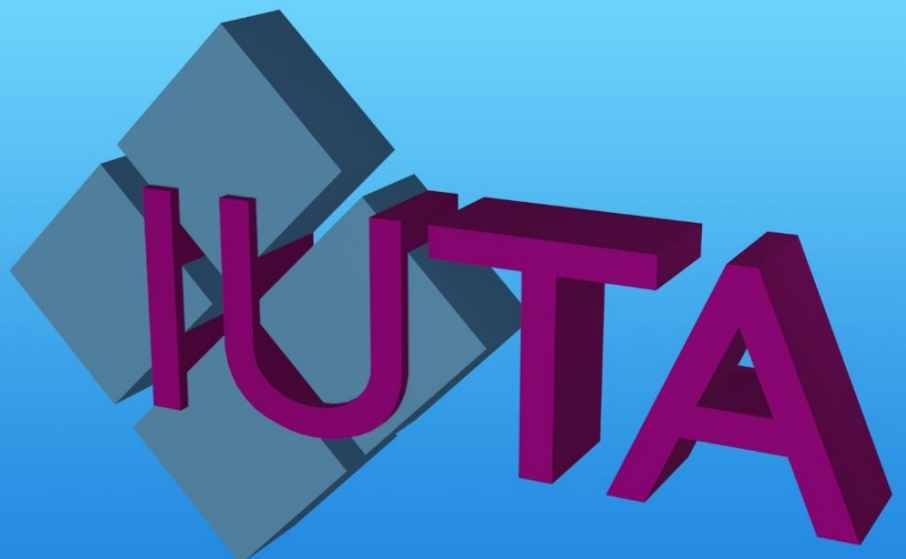


MEMORIA IUTA
2023

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

RESULTADOS



PROYECTOS DE INVESTIGACION IUTA 2023



Proyectos de Investigación IUTA 2023. Memoria de Resultados

Dentro del convenio de colaboración con el Ayuntamiento de Gijón
Gijón, Asturias. Junio 2024

ISBN: 978-84-09-62777-6

© Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias



Índice

1. Prólogo	2
2. Listado Proyectos de Investigación IUTA 2023	3
3. Listado Contratados Proyectos IUTA 2023	5
4. Memorias de Resultados	7

1. Prologo

Se presenta aquí la memoria de resultados de los Proyectos de Investigación IUTA 2023, realizados en el Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias en su convocatoria correspondiente al año 2023. En mi caso, como nuevo director de este Instituto desde diciembre del 2023, es un placer para mi contemplar los 17 trabajos de investigación realizados en el seno del Instituto gracias a la financiación concedida por el Convenio entre la Universidad de Oviedo y el Ayuntamiento de Gijón. En el mundo actual, la ciencia y la tecnología siguen siendo los grandes motores que impulsan el progreso. Y en ese ámbito, la labor de instituciones como la nuestra, dedicadas a la investigación y a su promoción, se vuelve fundamental para el desarrollo y el bienestar social en Asturias, y con especial hincapié en la propia Ciudad de Gijón.

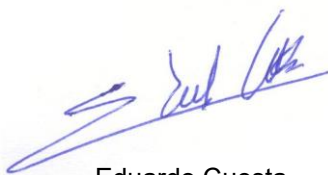
Sin duda, esta memoria no deja de ser un resumen que muestra las actividades de I+D+i realizadas entre nuestros investigadores. Se puede destacar que muchas de ellas incorporan investigadores externos a la propia Universidad de Oviedo, contando con investigadores externos, pertenecientes a otras universidades, a otros centro de Investigación, a organismos públicos, y por supuesto de empresas. Empresas que más allá de colaborar con medios materiales y su propio “saber hacer”, incorporan investigadores a los proyectos e incluso participan de sus resultados, como se refleja muchas veces con su coautoría en publicaciones, ponencias de congresos, etc.

Por otra parte, se vuelve a constatar el enfoque multidisciplinar y el compromiso con la excelencia académica que se está dando en nuestro Instituto. Esto es gracias a que nuestros investigadores provienen de diversas disciplinas del campo de la técnica, de la salud, de la ingeniería, etc. y en muchos proyectos trabajan de manera colaborativa, como debe ser si se quiere abordar problemas complejos desde múltiples perspectivas. Esto permite generar mejores y más innovadoras soluciones que esperemos, en última instancia, impacten positivamente en la sociedad asturiana. Si bien es cierto que en esta ocasión ha habido menos proyectos que en años anteriores, no es menos cierto que la calidad de las investigaciones y las actividades realizadas no desmerecen en absoluto de las precedentes. En esta convocatoria podemos encontrar con proyectos singulares en todos los sectores estratégicos hacia los que orientamos nuestro objetivos en el Instituto.

En el IUTA creemos en el poder transformador de la investigación en nuevas tecnologías y la innovación, y sobre todo en su capacidad para abrir nuevos horizontes y construir un futuro mejor para todos. En el fondo, la búsqueda de descubrimientos tecnológicos, y el compromiso con la excelencia, la innovación y la colaboración con nuestro entorno industrial es lo nos impulsa a seguir en esta senda.

Esperamos que los trabajos que se reflejan aquí sirvan como una ventana a la labor y el compromiso de lo que se hace en el IUTA, y que inspire a futuras generaciones de investigadores a unirse a nosotros en nuestra misión de explorar, descubrir y crear un futuro más brillante para todos.

Atentamente.



Eduardo Cuesta

Director del Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias

2. Listado de Proyectos de investigación IUTA 2023

Código	Título	Sector Estratégico	IP	Pag.
SV-23-GIJON-1-01	Análisis metroológico de la fabricación aditiva de materiales cerámicos con sensores de escaneado 3D ópticos (FACER3D)	Fabricación avanzada. Materiales. Procesos	Víctor Manuel Meana Díaz	8
SV-23-GIJON-1-02	Diseño de mecanismos de ayuda a la cirugía abdominal por endoscopia. (DIMECIAEN)	Salud. Ingeniería para la medicina	José Manuel Sierra Velasco	18
SV-23-GIJON-1-03	Desarrollo de dispositivo inercial para control velocidad de dosificación en dispositivos de inyección de fluidos intramusculares. (DIVEDIF)	Salud. Ingeniería para la medicina	M ^a Rocío Fernández	25
SV-23-GIJON-1-04	Caracterización de aceros obtenidos por fabricación aditiva y su resistencia a la fragilización por hidrógeno mediante el ensayo Small Punch Test (AM-HE-SPT)	Fabricación avanzada. Materiales	Guillermo Álvarez Díaz	31
SV-23-GIJON-1-05	Optimización del proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel a partir de aceites naturales (OPTRANSESTERAL)	Transporte y Energía. Generación y Energías Renovables	José Luis Viesca Rodríguez	42
SV-23-GIJON-1-06	Procedimiento para la detección, análisis y evaluación de las incrustaciones en embarcaciones menores asturianas	Mares Azules. Transporte y Energía. Movilidad Sostenible	Verónica Soto Lopez	54
SV-23-GIJON-1-07	Modelo numérico para predecir la fractura de uniones soldadas en instalaciones de transporte de hidrógeno (FRACHTWELD)	Fabricación avanzada. Materiales. Procesos	Covadonga Betegón Biempica	62
SV-23-GIJON-1-08	Modelo para el estudio de las condiciones de inyección del vapor de agua proveniente de plantas termosolares en ciclos combinados	Transporte y Energía. Generación y Energías Renovables	Pedro García Regodeseves	69
SV-23-GIJON-1-09	Modelado de la evolución del biomarcador PSA mediante técnicas IA para la predicción de la recidiva de cáncer de próstata (AI4PSA)	Salud. Ingeniería para Medicina	Víctor Manuel González Suarez	78
SV-23-GIJON-1-10	Análisis de la resiliencia hidrológica de infraestructura verde urbana bajo escenarios futuros de cambio climático en la ciudad de Gijón (ARHIVU)	Sostenibilidad y Economía Circular. Vigilancia	Luis Ángel Sañudo Fontaneda	88

		ambiental y Cambio Climático		
SV-23-GIJON-1-11	Utilización de materiales residuales en procesos de adsorción/tratamiento terciario de aguas residuales industriales	Sostenibilidad y Economía Circula. Materiales sostenibles	Jesús Avelino Rodríguez Iglesias	100
SV-23-GIJON-1-12	Prueba de concepto de un gemelo digital para la colada continua de acero (PoC-DT-CC)	Fabricación avanzada. Materiales. Procesos	José Díaz Trapiella	108
SV-23-GIJON-1-13	Sistema basado en realidad virtual para la mejora de la salud mental de las personas mayores (VROLD)	Salud. Envejecimiento Activo	David Melendi Palacio	120
SV-23-GIJON-1-14	Estudio de soluciones innovadoras para sistemas de rehabilitación de edificios protegidos y patrimonio industrial basadas en morteros de cal aditivados (REHABIN)	Industrias culturales y creativas. Patrimonio y Arquitectura	M ^a Placeres González Martínez	126
SV-23-GIJON-1-15	Estudio del aprovechamiento de desperdicios en la cadena de suministro alimentaria asturiana para ingesta animal	Sostenibilidad y Economía Circular. Gestión Cadena de Suministro	Laura Calzada Infante	141
SV-23-GIJON-1-16	Estudio de la implementación de cogeneración con la tecnología de un ciclo higroscópico. Análisis de la viabilidad técnica y medioambiental	Transporte y Energía. Eficiencia Energética	Juan Manuel González-Caballín Sánchez	150
SV-23-GIJON-1-17	Modelado de la evolución del cáncer de mama mediante el procesamiento de imágenes de resonancia magnética mediante IA como apoyo a la medicina personalizada (AI4MAMACANCER)	Salud. Ingeniería para Medicina	José Ramón Villar Flecha	160

3. Listado contratados Proyectos IUTA 2023

Código	Título	Beneficiarios
SV-23-GIJON-1-01	Análisis metrológico de la fabricación aditiva de materiales cerámicos con sensores de escaneado 3D ópticos (FACER3D)	Lorenzo Meana Pérez
SV-23-GIJON-1-02	Diseño de mecanismos de ayuda a la cirugía abdominal por endoscopia. (DIMECIAEN)	José Daniel Quindós González
SV-23-GIJON-1-03	Desarrollo de dispositivo inercial para control velocidad de dosificación en dispositivos de inyección de fluidos intramusculares. (DIVEDIF)	Juan Carlos Sánchez Velasco
SV-23-GIJON-1-04	Caracterización de aceros obtenidos por fabricación aditiva y su resistencia a la fragilización por hidrógeno mediante el ensayo Small Punch Test (AM-HE-SPT)	Miguel Llanea Baamonde
SV-23-GIJON-1-05	Optimización del proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel a partir de aceites naturales (OPTRANSESTERAL)	Merixell Villa Menéndez
SV-23-GIJON-1-06	Procedimiento para la detección, análisis y evaluación de las incrustaciones en embarcaciones menores asturianas	Alejandro Fernández Cudeiro
SV-23-GIJON-1-07	Modelo numérico para predecir la fractura de uniones soldadas en instalaciones de transporte de hidrógeno (FRACHTWELD)	Sergio Martínez Olivar
SV-23-GIJON-1-08	Modelo para el estudio de las condiciones de inyección del vapor de agua proveniente de plantas termosolares en ciclos combinados	Paula Iglesias Varela
SV-23-GIJON-1-09	Modelado de la evolución del biomarcador PSA mediante técnicas IA para la predicción de la recidiva de cáncer de próstata (AI4PSA)	José Ramón Suárez Bajo
SV-23-GIJON-1-10	Análisis de la resiliencia hidrológica de infraestructura verde urbana bajo escenarios futuros de cambio climático en la ciudad de Gijón (ARHIVU)	Valeria Guerbartchouk Pérez
SV-23-GIJON-1-11	Utilización de materiales residuales en procesos de adsorción/tratamiento terciario de aguas residuales industriales	Carlos Menéndez LLamedo
SV-23-GIJON-1-12	Prueba de concepto de un gemelo digital para la colada continua de acero (PoC-DT-CC)	Jorge Alonso Ares
SV-23-GIJON-1-13	Sistema basado en realidad virtual para la mejora de la salud mental de las personas mayores (VROLD)	Daniel González del Coz
SV-23-GIJON-1-14	Estudio de soluciones innovadoras para sistemas de rehabilitación de edificios protegidos y patrimonio industrial basadas en morteros de cal aditivados (REHABIN)	Dana Rodríguez García
SV-23-GIJON-1-15	Estudio del aprovechamiento de desperdicios en la cadena de suministro alimentaria asturiana para ingesta animal	Paula Kleckers Remacha

SV-23-GIJON-1-16	Estudio de la implementación de cogeneración con la tecnología de un ciclo higroscópico. Análisis de la viabilidad técnica y medioambiental	Santiago García-Maribona López-Sela
SV-23-GIJON-1-17	Modelado de la evolución del cáncer de mama mediante el procesado de imágenes de resonancia magnética mediante IA como apoyo a la medicina personalizada (AI4MAMACANCER)	Rebeca Oliveira Suárez



Instituto Universitario de Tecnología
Industrial de Asturias



4. Memorias de Resultados

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-01

Análisis metrológico de la fabricación aditiva de materiales cerámicos con sensores de escaneado 3D ópticos

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

Víctor Manuel Meana Díaz

Otros investigadores:

Eduardo Cuesta González, Pablo Zapico García, Braulio José Álvarez Álvarez, Pedro Fernández Álvarez, Sara Giganto Fernández, Susana Martínez Pellitero

Personal contratado:

Lorenzo Meana Pérez

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

ISM3D y DOGRAM

Redes sociales de investigadores y empresas:

www.ipfresearch.com, www.ism3d.es, www.dogram.es

Resumen Gráfico

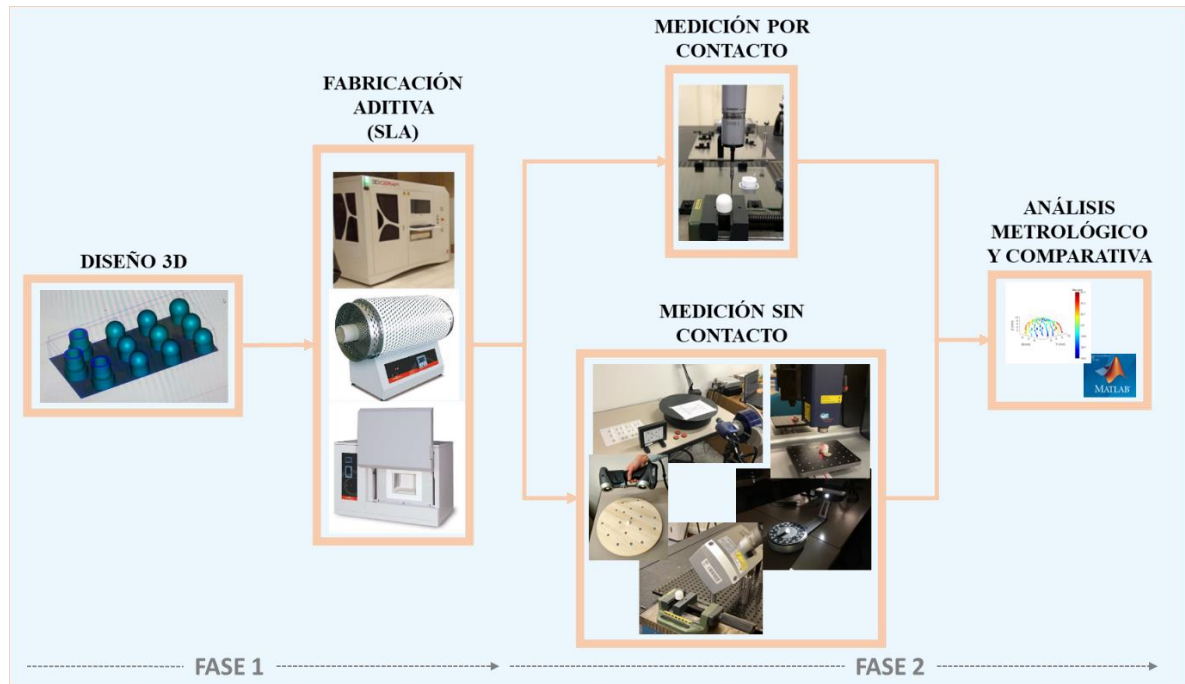


Figura 1. Esquema ilustrativo del desarrollo del proyecto.

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

A lo largo el presente proyecto se ha realizado un análisis metrológico sobre piezas fabricadas en material cerámico mediante la tecnología “Additive Manufacturing” (AM) con el fin de validar y comparar equipos de medición sin contacto e ingeniería inversa. Se han utilizado para ello sensores de medición 3D ópticos valorando en qué medida las geometrías que se han desarrollado (esferas) y el material empleado (alúmina) pueden constituirse como elementos de referencia, mejorando la estabilidad dimensional y geométrica de los artefactos de calibración y cualificación de media/gran escala. La tecnología AM utilizada ha sido la estereolitografía (SLA), con sus diferentes etapas (impresión, limpieza, debinding y sinterizado) y los equipos de escaneado 3D que sirvieron para el análisis metrológico, geométrico y dimensional, estaban basados tanto en tecnología de triangulación láser como en tecnología de luz estructurada y tecnología conoscópica.

En este proyecto ha participado personal de la Universidad de Oviedo y de la Universidad de León. Ambos equipos, pertenecientes a las respectivas áreas de Ingeniería de los Procesos de Fabricación, trabajan desde hace años de forma colaborativa con muy buenos resultados, como ha sido también en este caso. Los recursos son complementarios y se han puesto al servicio del presente proyecto. Entre ambos grupos se ha aportado la financiación necesaria para la adquisición de la materia prima que se ha empleado en la fabricación de las esferas y demás fungibles requeridos en los procesos de fabricación y de inspección de dichos artefactos. Se ha contado con la participación de un becario con dedicación al proyecto durante los cuatro meses planificados.

