperado de <https://www.ave.org.es/publicaciones/el-agua-una-cuestion-de-estado-perspectiva-desde-la-comunidad-valenciana-2008/>

CERN (2020). Organización Europea para la Investigación Nuclear. Recuperado de <https://home.cern/>

Climent, J.; Basiero, L.; Martínez-Cuenca, R.; Julián-López, B.; Chiva, S. Biological reactor retrofitting using CFD-ASM modelling. Chemical Engineering Journal 2018, 348, pp. 1–14.

Comisión Europea (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Recuperado de https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/document-library-docs/eea-communication-sept2020_en.pdf

Comisión Europea (2010). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Iniciativa emblemática de Europa 2020. Unión por la innovación. Recuperado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0546&from=ES>

Comisión Europea (2005). Carta europea del investigador y Código de conducta para la conducta para la contratación de investigadores. Recuperado de https://cdn5.euraxess.org/sites/default/files/brochures/eur_21620_es-en.pdf

Comité Econòmic i Social (2020). Memoria 2019. Recuperado de <http://www.ces.gva.es/es/contenido/documentos/memorias-socioeconomicas>

Dirección General de Fondos Europeos (s.f.). Guía Metodológica de seguimiento y evaluación de las Estrategias de Comunicación de los Programas Operativos del FEDER y del Fondo Social Europeo 2014-2020. Recuperado de <https://www.dgfc.sepg.hacienda.gob.es/sitios/dgfc/es-es/ipr/fcp1420/c/se/paginas/inicio.aspx>

Generalitat Valenciana (2016). RIS3-CV. Estrategia de Especialización Inteligente para la Investigación e Innovación en la Comunidad Valenciana. Generalitat Valenciana y Unión Europea FEDER. Recuperado de <http://ris3cv.gva.es/documents/164540377/164725646/RIS3+Comunidad+Valenciana/8ccd3e26-c18c-447a-81f8-8b1cbc74cc16>

Generalitat Valenciana (s.f.). Estrategia de Comunicación de los Programas Operativos FEDER y FSE de la Comunidad Valenciana 2014-2020. Recuperado de <http://www.hisenda.gva.es/es/web/financiacion-y-fondos-europeos/economia-infogeneral-fondose-informacion>

International Federation of Automatic Control (2020). Girls in Control. Recuperado de <https://www.ifac-control.org/areas/girls-in-control-gic-workshop-and-material>

- Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (2018). Científicas en cifras 2017. Recuperado de https://www.ciencia.gob.es/stfls/MICINN/Ministerio/FICHEROS/UMYC/Cientificas_cifras_2017.pdf
- NACIONES UNIDAS (2015). Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Recuperado de https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework_A.RES.71.313%20Annex.Spanish.pdf
- OMS (2006). Guías para la calidad del agua potable. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/
- UNESCO (2019). Descifrar el código: la educación de las niñas y las mujeres en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649>
- Universidad Católica de Valencia "San vicente Mártir" (2020). Recuperado de <https://www.ucv.es/>
- Universidad CEU Cardenal Herrera (2020). Recuperado de <https://www.uchceu.es/>
- Universidad de Alicante (2020). Recuperado de <https://web.ua.es/>
- Universidad Miguel Hernández de Elche (2020). Recuperado de <https://www.umh.es/>
- Universitat de València (2020). Recuperado de <https://www.uv.es/>
- Universitat Jaume I de Castelló (2020). Recuperado de <https://www.uji.es/serveis/ocit/base/grupsinvestigacio/>
- Universitat Jaume I de Castelló (2016). II Pla d'Igualtat de la Universitat Jaume I 2016-2020. Recuperado de https://documents.uji.es/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/9b6860c8-a787-4c2e-aac4-c7cf49896730/II+PLAN+IGUALDAD_VAL-3.+21.06.2016.pdf?guest=true
- Universitat Politècnica de València (2020). <http://www.upv.es/>
- Universitat Politècnica de Valencia (2019). Identificación y caracterización del ecosistema de innovación con actividad en agua en la Comunidad Valenciana. Recuperado de <http://www.iiama.upv.es/redAguaCV/comunicacion/documentos/>
- Université de Toulon et al. (2020). MIR – Erasmus Mundus joint Master's Degree in Marine and Maritime Intelligent Robotics. Recuperado de <https://www.master-mir.eu/>

UJI UNIVERSITAT
JAUME I