Para la fabricación de los artefactos cerámicos de calibración se ha empleado pasta de alúmina 3MIX ALUMINA AL-F02. Una vez fotopolimerizadas las piezas en la impresora 3DCeram C900 Flex (fase de impresión) mediante el láser ultravioleta, se limpiaron con una disolución específica 3DMIX Ceraclean (fase de limpieza) antes de proceder a la eliminación de los aditivos, tarea que se llevó a cabo un mediante proceso térmico en ambiente nitrogenado en horno Ceradel PTF 16/130/610 (fase de debinding). Por último, las piezas se sometieron al proceso térmico final para la mejora de su resistencia mecánica en horno Thermoconcept HTL 20/17 (fase de sinterizado).

Se han fabricado, en dos series diferentes, un total de 24 piezas, 12 unidades en cada serie. Todas ellas constituyen, con diferentes geometrías soporte, casquetes esféricos de diámetro 20 mm. Con el fin de enriquecer el estudio y poder realizar además un análisis de la influencia del proceso de fabricación, se han tenido en consideración cuatro variables de diseño: la orientación en sentido vertical de las esferas (up y down), la geometría externa del artefacto (seta y bala), el interior (con y sin soporte interno y lattice), el espesor (1 y 2 mm) y una variable de fabricación: la posición en la cama de impresión (1, 2 y 3). Sin embargo, en el proceso de impresión de la primera serie se desestimaron 6 unidades (en color rojo en la tabla 1) para el análisis metrológico por defectos visibles en las piezas “en verde” (estado anterior al debinding). Por tanto, la fase correspondiente al análisis metrológico se llevó a cabo sobre 18 artefactos de acuerdo con la tabla 1 que se presenta a continuación.

Tabla 1. Artefactos fabricados en función de las variables de diseño

		Artefactos Ø 20 mm			
		E = 1 mm		E = 2 mm	
		Seta	Bala	Seta	Bala
	Lattice	-	-	3	-
UP	c/ soporte interno	3	3	3	3
	s/ soporte interno	3	-	3	-
DOW N	s/ soporte externo	-	-	3	-

E (espesor de pared); UP / DOWN (orientación del artefacto); Seta / Bala (geometría externa)

Esta segunda fase, la correspondiente al análisis metrológico, se inició con la medición por contacto de las 18 piezas no descartadas, con la máquina de medir por coordenadas (CMM), modelo DEA Global Image 091508 disponible en el Laboratorio de Metrología del Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación de la Universidad de Oviedo. Con este equipo se llevaron a cabo las mediciones que permitieron disponer de los valores de referencia de los diámetros y errores de forma de las esferas. Para poder disponer de estos valores, en cada esfera se registraron por contacto 100 puntos cumpliendo con los criterios definidos en la norma ISO-10360-5.

Posteriormente, se procedió a realizar las mediciones de esas mismas 18 esferas con los equipos de medición sin contacto. Dos de ellos están basados en tecnología láser de luz estructurada

(Einscan-SP y AICON SmartScan), otros dos basados en tecnología láser de triangulación (HP-L-10.6 y Handyscan) y otro más basado en una técnica interferométrica como es la holografía conoscópica (Conoscan 4000). Para poder realizar las mediciones y obtener los valores de los diámetros y de los errores de forma se obtuvieron las nubes de puntos de cada una de las esferas con cada uno de los equipos mediante software específico de metrología e ingeniería inversa (PC-DMIS, Geomagic Control y CloudCompare).

Por último, se procedió al análisis de los datos obtenidos tanto en las mediciones por contacto como sin contacto. A partir de la información procedente de la CMM se han determinado los valores del diámetro y del error de forma que permitieron identificar el nivel de bondad del proceso de fabricación y que a la vez han servido de referencia para evaluar y comparar las capacidades de medida y precisión de los diferentes sensores ópticos. Dado el nivel de información obtenido y la cantidad de variables empleadas, se han desarrollado diferentes scripts, mediante la plataforma de programación Matlab, con el fin de ayudar al análisis de los datos y poder realizar comparativas representando los resultados en formas de histogramas e imágenes 3D. Estas representaciones han permitido determinar la existencia de correlaciones entre variables que, a su vez, han sido contrastadas mediante la aplicación del método de análisis estadístico DOE (diseño de experimentos) utilizando el software Minitab.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

En la tabla 2, que se presenta a continuación, se detallan los objetivos, principales y secundarios, que se han establecido en el proyecto, así como el grado de consecución de cada uno de ellos. Posteriormente, en el apartado 4, ya se describen los resultados obtenidos de forma más específica.

Tabla 2. Objetivos del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Grado de consecución
Principal	Análisis metrológico de artefactos cerámicos fabricados mediante SLA	100%
Secundario/ Específico	Grado de influencia de las propiedades ópticas de la alúmina, en la calidad de las nubes de puntos obtenidas con diversas técnicas de escaneado 3D	100%
Secundario/ Específico	Comprobación de que el diseño definitivo del artefacto es factible mediante SLA y se puede validar metrológicamente para constituirse como elemento de referencia	100% (*)
Secundario/ Específico	Evaluación de los sensores ópticos a partir de características GD&T del artefacto cerámico	100%
Secundario/ Específico	Comparar las capacidades de medida de los equipos empleados para la evaluación metrológica de elementos de precisión fabricados	100%

(*) Ver último párrafo página 6 y Apartado 5: Trabajos futuros

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES					
		J	A	S	O	N	D
Fase 1	Estudios previos y fabricación de piezas patrón						
Tarea 1.1	Estudios Previos: Selección de tecnologías de digitalizado a utilizar						
Tarea 1.2	Diseño y fabricación de las piezas patrón						
Fase 2	Análisis metrológico						
Tarea 2.1	Formación del becario. Normativa y procedimientos de calibración. Softwares de inspección						
Tarea 2.2	Medición por contacto de las piezas y generación del modelo CAD cuasi-real						
Tarea 2.3	Digitalizado óptico de las piezas patrón y evaluación metrológica						
Tarea 2.4	Análisis de resultados y comparativa						
Tarea 2.5	Elaboración de informe técnico y publicación resultados						

Figura 2. Planificación del proyecto.

4. Resultados obtenidos

El trabajo llevado a cabo durante los seis meses que ha durado la experimentación ha permitido, al grupo de trabajo, el acercamiento a uno de los procesos más novedosos de fabricación aditiva, la estereolitografía (SLA) de materiales cerámicos. En la información que se detalla a continuación se han obtenido, en primer lugar, resultados relacionados con el propio proceso de fabricación mediante SLA y las variables de diseño ya descritas anteriormente y, en segundo lugar, resultados relativos a la precisión obtenida mediante dicho proceso a través del control metrológico por contacto realizado sobre las esferas. Un tercer grupo de resultados tienen relación con el comportamiento de los diferentes sensores ópticos empleados en el proyecto.

De acuerdo con el planteamiento inicial se diseñaron esferas con diferentes parámetros (forma, espesor, relleno, orientación y posición) con el fin de determinar cuáles podrían afectar en mayor o menor medida a su precisión, tomando como indicadores de la calidad geométrica de las esferas, la desviación

del diámetro y el error de forma. En este sentido, nos hemos encontrado inicialmente que el proceso no ha sido capaz de suministrar todas las piezas programadas con la geometría diseñada. Por un lado, tres de ellas se han tenido que descartar por rotura y deformación durante el proceso de curación de la cerámica en la máquina de estereolitografía debido al arrastre del material en alguna de las pasadas (figura 3a). Estas tres esferas se correspondían con las fabricadas en orientación DOWN. Las otras tres esferas descartadas, las fabricadas con relleno en estructura “lattice” (figura 3b), mostraban desviaciones de forma superiores a 3 décimas de milímetro una vez sometidas al proceso completo. Estas deformaciones se han debido a las tensiones que produce la estructura “lattice” durante la fase de sinterizado.



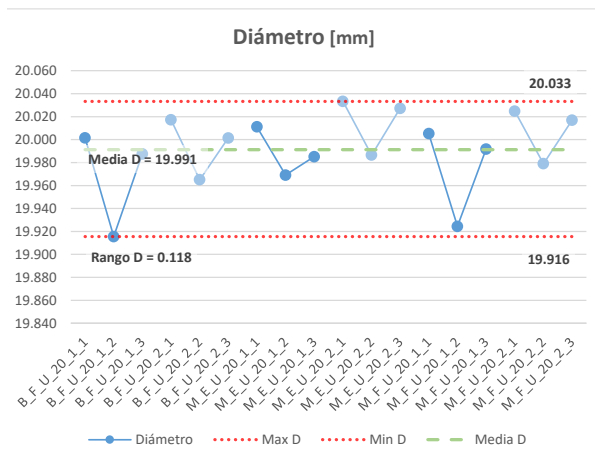
a)



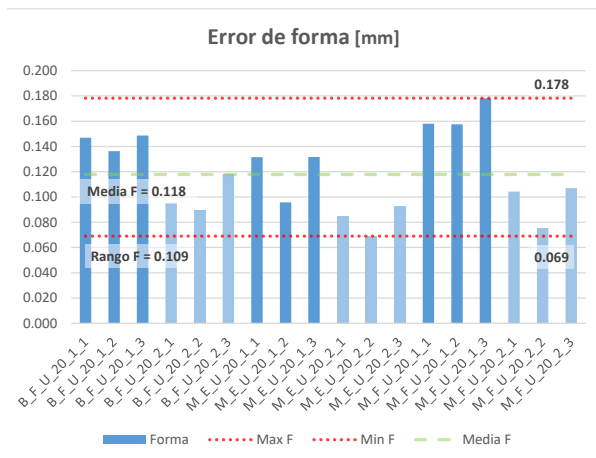
b)

Figura 3. Esferas descartadas por defectos en el proceso de fabricación. a) Con deformaciones por arrastre de material, b) Con interior “lattice”.

Para las 18 esferas a analizar se ha empleado una nomenclatura que las permite identificar según su forma (B-bala, M-seta), relleno (F-con soporte interno, E-sin soporte interno), orientación (U-esfera hacia arriba, D-esfera hacia abajo), diámetro en mm (20), espesor de pared en mm (1, 2) y posición en la bandeja (1, 2, 3). Los resultados de los valores obtenidos para el diámetro (figura 4a) y el error de forma (figura 4b) con la máquina de medir por coordenadas se presentan en las siguientes gráficas:



a)



b)

Figura 4. Diámetros (a) y Errores de forma (b) de las esferas Ø20mm obtenidos con la CMM

Las desviaciones máximas que se han encontrado en el diámetro oscilan entre +33 μm y -85 μm , mientras que para el error de forma las desviaciones han oscilado entre 69 μm y 178 μm . Si bien la precisión obtenida se encuentra en el orden de las centésimas en el diámetro y por debajo de las dos

décimas en el error de forma, estos valores se consideran, a priori, demasiado elevados para que las esferas se puedan considerar como elementos de referencia para cualificar sensores. Hay que tener presente que las esferas de cualificación/calibración que se emplean habitualmente tienen errores de forma mucho más bajos, incluso submicrométricos.

Analizando los residuos obtenidos en las nubes de puntos capturadas por contacto sobre las 18 esferas disponibles se puede destacar que todas ellas muestran un cierto error de ovalización en el plano horizontal (OXY) y cierto achatamiento en la dirección vertical (Z). Como ejemplo se representan en la figura 5 los residuos magnificados de la esfera M_F_U_20_1_1.

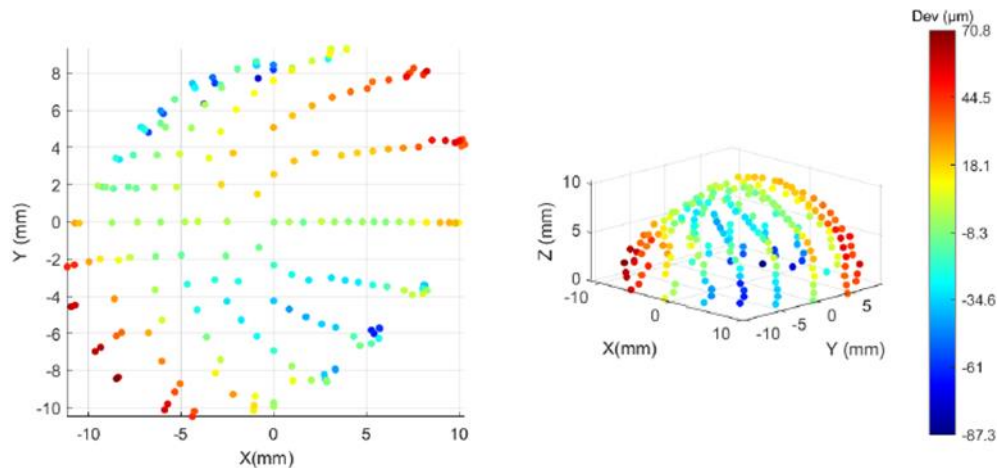


Figura 5. Residuos de la esfera M_F_U_20_1_1 con magnificación de desviaciones gráfica.

Observado lo anterior, se decidió analizar la influencia de los parámetros de proceso en los indicadores de calidad de las esferas, es decir, analizar si utilizar una esfera con diferente forma, relleno, espesor, orientación o posición en la bandeja de la máquina podría permitir alcanzar una geometría más cercana a la nominal (con menos desviación de diámetro y/o con menos error de forma). En último término, este análisis pretendía determinar si una cierta combinación de parámetros de diseño permitía alcanzar una esfera con menos deformación. De este análisis se destacan las siguientes correlaciones (*parámetros de diseño – DesvD o DesvF*):

- *DesvD*: Existe una cierta correlación entre la posición en la que se fabrican las esferas y la desviación de diámetro que muestran, siendo mejores las esferas fabricadas en las posiciones 1 o 3, seguidas de las fabricadas en la posición 2 (que resultaron en todos los casos de menor tamaño medio y mayor dispersión).
- *DesvF*: Existe correlación entre el espesor y el error de forma observado, *DesvF*, siendo menor en el caso de las esferas de espesor 2 mm que en las de 1 mm.
- *DesvF*: Existe correlación entre el relleno y el error de forma, siendo ligeramente mejores las esferas vacías (E) que las rellenas (F).
- *DesvF*: Existe cierta correlación, aunque poco concluyente, entre la posición y el error de forma, siendo las mejores esferas las de la posición 2, seguidas de la 1 y de la 3.

De estos resultados se concluye que las esferas de mayor calidad de forma se obtienen con espesor 2 mm, interior vacío y posición 2 de máquina. En lo que respecta a la dimensión, parece que las posiciones más interesantes son la 1 y la 3, no sólo por mostrar menor desviación respecto al valor nominal, sino también, por presentar menor dispersión en los valores de las diferentes esferas.

Con el fin de corroborar la existencia de las correlaciones mencionadas anteriormente se ha planteado un diseño de experimentos (DOE), a través de la herramienta Minitab, con los parámetros forma, relleno y espesor para ver su influencia en el error de forma. De acuerdo con el diagrama de

Pareto, el espesor y el relleno tienen influencia en el error de forma mientras que el parámetro forma apenas tiene contribución sobre el error de forma (figura 6).

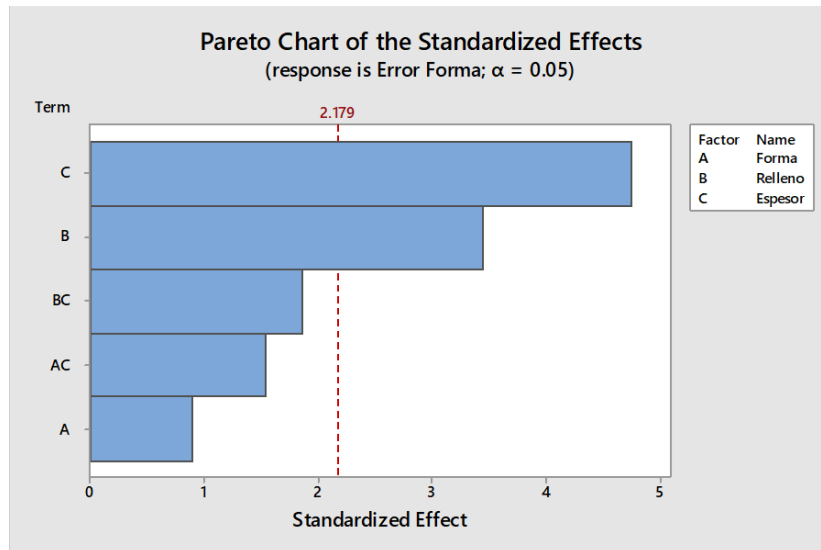


Figura 6. Efecto de los parámetros de diseño sobre el error de forma.

En cuanto a los resultados obtenidos en las mediciones realizadas con los sensores ópticos hay que señalar, en primer lugar, que las propiedades ópticas de la alúmina han permitido realizar escaneos con suficiente calidad con todos los equipos salvo con el Conoscan 4000. Con este equipo ha sido imposible obtener valores de SNR (Signal Noise Ratio) superiores a los mínimos necesarios ($SNR > 500$) para que los datos pudieran ser fiables. Por consiguiente, se han podido analizar tanto las nubes de puntos obtenidas mediante tecnología láser de triangulación como de luz estructurada descartando la tecnología conoscóptica.

Las diferentes nubes de puntos obtenidas han permitido contrastar las desviaciones encontradas en las esferas fabricadas mediante SLA y analizar comparativamente la capacidad de cada uno de los equipos de detectar esas mismas desviaciones observadas por contacto con la CMM.

A modo de resumen se presenta, en la figura 7, un gráfico comparativo de los resultados de desviación del diámetro y error de forma obtenidos con cada uno de los equipos de medición sin contacto (a excepción del Conoscan 4000) en cada una de las 18 esferas sometidas a análisis. Como se puede observar, el Handyscan (láser de triangulación manual) es el equipo que peores resultados aporta tanto en diámetro como en error de forma. Además, respecto a este último parámetro, los valores obtenidos con este sensor son los que menos se aproximan a los valores obtenidos por contacto y lo hacen de una forma heterogénea; de hecho, tres de esos valores han sido tan elevados que han quedado fuera del campo de representación.

Por otro lado, cabe resaltar que los equipos basados en triangulación láser han dado valores del diámetro por debajo de los valores de referencia (por contacto con la CMM), mientras que los valores de los equipos basados en tecnología láser de luz estructurada han sido superiores a esos valores de referencia.

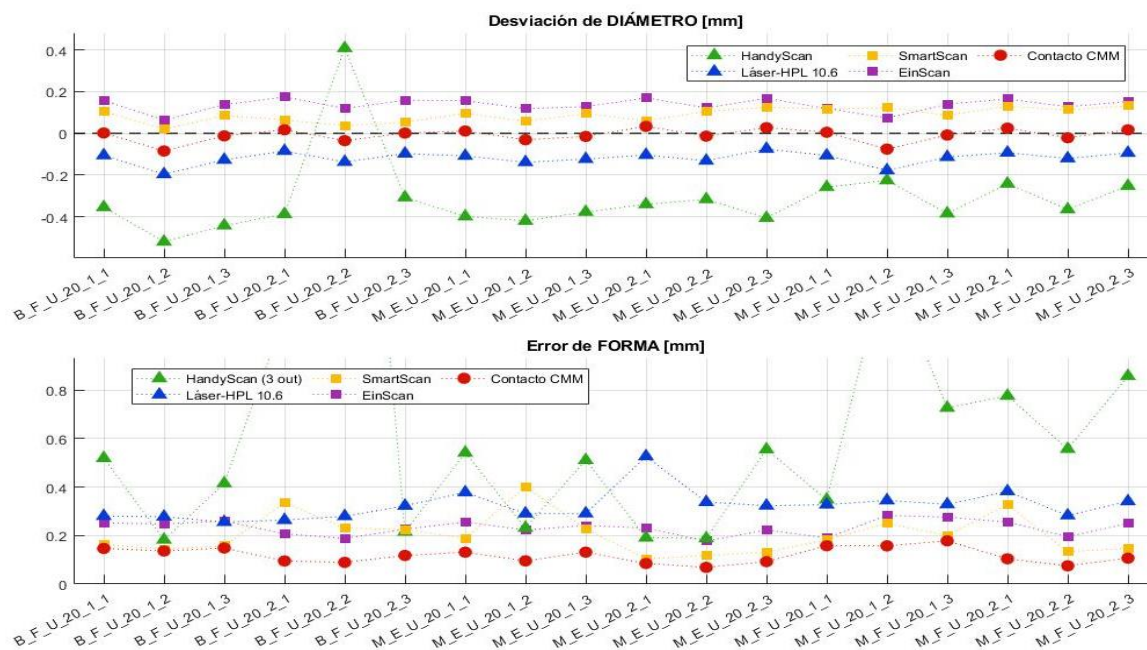


Figura 7. Desviación del diámetro y error de forma de las esferas medidas con todos los equipos.

5. Trabajos o necesidades futuras

A la vista de los resultados que se han mencionado en el apartado anterior, creemos que sería necesario, en primer lugar, investigar la procedencia de los errores que se han encontrado en la fabricación de las esferas, tanto si son de proceso como si son de máquina. En este sentido, se podrían definir y establecer los correspondientes procedimientos de compensación de errores que permitan obtener esferas de calidad suficiente como para que se puedan utilizar como elementos de calibración/cualificación de sensores ópticos. Para conseguir esto, será necesario previamente definir artefactos que, desde el punto de vista metrológico, tengan geometrías y características más sencillas de analizar que las esferas utilizadas en este proyecto.

Por otro lado, y gracias a la calidad conseguida en el proceso de fabricación de las esferas por SLA, es posible que se puedan utilizar como elementos de referencia para la metrología de coordenadas a gran escala, orientada a la medición de piezas con dimensiones lineales que varían desde un metro a varios metros. Para ello se podría plantear un nuevo proyecto consistente en diseñar, fabricar y validar algún tipo de sistema que, con elementos geométricos primitivos tipo esferas, colocados sobre soportes fabricados con materiales ligeros y estables térmicamente se pudieran cualificar distanciómetros láser de larga distancia.

6. Divulgación de los resultados

Continuando con el proceso divulgativo que se viene realizando periódicamente a partir de las experiencias investigadoras de convocatorias anteriores, una parte importante del trabajo está permitiendo la elaboración de un artículo a publicar en una revista indexada de alto impacto. Aún no está decidida la revista a la que se remitirá el trabajo si bien entendemos que, por su contenido, encajaría en aquellas cuya temática esté orientada a la metrología sin contacto y sensores ópticos o a aquellas que se dirigen hacia la fabricación aditiva. En cualquier caso, la experiencia del equipo

investigador permitirá acceder a publicaciones relevantes del tipo "Sensors" (MDPI), "Optics and Lasers in Engineering" (Elsevier), "The International Journal of Advanced Manufacturing Technology" (Springer) o Additive Manufacturing (Elsevier).

Por otro lado, es previsible que el análisis de los datos obtenidos facilite también la elaboración, para finales del próximo ejercicio, de una ponencia que se presentará al congreso MESIC-2025, organizado por la Sociedad de Ingeniería de Fabricación (11th Manufacturing Engineering Society International Conference). Para ello deberá elaborarse previamente el correspondiente resumen que se remitirá al comité científico a mediados de año para su aceptación.

En ambos casos, y de igual forma que en proyectos anteriores, se hará referencia expresa a la ayuda concedida en el correspondiente apartado de "Acknowledgements". A título informativo, la elaboración definitiva de los artículos se viene realizando y remitiendo a las revistas durante el segundo semestre del ejercicio siguiente al de la convocatoria del proyecto.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	4.900 €
Fungibles	2.000 €
Amortización	2.500 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc.)	260 €
TOTAL GASTOS	9.660 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.900 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0 €
Financiación propia		4.760 €
TOTAL INGRESOS		9.660 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-02

Diseño de mecanismos de ayuda a la cirugía abdominal por endoscopia.
DIMECIAEN

Fechas inicial y final del proyecto:

15 / I / 2023 al 31 / XII / 2024

Investigador/a Principal:

Jose Manuel Sierra Velasco

Otros investigadores:

José Ignacio Rodríguez Garcia, Marta Maria Villazón Suárez, Juan Díaz González

Personal contratado:

José Daniel Quindós González

Fechas inicial y final de contratación:

01 / IX / 2023 al 31 / XII / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

Se colabora con una empresa de Gijón del sector salud, MBA Surgical Empowerment.

Redes sociales de investigadores y empresas:

Resumen Gráfico



Figura 1. Resumen gráfico.

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Nuestro grupo de trabajo, lleva ya unos años dedicado a colaboraciones con clínicos para el desarrollo de distintos equipamientos quirúrgicos o dispositivos médicos, en concreto en esta línea de equipamiento para cirugía laparoscópica. Bajo el término cirugía endoscópica, se agrupan varias técnicas que implican la observación directa del interior de un órgano o cavidad mediante un instrumento óptico (un tubo con iluminación conectado a una cámara de vídeo y a un monitor de televisión) que se introduce (al igual que el instrumental quirúrgico) a través de orificios naturales del cuerpo humano o de la pared abdominal, como pueden ser la histeroscopia y la laparoscopia que, se trata de una cirugía mínimamente invasiva que ha supuesto un avance respecto a las intervenciones abiertas tradicionales, ya que es una técnica mucho más fiable y precisa, se presentan menos traumas posteriores y además los resultados estéticos son mejores.

El desarrollo de instrumental específico facilita el acceso del cirujano al lugar de intervención. Sin embargo, el propio cirujano en su práctica diaria, detecta nuevas posibilidades de ayuda a estas operaciones. En este proyecto, un equipo de cirugía e ingeniería plantea el diseño de un dispositivo de ayuda a la cirugía endoscópica, para la sujeción y separación de tejidos, y que pueda ser introducido por el orificio de un trocar

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tal como se indica en la solicitud, se desea diseñar una plataforma plegable a introducir en una cirugía abdominal mediante endoscopia por el agujero de un trocar. Con ello se facilita la cirugía abdominal y se permite mantener el tamaño mínimo de las incisiones. Para ello:

Se ha realizado una revisión bibliográfica científica.

Se han analizado los mecanismos disponibles en el mercado.

Se ha planteado un diseño conceptual, con varias opciones de pinzas para uso en laparoscopia, alguna se ha impreso por fabricación aditiva para test.

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Diseño conceptual de pinzas laparoscópicas		60%
Secundario/ Específico	Fabricación de prototipos por impresión 3D		100%
Secundario/ Específico	Prueba funcional de los dispositivos impresos		60%
Secundario/ Específico	Análisis bibliográfico		50%
Secundario/ Específico	Formación de becario en tareas de búsqueda de información, bibliografía, manejo software modelado sólido, trabajo autónomo		100%
Secundario/ Específico	Informe final		100%
Secundario/ Específico	Publicaciones relacionadas con resultados		25%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Revisión bibliográfica						
Tarea 1.1	Búsqueda de patentes (OEPM) y artículos.						
Fase 2	Mecanismos existentes de aplicación						

Tarea 2.1	Mecanismos utilizados en aplicaciones similares						
Tarea 2.2	Adecuación de mecanismos a función propuesta						
Fase 3	Diseño conceptual						
Tarea 3.1	Modelado sólido de los diseños propuestos						
Tarea 3.2	Construcción por fabricación aditiva y ensayo						

Figura 2. Planificación del proyecto

4. Resultados obtenidos:

Pensando en la cirugía laparoscópica y la instrumentación utilizada, se ha decidido realizar la creación de un sistema de pinzado del intestino para facilitar el proceso, impidiendo el paso de distintos elementos que fluyen a través del mismo durante el tiempo que tarde en finalizarse el procedimiento quirúrgico.

Como apunte, todos los sistemas estarán diseñados con la idea de poder introducirse mediante unas pinzas laparoscópicas (de comercio), o un útil similar diseñado para el caso, a través del trocar, una vez colocados en posición de trabajo se soltarán de la pinza. Posteriormente podrán ser retirados de forma similar.



Figura 2. Trocar utilizado en cirugía laparoscópica.



Figura 3. Pinza laparoscópica

Para este primer proceso, se han cogido conceptos de funcionamiento de instrumentos y objetos de uso cotidiano con mecanismos que podrían ser viables para la creación de nuestro objetivo.

Las dimensiones se han estudiado de una forma estandarizada respetando las características de los instrumentos de acceso a la zona de pinzamiento. Priorizamos que el diámetro del conjunto no supere los 10-12mm y que la zona de cierre sea de aproximadamente 60mm para que el cierre del intestino grueso sea completo.

En caso de que las características del intestino del paciente sean diferentes a las habituales podrían diseñarse unas pinzas específicas que cumpliesen las necesidades del mismo.

Se han modelizado varios tipos de dispositivos, ver fig. 3:



Figura 3. Primeros modelos y prototipos

A continuación fig. 4, se muestran algunos de los prototipos impresos en 3D con diferentes características en cuanto a dimensiones y sistemas de cierre.

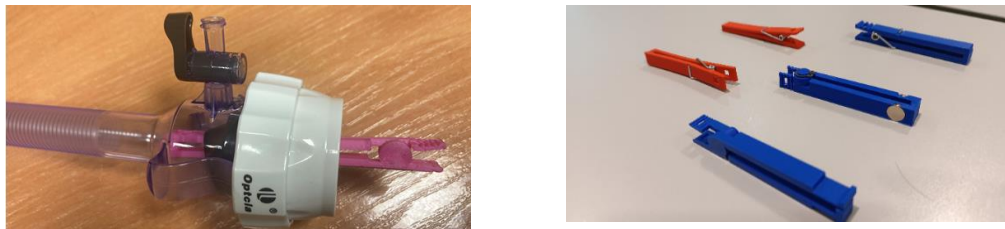


Figura 4. Dispositivos impresos.



Figura 5. Introducción a través de trocar

En estos momentos se están finalizando los diseños, y se iniciaran las primeras pruebas.

En principio, alguno de los sistemas propuestos parece cumplir las expectativas en cuanto a funcionalidad y dimensiones, queda aún un camino por recorrer, pero las tareas realizadas en estos meses con la beca IUTA, han sido sin duda de gran ayuda.

5. Trabajos o necesidades futuras

Los diseños propuestos durante los meses que ha cubierto la beca, han permitido demostrar la viabilidad de la propuesta, en un futuro deseamos seguir desarrollando todos los diseños conceptuales planteados, aprovechando también una nueva serie de materiales “elásticos”, deformables, que permiten diseños que buscan aprovechar la flexibilidad de estos materiales, para desarrollar sistemas de “clipaje” simples, adecuados para ser introducidos a través de los orificios utilizados para laparoscopia (trocares), y manejables con las pinzas y accesorios utilizados en estas técnicas.

6. Divulgación de los resultados

Normalmente se envían comunicaciones a congresos específicos relacionados, en concreto el año pasado se enviaron dos ponencias al congreso SEIQ (Sociedad Española de Investigadores Quirúrgicos). Es nuestra intención proceder de igual modo este año próximo.

Memoria económica:

1. Gastos:

Añade los gastos finales que has tenido a lo largo del proyecto.

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.000 €

Fungibles	400 €
Amortización	100 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	
TOTAL GASTOS	3.500 €

2. Ingresos:

Añade los ingresos finales que has tenido a lo largo del proyecto. Indica las empresas y las referencias de los proyectos/contratos.

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.000 €
Otras entidades / empresas financiadoras		
Financiación propia		500 €
TOTAL INGRESOS		3.500 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-03

Desarrollo de dispositivo inercial para control velocidad de dosificación en dispositivos de inyección de fluidos intramusculares. DIVEDIF

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / IX / 2023 al 24/XII/23

Investigador/a Principal:

María del Rocío Fernández Rodríguez

Otros investigadores:

José Luis Cortizo Rodríguez; Modesto Cadenas Fernández; Paula Zurrón Madera

Personal contratado:

Juan Carlos Sánchez Velasco

Fechas inicial y final de contratación:

01 / IX / 2023 al 24 / XII / 2023

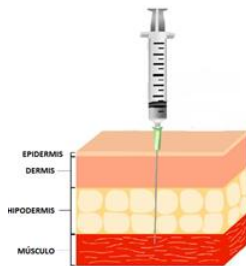
Empresas o instituciones colaboradoras:

Se colabora con una empresa de Gijón del sector salud, Termo Salud
C/ Ataúlfo Frieria Tarfe, nº 8 33211
Gijón, Asturias
+34 985 167 547
info@termosalud.com

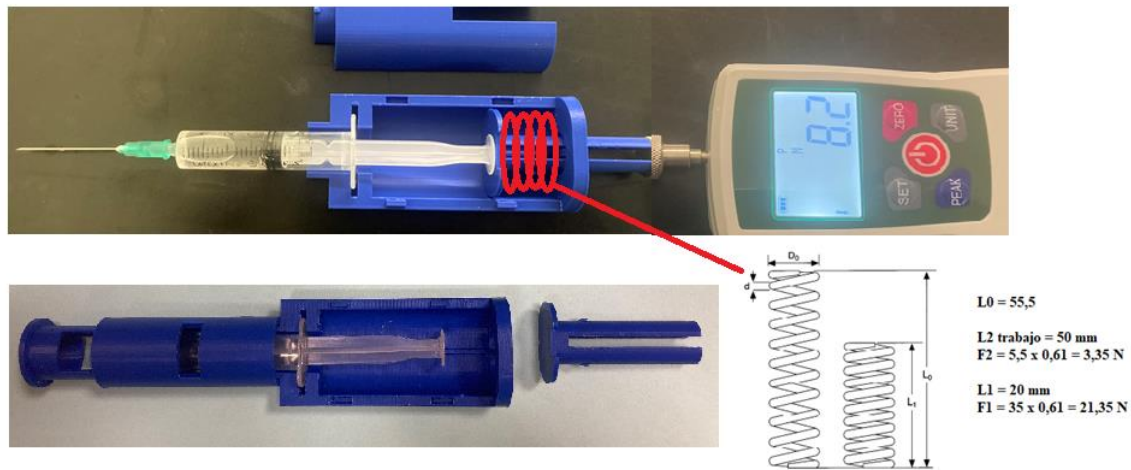
Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://www.termosalud.com/>

Resumen Gráfico



Sistema de dosificación de medicamentos, personalizado, seguro y automatizado con ayuda de dosificador actuado por resorte de compresión.



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Nuestro grupo de trabajo, lleva ya unos años dedicado a colaboraciones con clínicos para el desarrollo de distintos equipamientos quirúrgicos o dispositivos médicos, en concreto en esta línea de equipamiento para dosificación segura de medicación, llevamos colaborando desde el año 2020 con la enfermera y profesora de la Universidad Paula Zurrón. Se plantea el desarrollo de un dispositivo para administración de medicación a pacientes agitados. Un dispositivo que se diferencia claramente de los existentes para auto-inyección (insulina, oncología, etc) en cuanto a requisitos de volumen de dosis, preparación previa y seguridad de administración muy diferentes.

Se trabaja en el desarrollo de un dispositivo inercial que permita controlar la velocidad del émbolo actuado por un resorte de compresión, con un husillo de paso variable. Tanto el husillo, que se desplazará longitudinalmente con el émbolo, como la tuerca, que permanecerá fija y girará, contribuyendo con su inercia de giro al control de la velocidad de desplazamiento del émbolo actuado por el resorte, serán diseñados por modelado sólido y construidos por fabricación aditiva (concretamente FDM), en varios materiales, y serán ensayados para verificar la idoneidad de su diseño, tamaño, inercia, etc.

En una primera fase, se debe diseñar el sistema que aloja la inyección con la dosificación establecida. Se diseña de modo que permita alojar en su interior una jeringuilla desechable de uso común, con la capacidad indicada de medicación. De este modo el dispositivo puede ser reutilizado y recargado. Los sistemas de seguridad pasan por el bloqueo de dispositivos de protección de la aguja, el uso del dispositivo con una sola mano, la administración a velocidad controlada y la verificación de la adecuación de la zona de punción.

Desde el punto de vista del diseño, se ha de realizar el análisis de los elementos del soporte, de las fuerzas implicadas en los resortes necesarios, para conseguir con el dispositivo inercial el control de la velocidad de aplicación del medicamento que resulte segura para el paciente.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Diseño dispositivo inercial control de velocidad		60 %
Secundario/ Específico	Análisis dispositivos inerciales utilizados para otras aplicaciones conocidas		95 %
Secundario/ Específico	Análisis bibliografía científica		95 %
Secundario/ Específico	Diseño conceptual dispositivo soporte de jeringuilla		95 %
Secundario/ Específico	Estudio características de los resortes		80 %
Secundario/ Específico	Estudio velocidades de dosificación		80%
Secundario/ Específico	Construcción de un banco de ensayo		70 %
Secundario/ Específico	Protección del trabajo desarrollado mediante patente en colaboración con la empresa		80 %

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES			
		sept	oct	nov	dic
Fase 1	Diseño del dispositivo de sujeción de jeringuilla				
Tarea 1.1	Análisis bibliográfico y de dispositivos inerciales				
Tarea 1.2	Diseño sistema seguridad zona punción				
Tarea 1.3	Diseño sistema seguridad protección aguja				
Tarea 1.4	Diseño mecanismos para succión				
Tarea 1.5	Diseño mecanismos aplicación medicamento				

Fase 2	Diseño mecanismos control fuerza y velocidad				
Tarea 2.1	Análisis de fuerzas en muelles				
Tarea 2.2	Elaboración banco ensayos				
Tarea 2.3	Diseño mecanismo inercial				
Tarea 2.4	Protección de idea empresa-universidad				
Tarea 2.5	Elaboración informe desarrollo proyecto				

Fase 1: Diseño del dispositivo de sujeción de jeringuilla

El sistema de control planteado se ejecuta para la administración segura de medicamentos. El proyecto parte de un trabajo anterior en que se planteaba un sistema de administración segura de medicamentos, únicamente un diseño previo de la carcasa. Sin embargo, la necesidad de realizar un ajuste en la velocidad de administración ha llevado la modificación de todo el modelado sólido, con la impresión de varios dispositivos mediante impresión 3D sobre los que se han realizado varias pruebas de uso para llegar al diseño que actualmente consideramos como definitivo.

Fase 2: Diseño mecanismos control fuerza y velocidad

Para la administración segura de fluidos es necesario no sólo proteger al técnico que la administra de un posible pinchazo accidental, la zona de punción se debe controlar y también la fuerza y velocidad con que el fluido entra en la capa correcta de la masa muscular de la persona que la recibe. Para ello, en una segunda fase es necesario establecer la fuerza y dimensiones correctas de los muelles que activarán los distintos mecanismos, así como el diseño del paso y dimensiones del dispositivo inercial que da nombre al proyecto.

En este sentido, y dado que el proyecto ha comenzado en septiembre, se ha llevado a cabo el análisis de características de los resortes. No obstante, a día de hoy, la fase del diseño del sistema inercial se encuentra en un estado inicial, y se le dará continuidad con posterioridad.

4. Resultados obtenidos:

Se ha diseñado un dispositivo que:

- orienta la aguja para una inyección intramuscular (de 36 a 55 mm) perpendicularmente a la superficie cutánea
- protege tanto a técnicos como pacientes de pinchazos no deseados
- evita la introducción de fluidos en el torrente sanguíneo
- realiza la administración del fluido a velocidad controlada

5. Trabajos o necesidades futuras

Se desea dar continuidad al proyecto mediante el diseño de un banco de ensayos que permita verificar y trasladar a la sociedad el dispositivo diseñado.

Sobre el diseño del dispositivo realizado se desean realizar pruebas de optimización de resistencia en distintos materiales o técnicas de fabricación, como por ejemplo el mecanizado de materiales plásticos

6. Divulgación de los resultados

En la actualidad el dispositivo se encuentra sometido al proceso de protección conjunta de la Universidad de Oviedo y la empresa Termosalud. No está prevista la publicación o divulgación por el momento de los resultados de este trabajo.

Cuando se haya cumplido la fase de protección se pretende la publicación de los trabajos en revistas de reconocido prestigio en el ámbito del diseño de dispositivos.

Memoria económica:

1. Gastos:

Añade los gastos finales que has tenido a lo largo del proyecto.

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.200 €
Fungibles (materiales impresión, elementos mecánicos)	400 €
Amortización	500 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	200 €
TOTAL GASTOS	4.300 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.200 €
Otras entidades / empresas financiadoras		X.XXX €
Financiación propia		1.100 €
TOTAL INGRESOS		4.300 €

Bibliografía:

<https://drug-dev.com/device-design-autoinjector-design-adjustment-to-control-needle-insertion-initial-injection-speed-could-this-positively-impact-drug-delivery/>



SANCHEZ RAMOS, J.J.. Estudio y caracterización del Autoinyectable de atropina-oxima DEF: diseño de nuevos Autoinyectables para Defensa NBQ y otros medicamentos de urgencia. Sanid. Mil. [online]. 2014, vol.70, n.1, pp.7-19. ISSN 1887-8571. <https://dx.doi.org/10.4321/S1887-85712014000100002>.

US2012101475A1 High Efficiency Auto-Injector

US2012130342A1 Autoinjector Having an Outer Packaging and a Needle Sheath Removing Means

US2013281934A1 Slip-Resistant Autoinjectors

US2013274707A1 Three-Chambered Autoinjector

CA2637147A1 Improved Autoinjector Supporting the Syringe at the Front

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-04

Caracterización de aceros obtenidos por fabricación aditiva y su resistencia a la fragilización por hidrógeno mediante el ensayo Small Punch Test (AM-HE-SPT)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

Guillermo Álvarez Díaz

Otros investigadores:

María Cristina Rodríguez González

Francisco Javier Belzunce Varela

Miguel Lozano García

Alfredo Manuel Zafra García

Personal contratado:

Miguel Llanea Baamonde

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

Know-How Innovative Solutions

Bezzier

Redes sociales de investigadores y empresas:

Grupo de investigación: <https://simumecamat.grupos.uniovi.es/>

Guillermo Álvarez Díaz: <https://scholar.google.es/citations?user=sYMzdnEAAAAJ&hl=es>

M^a Cristina Rodríguez González: <https://scholar.google.es/citations?user=r8WmKAAAAAJ>

Javier Belzunce Varela: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004078654>

Miguel Lozano García: <https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Lozano-Garcia>

Alfredo Zafra García: <https://scholar.google.es/citations?user=W9upL5sAAAAJ&hl=es>

Miguel Llanea Baamonde: [linkedin.com/in/miguel-llanea-baamonde](https://www.linkedin.com/in/miguel-llanea-baamonde)

Know-How Innovative Solutions: <http://khisgroup.com/>

Bezzier: <https://www.bezzier.com/home>

Resumen Gráfico

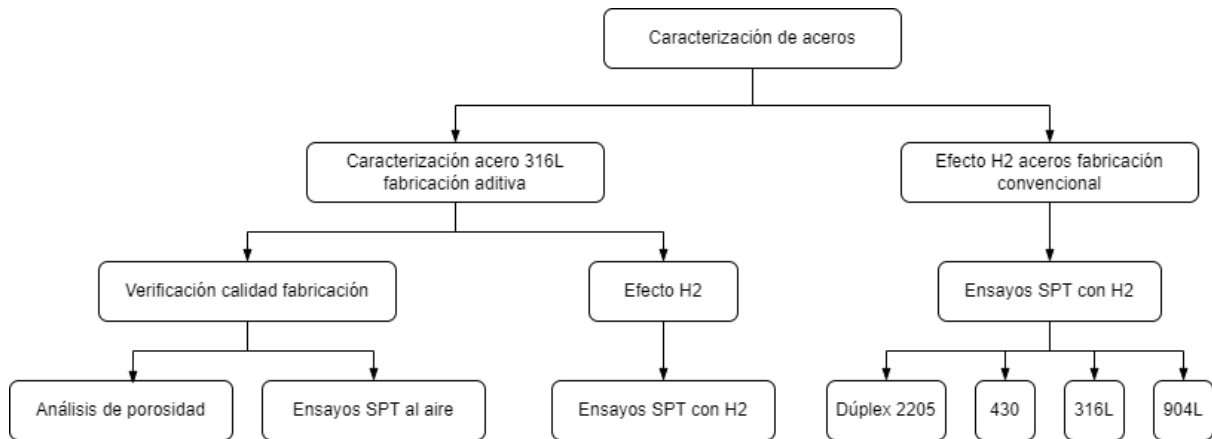


Figura 1. Resumen gráfico.

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El desarrollo tecnológico que ha tenido lugar en la sociedad durante las últimas décadas ha supuesto que el consumo energético global se haya incrementado en gran medida. Esto ha hecho que se tengan que implantar nuevas técnicas para la obtención de energía con el fin de dar servicio a esta demanda de manera sostenible con el medio ambiente. Para alcanzar estos objetivos y, en virtud de su gran capacidad de almacenamiento de energía a un coste relativamente bajo, el hidrógeno tiene un papel muy importante. Sin embargo, para que el uso de hidrógeno sea determinante en la descarbonización, su producción debe realizarse a partir de energías renovables, con objeto de conseguir eliminar por completo las emisiones de CO₂ y obtener así el llamado hidrógeno verde.

El principal problema del uso de este elemento deriva de su transporte y almacenamiento. El hidrógeno no puede ser consumido directamente en el punto en el que es generado por lo que se requiere de su almacenamiento y/o transporte en depósitos y tuberías a presión. Con el fin de soportar las presiones requeridas para poder almacenar un volumen considerable de hidrógeno, estos elementos han de ser de acero lo cual genera un nuevo problema conocido como la fragilización por hidrógeno.

El hidrógeno es el elemento con menor radio atómico de la tabla periódica por lo que es inevitable que este se introduzca en el interior del material. Al hacerlo, tenderá a acumularse en zonas concretas de la microestructura lo que provocará una disminución de la resistencia mecánica del componente.

Paralelamente, la producción de componentes de acero está sufriendo una gran evolución con la utilización de la fabricación aditiva. Esta técnica permite reducir costes además de residuos durante la obtención. Además, diferentes estudios confirman el mejor comportamiento de estos materiales frente a la producción por métodos convencionales debido a la microestructura generada. Por tanto, este proyecto se centra en la caracterización de aceros obtenidos por fabricación aditiva y su comportamiento frente a la fragilización por hidrógeno.

Metodología y resultados

Este estudio se ha efectuado sobre un acero inoxidable 316L, el cual ha sido producido mediante fabricación aditiva (Laser Powder Bed Fusion). Esta técnica de fabricación suele presentar defectos en el material por lo que, además de estudiar su susceptibilidad a la fragilización por hidrógeno, se ha verificado su calidad de fabricación. Además, se ha efectuado una comparativa con respecto a ese mismo acero fabricado por métodos convencionales, junto con otras aleaciones.

La calidad del acero inoxidable 316L producido a partir de fabricación aditiva fue verificada mediante la realización de un análisis de porosidades y ensayos en miniatura de punzonamiento o Small Punch Test (SPT). Las probetas a ensayar fueron obtenidas de un bloque de este material del cual se extrajeron láminas a diferentes alturas de impresión, lo cual permitirá analizar si existe una variación en la calidad del acero durante el proceso (Figura 2). A su vez el ensayo SPT permite obtener variaciones de las propiedades mecánicas a lo largo de la lámina.

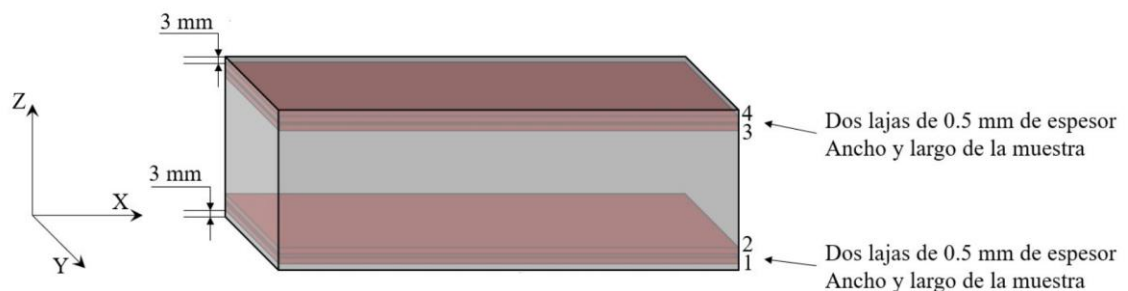


Figura 2. Esquema de la posición de toma de muestras

El análisis de porosidades se realiza con un microscopio óptico el cual permite obtener imágenes de detalle de la superficie del material. Los resultados muestran la presencia de poros de tamaño considerable (distribuidos sin ningún patrón) que pueden afectar a los resultados.

Para los ensayos SPT, se emplean unas probetas de pequeño tamaño y espesor a las que se les aplica una fuerza sobre una de las caras de la probeta mediante un punzón metálico hasta provocar su rotura. Se ha obtenido una variabilidad en los ensayos que no sigue un patrón claro en lo que a posición y altura de capa se refiere. Además se ha comparado con la posición y el tamaño de los defectos observados y tampoco se aprecia una clara correlación, por lo que se considera que esta variable no tiene efecto sobre el resultado final.

El análisis de la susceptibilidad de este material a la fragilización por hidrógeno se ha efectuado llevando a cabo ensayos SPT bajo la presencia de hidrógeno. Para ello, se emplean probetas cargadas electroquímicamente con un electrolito ácido ($\text{H}_2\text{SO}_4 + 0,25\text{As}_2\text{O}_3$ g/L) o uno salino ($\text{H}_2\text{O} + 3\%\text{NaCl}$) e introduciendo el hidrógeno antes de la realización del ensayo (hidrógeno interno o ensayo exsitu), o durante la realización de este (hidrógeno externo o ensayo insitu). Adicionalmente, se utilizaron dos densidades de corriente, $0,5 \text{ mA/cm}^2$ y 5 mA/cm^2 , a temperatura ambiente y a 80°C (con el fin de acelerar el proceso de carga de hidrógeno). Los resultados indican que, bajo condiciones de temperatura ambiente, el material no se ve afectado por el hidrógeno, independientemente del electrolito empleado y el método de carga. Sin embargo, se aprecia una fragilización considerable en probetas

precargadas 2 semanas en medio salino a 80°C bajo una densidad de corriente de 5 mA/cm², viéndose incrementado este efecto hasta las 5 semanas de carga.

A efectos de comparar estos resultados con el comportamiento de otros materiales, se realiza un estudio similar para las aleaciones de fabricación por métodos convencionales: 316L, dúplex 2205, 430 y 904L. Estos ensayos fueron realizados con los dos electrolitos descritos previamente bajo unas condiciones de carga establecidas: carga in-situ, temperatura ambiente y densidad de corriente de 0,5 mA/cm². Además, estos resultados fueron comparados con materiales previamente estudiados en el grupo de investigación Todos los aceros se vieron afectados por el hidrógeno en mayor o menor medida salvo la aleación 904L que no tuvo efecto alguno.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Grado de consecución
Principal	Caracterización de las propiedades mecánicas del acero AM316L y su comportamiento frente a la fragilización por hidrógeno	100% - 100%
Secundario/ Específico	Verificar la calidad de la aleación de acero inoxidable 316L de fabricación aditiva	100% - 100%
Secundario/ Específico	Determinar la influencia de la dirección de impresión en las propiedades mecánicas mediante el ensayo SPT.	100% - 100%
Secundario/ Específico	Determinar las propiedades mecánicas de la pieza impresa en diferentes localizaciones, analizando la influencia de la altura y distancia al centro, mediante el mecanizando de muestras SPT.	100% - 100%
Secundario/ Específico	Estudiar el fenómeno de fragilización por hidrógeno haciendo uso del ensayo SPT	100% - 100%
Secundario/ Específico	Realizar una interpretación exhaustiva de los resultados y extraer conclusiones fundamentales.	100% - 100%
Secundario/ Específico	Analizar la susceptibilidad al hidrógeno de distintas aleaciones de fabricación por colada continua	100% - 100%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Gestión del proyecto						
Tarea 1.1	Coordinación y gestión del proyecto						
Tarea 1.2	Revisión bibliográfica						
Fase 2	Realización del proyecto						
Tarea 2.1	Planificación y mecanización de probetas						
Tarea 2.2	Determinación del comportamiento mecánico sin interacción con hidrógeno						
Tarea 2.3	Determinación del comportamiento mecánico con interacción con hidrógeno						
Tarea 2.4	Análisis global de los resultados e informe						
Tarea 2.5	Divulgación de resultados						

Figura 3. Planificación del proyecto.

○ Fase 1: Gestión del proyecto

○ Tarea 1.1: Coordinación y gestión del proyecto

Se realizaron reuniones periódicas cada 2 semanas con el fin de llevar un seguimiento activo de la investigación. En estas reuniones se convocará a los investigadores responsables de la universidad en función de la fase del proyecto. Además, cada mes se realizará una reunión con carácter informativo con las empresas colaboradoras.

○ Tarea 1.2: Revisión bibliográfica

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva del método de impresión y como este puede afectar a las propiedades del material estudiado. También fue necesario revisar la influencia del hidrógeno en este material y la correspondiente al ensayo SPT con y sin hidrógeno.

○ Fase 2: Caracterización del efecto del hidrógeno sobre diferentes aceros

○ Tarea 2.1. Planificación y mecanización de probetas

Tras una revisión bibliográfica inicial se planificó la posición y dimensiones del tipo de probetas a mecanizar. Estas se enviaron a un taller de mecanizado especializado (Idonial centro tecnológico).

○ Tarea 2.2. Determinación del comportamiento mecánico sin interacción con hidrógeno

En primer lugar, se llevó a cabo el análisis de defectos en el acero AM316L y los ensayos SPT. Para ello se hizo uso del laboratorio de Resistencia de Materiales del Campus de Gijón. Posteriormente se analizaron los datos y se extrajeron las conclusiones pertinentes de la afección del proceso de fabricación. Además también se realizaron los ensayos en el resto de materiales mencionados anteriormente.

- **Tarea 2.3. Determinación del comportamiento mecánico con interacción con hidrógeno**

Una vez obtenidas las condiciones estándar del AM316L se realizaron los ensayos en condiciones de hidrógeno. Para ello se utilizaron de nuevo las instalaciones y equipamiento del laboratorio de Resistencia de Materiales. Los resultados obtenidos se compararon con los del punto anterior, pudiendo observar cual es la influencia del hidrógeno en este tipo de material haciendo uso del ensayo SPT. Además se hicieron bajo las mismas condiciones de hidrógeno en el resto de materiales comparando los resultados con y sin hidrógeno y su grado de susceptibilidad.

- **Tarea 2.4. Análisis global de los resultados e informe**

Se han extraído los resultados finales del proyecto pudiendo analizarlos de manera conjunta. Finalmente con estos datos se ha escrito el presente informe donde se detalla el contexto y motivación de la investigación, los procedimientos experimentales, resultados, discusión y conclusiones extraídas del proyecto.

- **Tarea 2.5. Divulgación de resultados**

Los resultados se difundirán en el congreso del Grupo Español de Fractura 2024 así como posiblemente en revistas científicas de alto índice de impacto.

4. Resultados obtenidos:

Se comienza el estudio con el análisis de porosidades. La Figura 4 y 5 muestran los resultados obtenidos de este estudio estando las imágenes ubicadas en la posición que ocuparían en la laja.

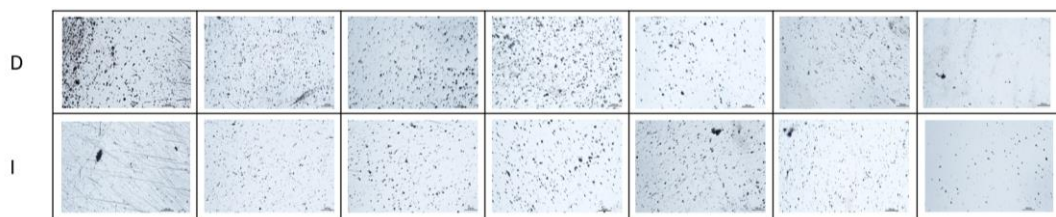


Figura 4. Mapa de porosidades de la cara superior de la laja 1.

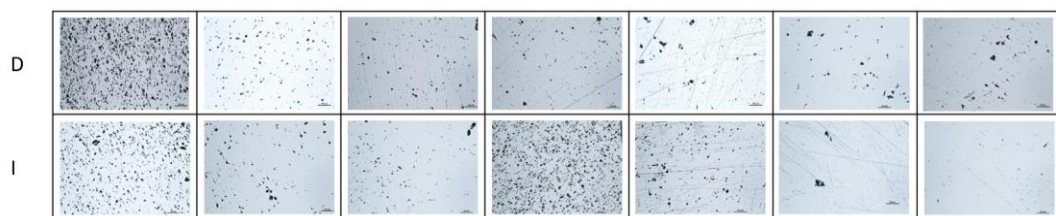


Figura 5. Mapa de porosidades de la cara inferior de la laja 4.

Se puede apreciar como el material dispone de algunos poros de un tamaño considerable a lo largo de toda la laja que podrían llegar a afectar a los resultados obtenidos. Adicionalmente, se puede apreciar cómo alguna de las probetas, como las ubicadas a la izquierda de ambas lajas, tienen una porosidad considerable.

Conocidos estos valores de porosidad, se procede a la realización de ensayos SPT para tratar de identificar diferencias entre las dos lajas ensayadas. La Figure 6 muestra gráficamente todos los resultados obtenidos para las lajas 2 y 3.

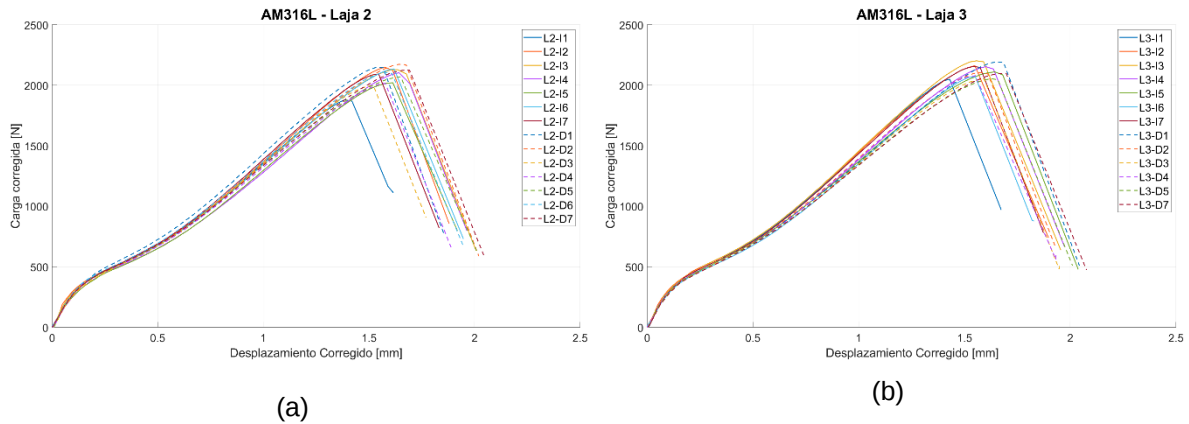


Figura 6. Resultados SPT sin hidrógeno. (a) laja 2; (b) laja 3.

Se puede apreciar cómo hay una variabilidad considerable en los valores de carga máxima de los ensayos efectuados para este material. Cabe destacar cómo las probetas I1 de ambas lajas ofrecen resultados inferiores a la media debido al bajo espesor de ambas muestras. Sin embargo, tras analizar los resultados gráficos en función de su posición en la laja, no se ha podido identificar una clara dependencia con este parámetro.

Para ratificar esta suposición, se aplica una correlación a los valores numéricos obtenidos del ensayo con la que obtener una equivalencia a la tensión máxima (σ_u) y el límite elástico (σ_y) del material. Estos valores se representan en formato de mapas de color para tratar de identificar alguna similitud en lo que a posición se refiere. A continuación, en la Figura 7 se muestran las equivalencias empleadas junto con los mapas de color obtenidos.

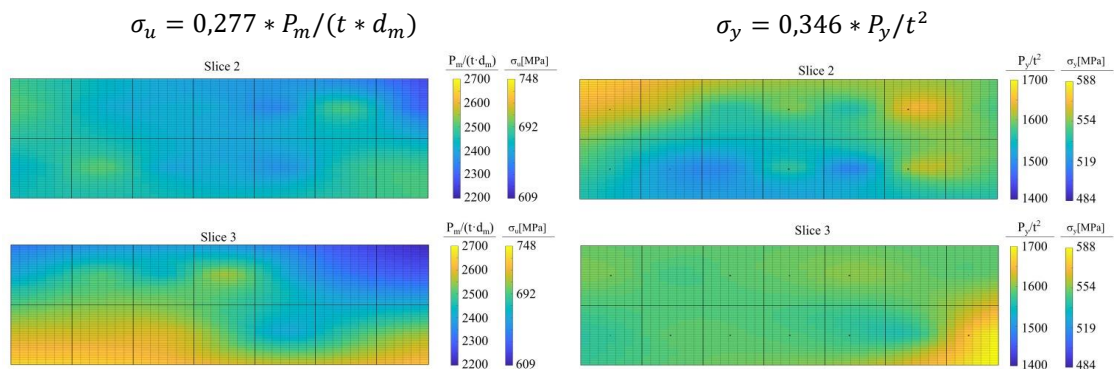


Figura 7. Mapa de color de los valores de límite elástico y tensión máxima para el acero AM316L obtenidos con el ensayo SPT sin hidrógeno en las distintas posiciones.

Como se mencionó anteriormente, no se puede identificar una dependencia clara de la variabilidad de los resultados con la posición y los defectos durante la fabricación. Debido a esto, para la caracterización bajo condiciones de hidrógeno se considera que el material es homogéneo y se deja de realizar una distinción en cuanto a la posición de la misma.

Para el análisis de la susceptibilidad a la fragilización por hidrógeno se comienza el estudio realizando cargas electroquímicas a temperatura ambiente con el electrolito ácido y variando la densidad de corriente y el momento en el que se efectúa la carga. La Figura 8 muestra una comparativa de los resultados obtenidos con algunos de los ensayos al aire.

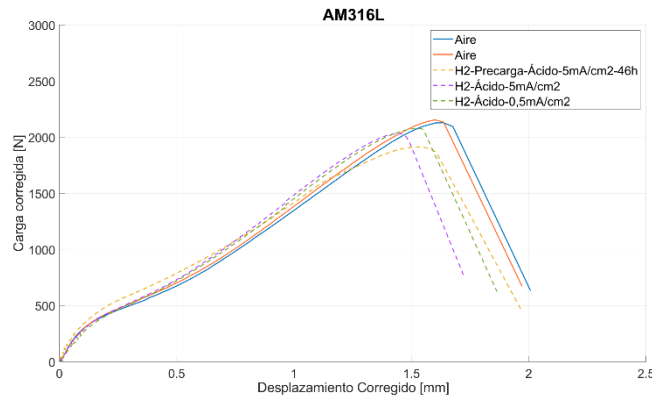


Figura 8. Resultados SPT con hidrógeno a temperatura ambiente para el acero AM316L.

Se han conseguidos unos resultados similares a los ensayos al aire por lo que el hidrógeno no ha tenido efecto en el AM316L. Con el fin de comprobar bajo qué condiciones este material comienza a ser susceptible al hidrógeno se decide establecer unas condiciones de carga más severas con precargas de al menos dos semanas bajo una densidad de corriente de 5 mA/cm^2 a 80°C en electrolito salino. Con estas condiciones de carga se incrementa el efecto fragilizante del hidrógeno sobre el material a medida que aumentan los tiempos de precarga (Figura 9). Además, se puede apreciar cómo se han realizado dos ensayos con un mismo tiempo de carga de 5 semanas con la única diferencia de que en uno de ellos se aplica hidrógeno in-situ y en el otro no. El segundo de ellos alcanza una fragilización superior a pesar expuesto a hidrógeno durante un tiempo menor. Esto indica que se introdujo una mayor cantidad de hidrógeno en esta probeta durante la precarga. Además también puede establecerse que el ensayo SPT permite observar la fragilización con hidrógeno interno (al menos para el material AM316L el cual muestra un coeficiente de difusión muy bajo).

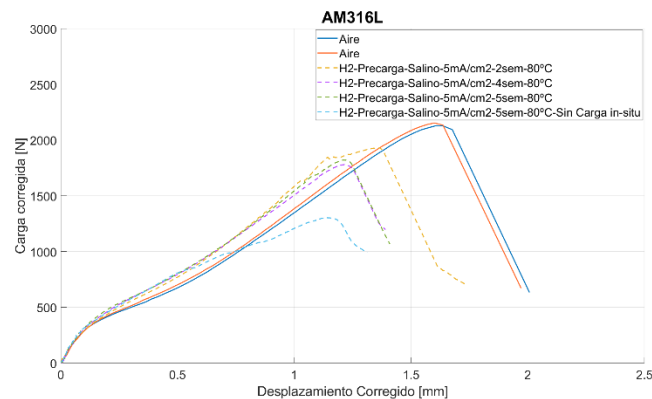


Figura 9. Resultados SPT con hidrógeno a 80°C para el acero AM316L.

Finalmente, se ensayan materiales de fabricación convencional con y sin hidrógeno bajo las condiciones estándar definidas previamente. La Figura 10 muestra la representación gráfica de los resultados.

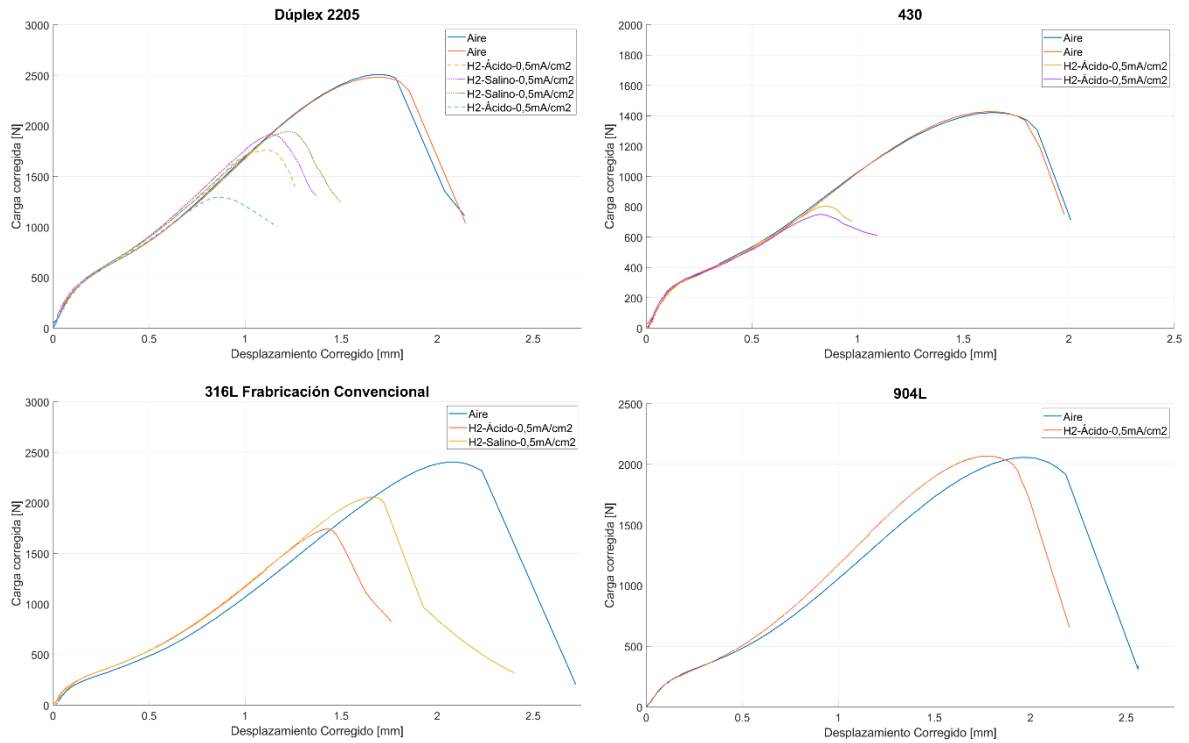


Figura 10. Resultados obtenidos para distintas aleaciones para condiciones estándar de carga de hidrógeno.

Se puede apreciar cómo el acero 316L de colada continua es mucho más susceptible a la fragilización por hidrógeno que el de fabricación aditiva. Adicionalmente, se puede distinguir cómo el electrolito ácido dispone de un mayor efecto fragilizante al electrolito salino (genera más hidrógeno) y cómo el acero 904L es el único que no se ve afectado por el hidrógeno.

Por último se decidió realizar un mapa de susceptibilidad de los diferentes aceros estudiados en electrolito ácido bajo las mismas condiciones de ensayo (Figura 11). En este sentido se puede observar como el acero objeto de estudio (AM316L) tiene una resistencia al hidrógeno mucho superior al resto de aceros con los que se ha comparado. El único acero con resistencia similar al AM316L es el acero 904L, sin embargo, el límite elástico es prácticamente la mitad.

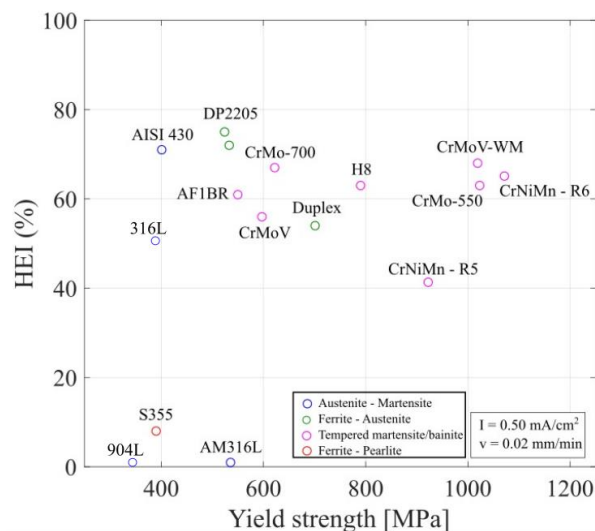


Figura 11. Susceptibilidad al hidrógeno de distintas aleaciones para condiciones similares de hidrógeno.

5. Trabajos o necesidades futuras

Para completar el estudio es necesario seguir realizando ensayos SPT con hidrógeno para ver cuál es la evolución del comportamiento de diferentes aceros bajo distintas condiciones de ensayo. El siguiente paso será realizar estos ensayos con hidrógeno gas a presión para tratar de replicar de una manera más adecuada las condiciones de servicio reales a las que los diferentes materiales se verán expuestos.

Paralelamente se seguirá estudiando la influencia del hidrógeno en diferentes aceros mediante métodos electroquímicos, ya que se trata de una técnica más sencilla y económica. De esta manera se conseguirá seleccionar los materiales más idóneos y posteriormente se estudiarán en ambiente gaseoso.

6. Divulgación de los resultados

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
<i>Evaluación de la susceptibilidad a la fragilización por hidrógeno en diversos aceros a través del ensayo SPT.</i>	Miguel Llana Baamonde Guillermo Álvarez Díaz Marcos Llera Prida Javier Belzunce Varela Cristina Rodríguez González	Com. Oral	<i>Grupo Español de Fractura</i>	Palma de Mallorca (España), Marzo 2024
<i>Caracterización de aceros obtenidos por fabricación aditiva y su resistencia a la fragilización por hidrógeno mediante el ensayo Small Punch Test (AM-HE-SPT).</i>	Miguel Llana Baamonde Guillermo Álvarez Díaz	Charla Invitada	<i>Jornadas de Proyectos IUTA</i>	Gijón (España), Mayo 2024

Figura 11. Divulgación de los resultados.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	5400 €
Fungibles	1000 €
Amortización	0 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	1000 €
TOTAL GASTOS	7400 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	5400 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0 €
Financiación propia		2000 €
TOTAL INGRESOS		7400 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-05

Optimización del proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel a partir de aceites naturales (OPTRANSESTERAL)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 01 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

José Luis Viesca Rodríguez

Otros investigadores:

Antolin Esteban Hernández Battez, Eduardo Rodríguez Ordóñez, Claudia Sanjurjo Muñiz,

Personal contratado:

Meritxell Villa Menéndez

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

NEOALGAE

Redes sociales de investigadores y empresas:

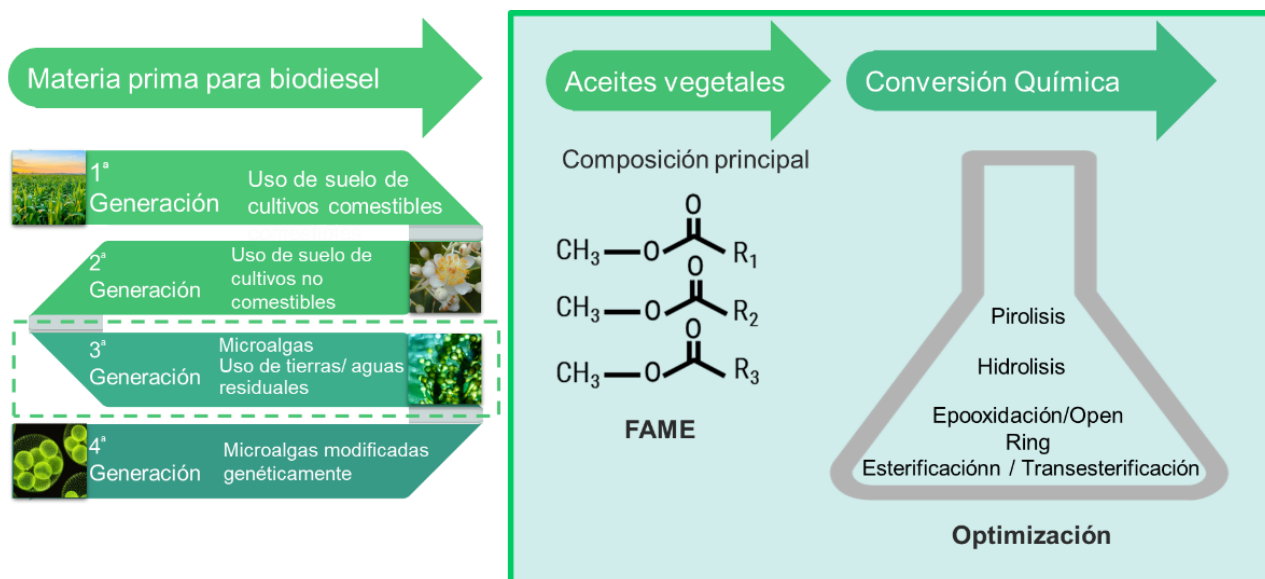
<https://neoalgae.es/>

<https://www.facebook.com/Neoalgae/>

<https://twitter.com/neoalgae>

<https://www.instagram.com/neoalgaebiotech>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El uso de las microalgas como fuente alternativa y sostenible en el sector industrial ha ganado atención como posible solución para reducir las emisiones de gases efecto invernadero y disminuir la dependencia tanto económica como material existente hacia los combustibles fósiles.

Las microalgas son organismos unicelulares fotosintéticos que en función de las condiciones de cultivo pueden variar la concentración de una gran variedad de productos de alto valor en la industria. Estos microorganismos no precisan de terrenos de cultivo para su crecimiento, y por tanto solucionarían la problemática que presentan otros vegetales al entrar en competencia con la alimentación humana. Además, la posibilidad de ser cultivadas en aguas residuales y su necesidad de captar nutrientes como potasio o fósforo hacen de ellas buenas candidatas para la recuperación de aguas contaminadas. De entre los compuestos de interés destaca su alta producción de lípidos, usados como materia prima para la producción de biodiésel y biolubricante.

Una forma sostenible de producir biolubricante a partir de una fuente vegetal es mediante las reacciones de transesterificación. Estas reacciones se basan en transformar los triglicéridos (lípidos) en ácidos grasos de ésteres metílicos o FAME (del inglés: Fatty Acid Methyl Esters). El proceso (Figura 1) consiste en la reacción del triglicérido con un alcohol (en este caso metanol) en presencia de un catalizador para agilizar la síntesis. Como producto principal se obtendrían los FAMES y como secundario la glicerina.

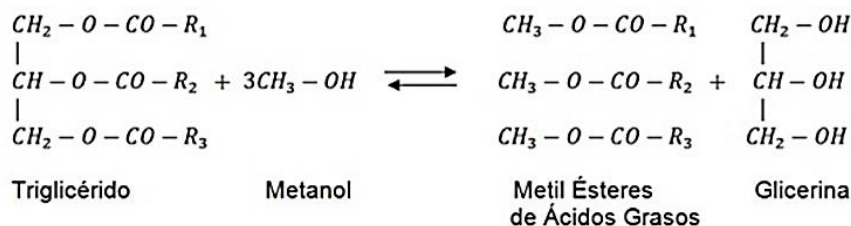


Figura 1. Reacción de transesterificación.

Para asegurar que todo el triglicérido presente en la muestra es transformado a FAME, es recomendable optimizar variables independientes de la reacción como: ratio de alcohol, temperatura o tiempo de reacción. La forma tradicional de optimización consiste en variar una única variable independiente mientras se mantienen fijos el resto de los parámetros, y repetir este proceso con todas las variables de interés. Esta metodología ha sido la empleada hasta el momento como medio de optimización de las transesterificaciones de aceites derivados de microalgas, pero presenta la desventaja de necesitar un número elevado de ensayos y por tanto el gasto de gran cantidad de materia prima.

Una alternativa emergente en otros procesos es la metodología de superficie de respuesta RSM (del inglés: Response Surface Methodology), la cual reduce el número de ensayos a través de técnicas matemáticas que evalúan el efecto de cada variable y la interacción entre las diferentes variables independientes sobre la respuesta final (en este caso el rendimiento). Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en el proceso de optimización de aceites vegetales como el aceite de palma o de girasol, y presenta una novedad su aplicación en aceites derivados de microalgas. La diferencia entre estos aceites reside en que los aceites vegetales comunes tienden a ser en su totalidad triglicéridos, mientras que los aceites de microalgas suelen contener un contenido por debajo del 60%.

En base a lo descrito anteriormente, el presente proyecto busca la optimización de las reacciones de transesterificación mediante el empleo de RSM para la producción de biolubricantes, empleando como novedad aceite derivado de la microalga de *Nannochloropsis gaditana*.

Para la realización de este trabajo fue necesario establecer una serie de Fases principales tales como: estudio del arte, optimización de la reacción de transesterificación y caracterización del biolubricante. Estas Fases se subdividirán a su vez en las Tareas descritas en el apartado 3 del presente documento.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Optimización y caracterización de biolubricante a partir de aceite de <i>Nannochloropsis gaditana</i>		100%
Secundario/ Específico	Caracterización del aceite de microalga		100%
Secundario/ Específico	Diseño de experimento con Design Expert para la optimización de la reacción de transesterificación		100%
Secundario/ Específico	Optimización de la reacción de transesterificación con el diseño seleccionado		100%
Secundario/ Específico	Selección de las condiciones óptimas de ensayo		100%
Secundario/ Específico	Caracterización del biolubricante final		80%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES			
		1	2	3	4
Fase 1	Análisis previo				
Tarea 1.1	Estudio del estado del arte				
Tarea 1.2	Caracterización del aceite de microalga				
Fase 2	Optimización de la reacción de transesterificación				
Tarea 2.1	Diseño de experimento				
Tarea 2.2	Realización de los ensayos del diseño				
Tarea 2.3	Selección de las condiciones óptimas de ensayo				
Fase 3	Caracterización biolubricante				

Tarea 3.1	Producción de biolubricante optimizado				
Tarea 3.2	Caracterización del biolubricante optimizado				

Figura 2. Planificador del proyecto.

- **Fase 1:** Análisis previo
 - **Tarea 1:** Estudio del estado del arte

Toma de contacto con el material de trabajo, los procesos, y estudios previos realizados sobre la misma temática.

- **Tarea 2:** Caracterización del aceite de microalga

Medidas de acidez y contenido en agua del bio-aceite de *N. gaditana* (Figura 3). Las medidas de acidez se realizaron empleando el valorador potenciométrico 848 Tritino plus mostrado en la Figura 4-Derecha, mientras que las del contenido en agua fueron con el equipo 899 Coulometer de la Figura 4 – Izquierda.

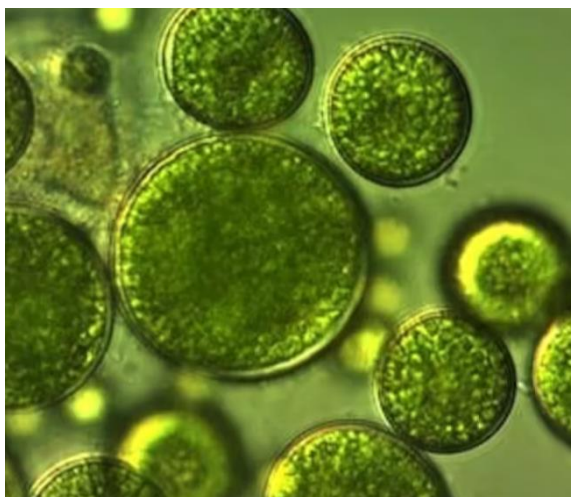


Figura 3. *Nannochloropsis gaditana*.



Figura 4: Izquierda. 899 Coulometer; Derecha. 848 Tritino plus.

- **Fase 2:** Optimización de la reacción de transesterificación

○ **Tarea 1:** Diseño de experimento

Para el diseño de experimento se empleó el software Design Expert con un diseño de CCD. Las variables independientes seleccionadas para optimizar fueron el ratio de aceite-alcohol, la temperatura y el tiempo de reacción con los niveles de trabajo mostrados en la Tabla 1, mientras que el tipo y la concentración de catalizador se mantuvieron fijos (catalizador básico CH_3ONa al 1.5%).

Tabla 1. Variables independientes y niveles para la optimización de la reacción de transesterificación.

Variable independiente	Factor	Niveles				
		2(- α)	1	0	1	2
Ratio aceite:alcohol	A	1:3	1:6	1:9	1:12	1:15
Temperatura de reacción ($^{\circ}\text{C}$)	B	30	50	70	90	110
Tiempo de reacción (min)	C	30	67.5	105	142.5	180

En la Tabla 2 se muestra la configuración del diseño dada por el software para tres variables independientes.

Tabla 2. Diseño de experimento configurado con Design Expert.

Std. order	Nº Ensayo	Variables independientes		
		A	B	C
11	1	0	-2	0
18	2	0	0	0
2	3	1	-1	-1
6	4	1	-1	1
10	5	2	0	0
4	6	1	1	-1
9	7	-2	0	0

13	8	0	0	-2
3	9	-1	1	-1
8	10	1	1	1
1	11	-1	-1	-1
7	12	-1	1	1
14	13	0	0	2
12	14	0	2	0
5	15	-1	-1	1
15	16	0	0	0
17	17	0	0	0
16	18	0	0	0

○ **Tarea 2:** Realización de los ensayos del diseño

Para llevar a cabo las reacciones se mezcló en un matraz de 100 ml: 1 g de aceite de *N. gaditana* con la concentración correspondiente de metanol, catalizador y 2 ml de hexano (Figura 5).



Figura 5. Dispositivo para las reacciones de transesterificación.

Tras la reacción, el material fue retirado y enfriado a temperatura ambiente para finalizar la reacción. El producto se sometió después a un proceso de lavado para eliminar subproductos e impurezas presentes en el material de partida. En una primera etapa se centrifuga el producto recién salido de la reacción a temperatura ambiente para eliminar la glicerina (subproducto de la reacción). En una segunda etapa el biolubricante es lavado con agua ultrapura hasta alcanzar un pH neutro, verificando así la eliminación de alcohol sobrante y posibles trazas de catalizadores e impurezas. Finalmente se lleva al evaporador rotativo para la eliminación del hexano y posibles restos de agua y alcohol.

El producto final obtenido es pesado y el contenido de FAME es medido siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-EN 14103 empleando un cromatógrafo de gases con detector de ionización de llama.

- **Tarea 3:** Selección de las condiciones óptimas de ensayo

Tras introducir los resultados en el modelo generado, es necesario seleccionar las condiciones de ensayo óptimas entre las alternativas propuestas por el Design Expert, así como la comprobación del mismo.

- **Fase 3:** Caracterización del biolubricante

Tras la selección de las condiciones óptimas será necesario producir la cantidad necesaria de biolubricante para una caracterización completa. Dicha caracterización está compuesta por los siguientes ensayos:

- Contenido de agua y acidez, empleando el equipo descrito en la Tarea 1.2.
- Análisis de infrarrojo por transformada de Fourier: este ensayo se emplea para la obtención de la estructura molecular, vibraciones u otras características moleculares propias de los enlaces presentes en el compuesto.
- Estabilidad térmica: Este ensayo se realiza por análisis de termogravimetría para obtener la variación de pérdida de masa de la muestra frente al aumento de la temperatura para obtener la temperatura de descomposición.
- Punto de congelación: Calorimetría diferencial de barrida es la técnica empleada para la obtención de la temperatura mínima de flujo del fluido.
- Punto de inflamación: La norma EN ISO 2592 fue la seleccionada para la obtención de la temperatura de inflamación

4. Resultados obtenidos:

- El perfil de ácidos grasos de la muestra indicó un alto porcentaje de enlaces dobles en la estructura molecular del compuesto (Figura 6).

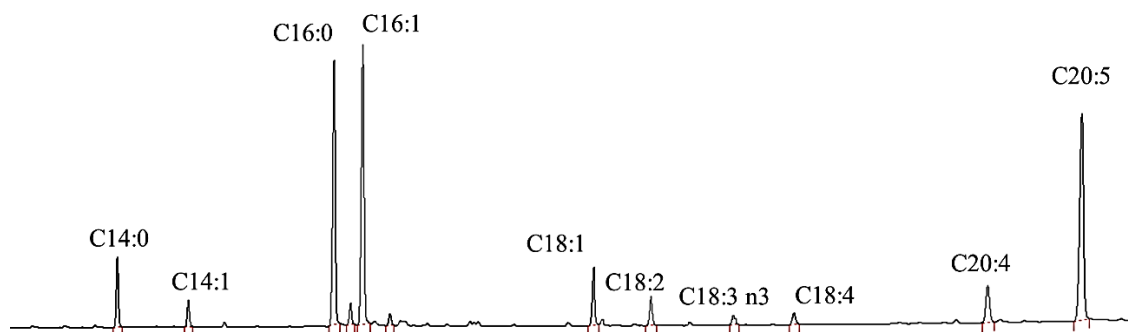


Figura 6. Cromatograma del perfil lipídico de la microalga de *Nannochloropsis gaditana*.

- El diseño de experimento empleando metodología de superficie de respuesta resultó ser eficaz a la hora de optimizar reacciones de transesterificación para un material de baja homogeneidad como es el caso de los aceites de microalga. Los resultados obtenidos del diseño se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Resultados del diseño de experimento.

Std. order	Nº Ensayo	Respuestas, Y		
		Actual	Predicha	Error (%)
11	1	81.81	84.18	2.90
18	2	78.52	78.90	0.49
2	3	86.99	88.87	2.16
6	4	72.69	68.89	5.24
10	5	70.35	69.88	0.67
4	6	70.37	67.05	4.72
9	7	33.44	37.44	11.95
13	8	50.90	52.80	3.74
3	9	35.21	35.45	0.66
8	10	62.08	64.63	4.11
1	11	67.09	60.95	9.15
7	12	65.57	60.11	8.33
14	13	55.80	57.48	3.02
12	14	53.22	54.42	2.25
5	15	68.31	68.05	0.37

15	16	77.44	78.90	1.88
17	17	77.72	78.90	1.52
16	18	78.35	78.90	0.70
R²	R²_{Adj.}	R²_{Pred.}	Adeq. Precision	
0.9647	0.9250	0.7366	17.3292	

- Las condiciones óptimas de ensayo se encontraron para las condiciones descritas en la Tabla 4.

Tabla 4. Condiciones óptimas de ensayo.

Variable independiente	Valor codificado	Valor real
A (ratio)	0.99996	1:12
B (°C)	-1	50
C (min)	-0.841143	75
Y (%)	89.0223	89.0223

- Las propiedades fisicoquímicas se muestran en la Tabla 5. El rango de temperatura de trabajo se encuentra definido entre el punto de fluidez y el punto de inflamación. El biolubricante sintetizado a partir de aceite de microalgas muestra un rango de temperatura menor que otros aceites vegetales, comprendido entre -8.7 y 150 °C. Sin embargo, antes de los 150 °C, el fluido ya presenta una degradación completa a 135 °C.

Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del biolubricante.

Propiedad	Valor	Unidad
Acidez	0.42	mg KOH/g
Humedad	850	ppm
Punto de fluidez	-8.7	°C
Punto de inflamación	150	°C

Estabilidad térmica	135	°C
---------------------	-----	----

5. Trabajos o necesidades futuras

Nos gustaría en un futuro, una vez obtenida una cantidad suficiente de biolubricante, medir las propiedades tribológicas para poder compararlo con otros tipos de lubricantes y ver sus diferentes comportamientos.

También nos gustaría trabajar con más microalgas para ver las diferencias entre ellas desde el punto de vista del comportamiento tribológico.

Esperamos poder profundizar más en el estudio de los biolubricantes usando microalgas modificadas genéticamente que prometen ser el futuro de muchas aplicaciones.

6. Divulgación de los resultados

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
<i>Optimización del proceso de transesterificación para la obtención de biodiesel a partir de aceites naturales (OPTRANSESTERAL)</i>	Meritxell Villa Menéndez	Charla Invitada	<i>Jornadas de Proyectos IUTA</i>	Gijón (España), Mayo 2024

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	4.900 €
Fungibles	1.500 €
Amortización	
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	3.000 €
TOTAL GASTOS	9.400 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.900 €
Principado de Asturias. Ref: SV-PA-21-AYUD/2021/50987	Gastos derivados del proyecto	4.500 €
Financiación propia		
TOTAL INGRESOS		9.400 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-06

Procedimiento para la detección, análisis y evaluación de las incrustaciones en embarcaciones menores asturianas

Fechas inicial y final del proyecto:

01/ 07 / 2023 al 31 / 12/ 2023

Investigador/a Principal:

Verónica Soto López

Otros investigadores:

Deva Menéndez Teleña

Personal contratado:

Alejandro Fernández Cudeiro

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

Seerstems Robótica y Sistemas S.L.

Redes sociales de investigadores y empresas:

Seerstems.net

www.linkedin.com/in/alejandro-fernández-cudeiro/

<https://es.linkedin.com/in/verónica-soto-36758259>

www.linkedin.com/in/deva-menéndez-teleña

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El movimiento de especies invasoras (NIS) se considera una de las mayores amenazas en la ecología y el bienestar económico del planeta ya que estas causan enormes perjuicios a la biodiversidad (OMI, 2021). Se define una especie NIS como *“un organismo introducido fuera de su área de distribución natural pasada o presente por la actividad humana directa o indirectamente”* (European Environment Agency et al. 2012). El transporte marítimo está considerado como uno de los principales vectores de movimiento de especies invasoras, y es por ello, que los puertos son considerados las principales puertas de entrada de biota exótica marina, a través tanto del agua de lastre como de las incrustaciones en el casco de los buques (Molnar et al. 2008).

Siempre ha existido un flujo de especies controlado de un territorio a otro mediante barreras naturales (Richardson y Pyšek 2007) y ello hacía que hubiese un equilibrio natural ya que las introducciones se hacía de manera escalonada. Pero desde la revolución industrial y sobre todo en lo va de este siglo, el comercio marítimo ha experimentado un gran crecimiento, contribuyendo a la modificación de dichas barreras naturales y, por tanto, la distribución de especies de manera exponencial (Kotta et al. 2015).

En el año 2022, el transporte marítimo alcanzó 11.000 millones de toneladas de mercancías, lo que significa que más de un 80% de las mercancías transportadas a nivel mundial se movieron a través de los océanos mediante barcos (Naciones Unidas 2022). Aunque el transporte mediante buques mercantes es la cara más visible del transporte marítimo, no debe dejarse de lado una parte muy relevante de dicho sector como son las embarcaciones menores. Dichas embarcaciones son las que tienen una eslora, longitud que tiene una nave, inferior a 24 metros y con 50 toneladas o menos de volumen interno medido en toneladas de registro bruto siendo. Este tipo de embarcaciones son los pesqueros y embarcaciones de recreo mayoritariamente.

La importancia de estas embarcaciones menores radica tanto en su número, unos 28.000.000 a nivel mundial (Martínez Martín et al. 2018) frente a los 120.000 buques mercantes (Gabinete de estudios ANAVE 2020), como en los desplazamientos que realizan. Las embarcaciones menores carecen de patrones en sus desplazamientos y el registro de sus viajes no es de obligatorio

cumplimiento, a diferencia de las embarcaciones mercantes. Es por ello, que el estudio, seguimiento y control de este tipo de embarcaciones se hace muy complicado, e incluso muchas veces llega a ser imposible, en contrapartida con el de la flota mercante. Las embarcaciones de recreo son el principal vector secundario de movimiento de especies. Tienen una eslora entre 2,5 y 24 metros y están destinadas a fines recreativos o deportivos (Ministerio de Fomento, 1999). Son uno de los principales factores de la distribución de especies exóticas invasoras en los estuarios y entornos marinos (K.M.Wasson et al, 2001), (D. Minchin, S. Gollasch, y I. Wallentinus, 2005).

Además de la contaminación biológica que pueden generar, tenemos que tener en cuenta que las incrustaciones en los cascos de las embarcaciones reducen el rendimiento hidrodinámico de estas, aumentando así la resistencia del buque al avance, incrementando los gastos de combustible y la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos (OMI, 2021).

En cuanto a la legislación existente para controlar los sistemas antiincrustantes de los barcos tenemos el *Convenio para el control de los sistemas antiincrustantes perjudiciales en los buques (AFS)*, y el *Certificado Internacional de Seguridad de Buque de Carga*, que tienen que obtener todos los buques de más de 500 GTs, en el que obliga a los buques a tratar la obra viva y cambiar las pinturas antiincrustantes cada cierto tiempo. Este tipo de legislación no regula, por lo tanto, las embarcaciones menores. Únicamente existe un documento publicado por el Comité de Protección del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional (OMI) en el 2021, llamado *Guía para minimizar la transferencia de especies acuáticas como biofouling en las embarcaciones de recreo* (IMO, 2012). Este documento pretende establecer un marco global para la gestión del biofouling en las embarcaciones menores de 24 metros de eslora, pero no va más allá de unas meras recomendaciones sin ningún tipo de vinculación legal. El mantenimiento de los cascos de los buques tales como limpiezas, cambios de pintura, o salidas a dique seco, van a depender únicamente del propietario del buque y sus “buenas prácticas”, con la consiguiente problemática que esto conlleva.

Este proyecto se desarrolla en el ámbito geográfico del Principado de Asturias que cuenta una significativa tradición pesquera. Este territorio tiene más de 250 embarcaciones de pesca (SADEI 2022) distribuidas en 18 puertos, dos de ellos son importantes puertos comerciales, el de Gijón y el de Avilés, y más de 200 playas (Principado de Asturias). Estos datos unidos a la escasa legislación sobre el impacto de contaminación biológica a través de las embarcaciones menores hacen necesaria la investigación propuesta para Asturias.

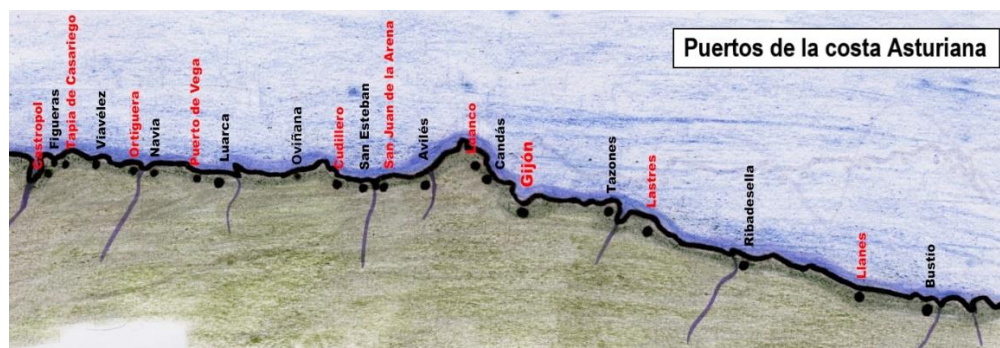


Figura 1: Mapa de los Puertos de la Costa Asturiana. Fuente: imagen adaptada Arantza Elcoro Alberdi.

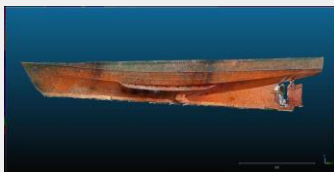
El objetivo principal de la investigación es analizar las incrustaciones de las embarcaciones menores de la región asturiana, con el fin de proponer medidas correctivas que puedan ser adoptadas por los responsables portuarios y los propietarios de dichas embarcaciones. Para ello, se quiere desarrollar un procedimiento para poder identificar de manera rápida y sencilla la superficie de la obra viva (superficie que está en contacto con el agua) de embarcaciones menores con incrustaciones utilizando un modelado 3D del casco.

La metodología seguida es la siguiente:

- Se analizan los puertos y las embarcaciones menores de la región asturiana y se contacta con los responsables, propietarios o encargados del mantenimiento de los cascos.
- Se hace un modelado 3D del barco a flote, antes de que se realice el mantenimiento habitual.
- Se recopila información relevante con un formulario que se realiza al propietario (periodos de mantenimiento, velocidad, patente, zonas de navegación, etc).
- Se llevan a cabo cálculos teóricos de la obra viva y se comparan con los resultados obtenidos de procesar el modelo 3D en programas como Cloud Compare o Meshlab, para poder analizarlos y determinar el porcentaje del casco con incrustaciones.

Se han recogido datos de más de 50 embarcaciones menores en diferentes puntos de la costa asturiana como Cudillero, Gijón, El Puntal y Lastres, entre otros. Se han realizado capturas de la obra viva de los barcos haciendo un video tridimensional de las embarcaciones. Se ha desarrollado un procedimiento que determina la superficie total de la obra viva de cada embarcación mediante el tratamiento de las imágenes 3D en nubes de puntos y su conversión en mallas. Todo este procedimiento se ha verificado comparándolo con resultados obtenidos de los datos teóricos calculados con las dimensiones de las embarcaciones. La utilización de herramientas de modelado 3D permiten detectar de manera rápida y eficaz el porcentaje del casco con incrustaciones.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Desarrollar un procedimiento para poder identificar de manera rápida y sencilla la superficie de la obra viva de embarcaciones menores con incrustaciones utilizando un modelado 3D del casco		90 %
Secundario/ Específico	Analizar las características y parámetros de cada embarcación en relación con las incrustaciones obtenidas: tipo de embarcación, zona de navegación, velocidad de navegación, puerto de atraque, pintura antifouling empleada, última limpieza de casco realizada, material del casco...		90 %
Secundario/ Específico	Recogida y análisis de muestras biológicas en las distintas zonas del casco de las embarcaciones, prestando especial atención a las zonas de nicho.		80%
Secundario/ Específico	Realizar un modelado 3D de la obra viva del casco de la embarcación para obtener dimensiones del casco y evaluar la ocupación por incrustaciones		80%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Recopilación de datos en bruto						
Tarea 1.1	Título descriptivo de la tarea						
Tarea 1.2	Mapeado 3D, mediante la toma de fotografías, videos e imágenes 3D, de la obra viva de las embarcaciones que posteriormente permitirá determinar el nivel de incrustaciones de estas						
Tarea 1.3	Realización de preguntas a los propietarios de las embarcaciones.						
Fase 2	Determinación de las variables que se deben tener en cuenta para los datos demográficos.						
Tarea 2.1	Análisis de las muestras biológicas en el laboratorio por parte del departamento de Biología de Organismos y Sistemas, de Uniovi						
Tarea 2.2	Volcado de todos los datos obtenido en la Fase 1 y en la Fase 2.1 en las hojas de Excel y bases de datos correspondientes.						
Fase 3	Determinación de las variables que se deben tener en cuenta para los datos demográficos.						
Tarea 3.1	Análisis de los datos disponibles en referencia a los diferentes tipos de barcos y puertos que se han sido objeto de estudio.						
Tarea 3.2	Análisis y procesamiento de todas las imágenes 3D disponibles.						
Tarea 3.3	Cruce y comparativa de los datos.						

Figura II. Planificación del proyecto

- **Fase 1:** Toma de muestras en las embarcaciones.
 - **Tarea 1:** Toma de muestras en las embarcaciones.
 - **Tarea 2:** Mapeado 3D, mediante la toma de fotografías, videos e imágenes 3D, de la obra viva de las embarcaciones que posteriormente permitirá determinar el nivel de incrustaciones de estas.
 - **Tarea 3:** Realización de preguntas a los propietarios de las embarcaciones.
- **Fase 2:** Determinación de las variables que se deben tener en cuenta para los datos demográficos.
 - **Tarea 1:** Análisis de las muestras biológicas en el laboratorio por parte del departamento de Biología de Organismos y Sistemas, de Uniovi.
 - **Tarea 2:** Volcado de todos los datos obtenido en la Fase 1 y en la Fase 2.1 en las hojas de Excel y bases de datos correspondientes.

- **Fase 3:** Determinación de las variables que se deben tener en cuenta para los datos demográficos.
 - **Tarea 1:** Análisis de los datos disponibles en referencia a los diferentes tipos de barcos y puertos que se han sido objeto de estudio.
 - **Tarea 2:** Análisis y procesamiento de todas las imágenes 3D disponibles.
 - **Tarea 3:** Cruce y comparativa de los datos de los diferentes tipos de barcos, sus características, sus puertos de amarre, etc.; con los resultados obtenidos en los análisis biológicos y con el grado de incrustaciones presentes en la obra viva de las embarcaciones objeto de estudio, lo cual se ha obtenido mediante el mapeado 3D del casco de dichas embarcaciones.

4. Resultados obtenidos:

- Se han recogido datos de más de 50 embarcaciones menores en diferentes puntos de la costa asturiana.
- Se han realizado capturas de la obra viva de los barcos haciendo un video tridimensional de las embarcaciones.



Figura III: Ejemplo Modelado 3D de un pesquero

- Se ha desarrollado un procedimiento que determina la superficie total de la obra viva de cada embarcación mediante el tratamiento de las imágenes 3D en nubes de puntos y su conversión en mallas.

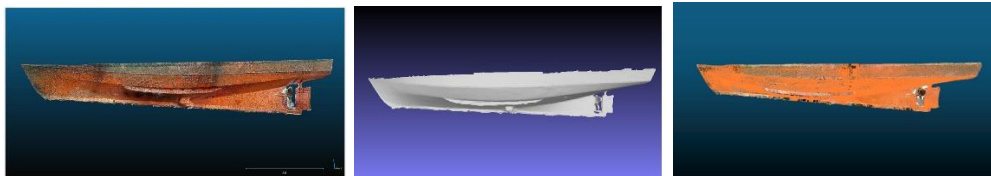


Figura III: Secuencia de imágenes de recorte obra viva del casco en nube de puntos; recorte obra viva del casco en malla y visualización de incrustaciones en la obra viva frente a la superficie limpia.

- Se han analizado las muestras biológicas obtenidas del raspado de las embarcaciones en el laboratorio del departamento de Biología de Organismos y Sistemas, de Uniovi. Llegando a un 80 % de material analizado.
- Todo este procedimiento se ha verificado comparándolo con resultados obtenidos de los datos teóricos calculados con las dimensiones de las embarcaciones.
- La utilización de este procedimiento de modelado 3D permite detectar de manera rápida y eficaz el porcentaje del casco con incrustaciones.
- Abordar el biofouling no solo tiene ventajas económicas y de seguridad, sino que también tiene un impacto significativo en la preservación del medio ambiente marino. Reducir la propagación de especies invasoras y la contaminación biológica ayuda a proteger los ecosistemas locales y mantener la biodiversidad.

5. Trabajos o necesidades futuras

Nos gustaría, en un futuro, hacer más automático el procedimiento por lo que valoramos incorporar en el proyecto un experto en esta materia.

Seguiremos cogiendo más muestras de embarcaciones tanto para el modelado del casco como para los datos biológicos para conseguir un mapa de muestreo de toda la costa asturiana, junto a investigadores del departamento de Biología de Organismos y Sistemas, de Uniovi.

Aunque el proyecto se centra en Asturias, el problema del biofouling y su impacto en el medio es un desafío global. Al encontrar soluciones efectivas, se pueden establecer estándares que beneficien a nivel mundial, promoviendo prácticas sostenibles y reduciendo el impacto ambiental en los mares y océanos. Queremos trasladar este procedimiento a otras zonas para poder verificar su eficacia en otro tipo de embarcaciones y climas.

6. Divulgación de los resultados

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
<i>Análisis de las incrustaciones presentes en la obra viva de embarcaciones menores mediante modelados 3D</i>	Alejandro Fernández Cudeiro Iris Carrera Rodríguez Verónica Soto López Deva Menéndez Teleña	Póster	<i>Congreso Anual Internacional Miguel Hernandez</i>	Elche, febrero 2024
<i>En estos momentos se está redactando un artículo sobre el procedimiento</i>	Alejandro Fernández Cudeiro Iris Carrera Rodríguez Verónica Soto López Deva Menéndez Teleña	Artículo Científico	<i>Se valora mandarlo a una revista Q1</i>	Durante 2024

Figura IV. Divulgación de los resultados.

Memoria económica:

1. Gastos:

Añade los gastos finales que has tenido a lo largo del proyecto.

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	4.0000 €
Fungibles	0 €
Amortización	0 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	300 €
TOTAL GASTOS	4.300 €

2. Ingresos:

Añade los ingresos finales que has tenido a lo largo del proyecto. Indica las empresas y las referencias de los proyectos/contratos.

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.0000 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0 €
Financiación propia		300 €
TOTAL INGRESOS		4.300 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-07

Modelo numérico para predecir la fractura de uniones soldadas en instalaciones de transporte de hidrógeno. FRACTHWELD

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 09 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

Covadonga Betegón Biempica

Otros investigadores:

Lucas Castro García

Personal contratado:

Sergio Martínez Olivar

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

KNOW-HOW INNOVATIVE SOLUTIONS S.L.

Felguera Calderería Pesada S.A.

Resumen Gráfico

*Tubería de acero X80 destinada al transporte de
Hidrógeno*

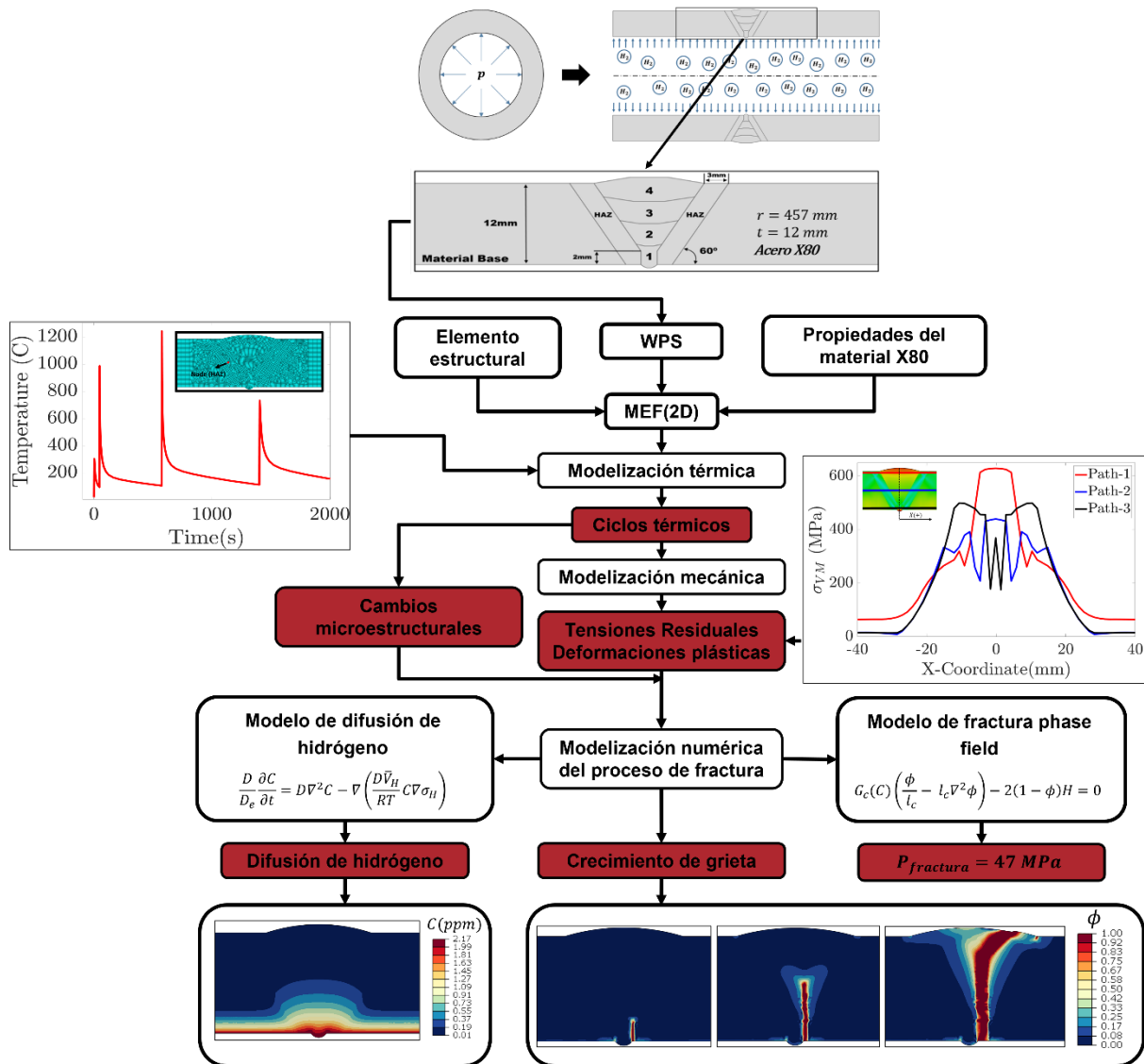


Figura 1. Resumen gráfico de la metodología llevada a cabo para analizar el comportamiento a fractura de una tubería de acero X80 destinada al transporte de Hidrógeno.

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El proyecto “Modelo numérico para predecir la fractura de uniones soldadas en instalaciones de transporte de hidrógeno”, liderado por la catedrática Covadonga Betegón Biempica de la Universidad de Oviedo, se enfoca en el desarrollo de un modelo numérico capaz de predecir la fractura de uniones soldadas en elementos destinados al transporte de hidrógeno. El proyecto busca

aportar avances significativos en la comprensión y predicción del comportamiento de aceros sometidos a procesos de soldeo en ambientes agresivos como el transporte de hidrógeno. La metodología del proyecto se divide en varias fases. Se inicia con la simulación numérica del proceso de soldadura en elementos estructurales, seguido por la determinación de propiedades mecánicas considerando cambios microestructurales. Posteriormente, se implementa el método phase field para modelizar la fractura en presencia de hidrógeno en la tubería soldada. La colaboración estrecha con empresas locales, KNOW-HOW INNOVATIVE SOLUTIONS y Calderería Pesada S.A., fortalece la validación de simulaciones y abre vías de explotación de hallazgos científicos. El proyecto no solo busca avances científicos y tecnológicos, sino también contribuir al prestigio académico de la Universidad de Oviedo, fortalecer colaboraciones internacionales con el Imperial College, y abrir puertas a futuras investigaciones y financiamientos. La planificación temporal se distribuye en tareas específicas, desde el desarrollo del modelo numérico hasta la publicación de resultados en artículos científicos y la participación en congresos. Este proyecto se proyecta como un pilar fundamental para la investigación en el campo de la mecánica de materiales y su comportamiento a fractura, con potenciales beneficios tanto académicos como industriales. Su impacto se extiende a nivel local, colaborando estrechamente con empresas en Gijón y contribuyendo al avance tecnológico y científico en la emergente economía del hidrógeno.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Grado de consecución
Principal	Desarrollar un modelo numérico para prever la fractura de uniones soldadas en elementos de transporte de hidrógeno.	100%
Secundario/ Específico	Simular numéricamente el proceso de soldadura en elementos estructurales dedicados al transporte de hidrógeno.	100%
Secundario/ Específico	Determinar las propiedades mecánicas de los puntos del elemento estructural considerando cambios microestructurales.	100%
Secundario/ Específico	Implementar el método phase field para modelizar la fractura en presencia de hidrógeno de la tubería soldada.	100%
Secundario/ Específico	Colaborar estrechamente con empresas locales (KHISGROUP y Calderería Pesada) para validar simulaciones y explorar vías de explotación de hallazgos científicos.	100%
Secundario/ Específico	Redactar un artículo científico en colaboración con el Imperial College, destacando las principales conclusiones del estudio.	100%

Tabla 1. Objetivos del proyecto y grado de consecución.

3. Tareas realizadas:

Fase 1: Modelo Numérico del Proceso de Soldadura

- *Tarea 1.1:* Duración 1 mes. Participantes: SMO, CBB, LCG. Justificación: Familiarización con el entorno del método de los elementos finitos y definición de variables del proceso de soldadura. Aplicación del modelo de simulación numérica del proceso de soldadura.

Fase 2: Simulación Numérica de Cambios Microestructurales

- *Tarea 2.1:* Duración 1 mes. Participantes: SMO, CBB, LCG, Empresas Colaboradoras. Justificación: Utilización de resultados previos para determinar propiedades evolución de las propiedades mecánicas de la estructura soldada considerando cambios microestructurales.

Fase 3: Modelo Numérico del Proceso de Fractura en Presencia de Hidrógeno

- *Tarea 3.1:* Duración 2 meses. Participantes: SMO, CBB, LCG. Justificación: Desarrollo e implementación del modelo de fractura phase field considerando cambios microestructurales y fragilización por hidrógeno.

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Modelo Numérico del Proceso de Soldadura						
Tarea 1.1	Definición de parámetros de soldadura y aplicación del modelo.						
Fase 2	Simulación Numérica de Cambios Microestructurales						
Tarea 2.1	Determinación de las propiedades mecánicas con considerando cambios microestructurales						
Fase 3	Modelo Numérico del Proceso de Fractura en Presencia de Hidrógeno						
Tarea 3.1	Implementación del modelo Phase Field para analizar el comportamiento a fractura de la unión soldada considerando la fragilización por Hidrógeno						

Tabla 2. Distribución temporal de las fases del proyecto.

4. Resultados obtenidos:

1) Desarrollo del Modelo Numérico del Proceso de Soldadura:

Se logró un avance significativo en el desarrollo del modelo numérico para simular el proceso de soldadura en elementos estructurales destinados al transporte de hidrógeno. El método de elementos finitos, con acoplamiento térmico-mecánico, permitió representar con precisión el ciclo térmico y las tensiones residuales generadas durante el proceso de soldadura. La simulación proporcionó un entendimiento detallado de cómo el material se ve afectado en diferentes puntos del elemento, considerando variables como el tipo de soldadura, el aporte térmico y el número de pasadas.

2) Simulación Numérica de Cambios Microestructurales:

Utilizando los resultados del modelo de soldadura, se llevó a cabo la simulación de los cambios microestructurales en el material. Se determinaron las propiedades mecánicas de distintos puntos del elemento estructural, considerando la variación de la microestructura debido al proceso de soldeo. La colaboración estrecha con las empresas colaboradoras, KHISGROUP y Calderería Pesada S.A., fue esencial para validar y mejorar la precisión de las simulaciones, teniendo en cuenta su experiencia en comportamiento mecánico y térmico de aceros sometidos a distintos tratamientos.

3) Modelo Numérico de Fractura en Presencia de Hidrógeno:

Se desarrolló el modelo numérico de fractura considerando la técnica phase field, considerando la variación de propiedades mecánicas y las tensiones residuales obtenidas en las etapas anteriores. La implementación del modelo phase field permitió analizar el comportamiento a fractura de una tubería soldada dedicada al transporte a presión de hidrógeno. Se obtuvieron condiciones de fallo del elemento estructural, teniendo en cuenta la influencia del hidrógeno, un medio agresivo que modifica la tenacidad y resistencia mecánica de los aceros.

4) Contribuciones a la Comunidad Académica y Empresarial:

La colaboración con el Imperial College y las empresas colaboradoras aseguró la validez y relevancia de los resultados. Se espera que los hallazgos científicos se traduzcan en al menos un artículo científico de alta calidad, que será publicado en una revista de alto impacto en el campo de la mecánica de materiales.

5. Trabajos o necesidades futuras

1. Optimización de procesos de soldadura:

- Explorar enfoques para optimizar los parámetros del proceso de soldadura, como el aporte térmico y el tipo de estrategia de soldadura, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas y minimizar las tensiones residuales.
- Investigar cómo variaciones controladas en el proceso de soldadura pueden influir en la microestructura y, por ende, en el rendimiento a fractura de las uniones soldadas.

2. Estudio detallado de la Fragilización por Hidrógeno:

- Profundizar en el estudio de la fragilización por hidrógeno, analizando cómo afecta a la tenacidad y resistencia mecánica de los aceros en diferentes condiciones ambientales y de carga.
- Considerar la interacción entre el hidrógeno y las tensiones residuales generadas durante el proceso de soldadura, evaluando su impacto en la propensión a la fractura.

3. Validación Experimental:

- Realizar ensayos experimentales para validar los resultados obtenidos mediante simulaciones numéricas. Comparar los datos experimentales con las predicciones del modelo desarrollado para garantizar su precisión y confiabilidad.
- Colaborar estrechamente con laboratorios y empresas especializadas en pruebas y ensayos mecánicos para llevar a cabo la validación experimental.

4. Aplicación a otros materiales y contextos:

- Adaptar la metodología desarrollada para su aplicación a diferentes materiales utilizados en la industria del transporte de hidrógeno, como aleaciones especiales o materiales compuestos.
- Extender la investigación a otros contextos de aplicación, como estructuras en la industria aeroespacial o marina, donde la soldadura y la presencia de ambientes agresivos son factores críticos.

6. Divulgación de los resultados

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
Numerical simulation of the welding process and phase field fracture modelling of welded pipes	Lucas Castro García, Covadonga Betegón, Yousef Navidtherani, Emilio Martínez Pañeda, Sergio Martínez Olivar	PTT Oral	ECCOMAS	Lisboa(Portugal), Junio 2024

Figura 2. Divulgación de resultados.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3000 €
Fungibles	-
Amortización	-
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	-
TOTAL GASTOS	3000 €

Tabla 3. Gastos del proyecto.

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3000 €
Otras entidades / empresas financiadoras		-
Financiación propia		-
TOTAL INGRESOS		3000 €

Tabla 4. Ingresos del proyecto.

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-08

Modelo para el estudio de las condiciones de inyección del vapor de agua proveniente de plantas termosolares en ciclos combinados (MINYC-SOLCC)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Investigador/A Principal:

Pedro García Regodeseves

Otros Investigadores:

Andrés Meana Fernández, Guillermo Laine Cuervo, Jorge Luis Parrondo Gayo, María José Suárez López, Raúl Barrio Perotti

Personal Contratado:

Paula Iglesias Varela

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

TSK Electrónica y Electricidad

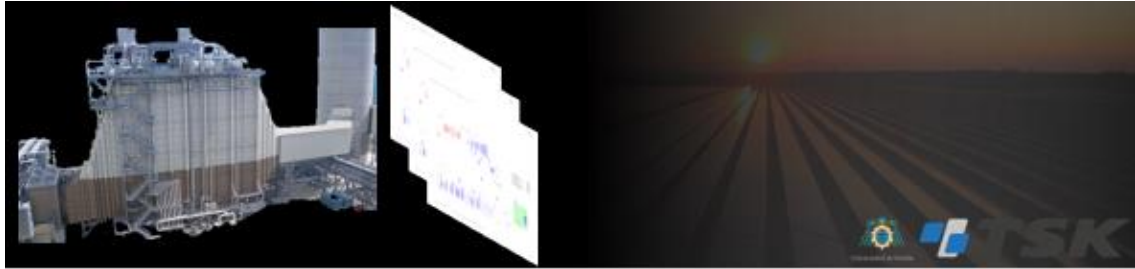
Redes sociales de investigadores y empresas:

TSK LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/grupotsk/>

TSK web: <https://www.grupotsk.com/>

Departamento de Energía de la Universidad de Oviedo: <https://energia.uniovi.es/>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

La tecnología de ciclos combinados tiene un papel destacado dentro del mix eléctrico para cubrir la demanda de energía, siendo de importancia su contribución en los picos de generación diaria. Así, de acuerdo con el Balance Energético de España, elaborado por la Secretaría de Estado de Energía, el consumo de gas natural supuso un 18,6% de la energía final total en 2021. Con relación al gas natural, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, encargado de elaborar balances periódicos del estado de la Fase de Alerta, del nivel de llenado de los almacenamientos y del nivel de consecución del compromiso de reducción de la demanda de gas natural, entre otros indicadores, muestra un descenso de un 21%-23% en el consumo de gas natural. Por otro lado, la Unión Europea está inmersa en el reto de la transición energética para la reducción de la contaminación ambiental mediante la adopción de fuentes de energía renovables. En este contexto, la hibridación de plantas convencionales de ciclo combinado existentes, mediante la integración con un campo termosolar, resulta potencialmente beneficiosa al reducir tanto el consumo de gas natural como el coste de integración de la energía solar en la red. De entre los retos que surgen de la adopción de esta tecnología, este trabajo principalmente se centra en evaluar la inyección en el ciclo combinado del vapor de agua generado en el campo solar. Así, se ha hecho un estudio termodinámico para valorar en términos de eficiencia neta del ciclo la idoneidad de los puntos del ciclo combinado que son a priori candidatos. Adicionalmente, el trabajo también plantea la conveniencia de usar un sistema de inyección basado en el efecto Venturi, en contraposición a un sistema convencional de unión en te.

La Figura 1 muestra un esquema del funcionamiento de la planta de ciclo combinado similar al que se plantea realizar la integración del campo solar. En la parte superior se encuentra el ciclo Bryton con la turbina de gas, en la parte inferior derecha se encuentra el ciclo Rankine con la turbina de vapor. Ocupando la posición central se tiene el conjunto HRSG, que combina el aporte de ambos ciclos para elevar la eficiencia global del ciclo. En general, un módulo HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) está integrado por un sobrecalentador (S), un evaporador (E), un economizador (E) y un calderín (D). El ciclo que se analizará en este proyecto consta de una parte de alta (H), media (I) y baja (B) presión (P), lo que requiere de los correspondientes módulos SEED en el HRSG. La representación del campo termosolar se encuentra la parte inferior izquierda. El ciclo cuenta además con un recalentador (R), un condensador y las bombas necesarias.

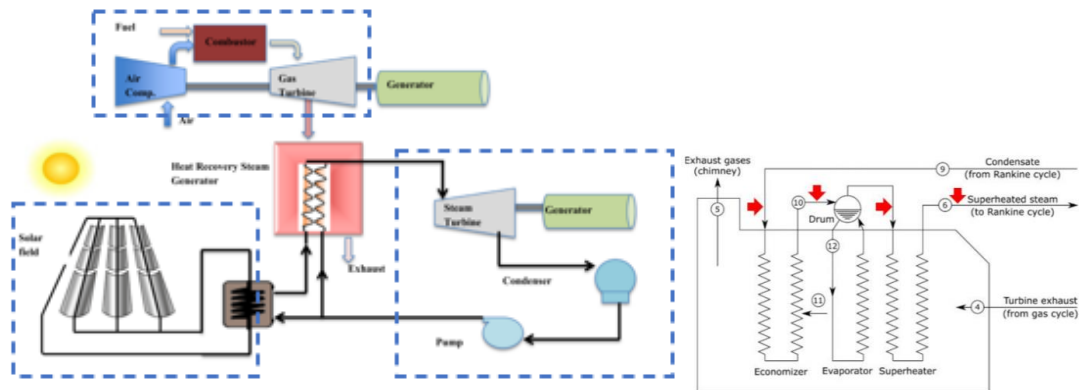


Figura 1. Esquema de integración de un campo solar en un ciclo combinado (Adaptado de Alqahtani et al. (2016): *Integrated Solar Combined Cycle Power Plants*)

Figura 2. Puntos de inyección de vapor en el HRSG.

La inyección del vapor de agua requiere el análisis de (1) los puntos del HRSG en el que se realizará la inyección, (2) la temperatura de la contribución del campo solar, y (3) el modo de operación. Así, los puntos de inyección propuestos se indican en la Figura 2. Una temperatura alta tiene como ventajas una mejora de la eficiencia, pero con un coste mayor, mientras que una temperatura baja es más flexible y tiene un coste menor, pero la eficiencia se reduce. As su vez, para temperatura media-bajas, la contribución del vapor de agua del campo solar se puede considerar como un incremento de la producción de energía, *Power Boosting*, o como una reducción en el gasto de combustible gas natural, *Fuel Saving*. Así, el efecto específico que se persigue con cada uno de ellos muestra el Figura 3.

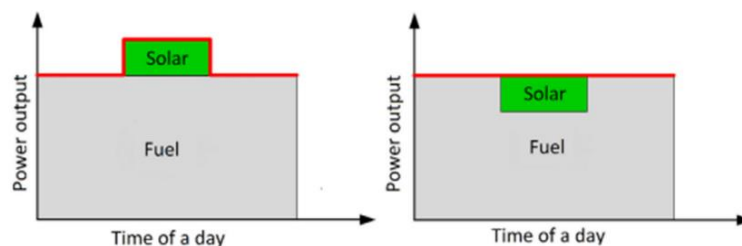


Figura 3. Modos de funcionamiento *Power Boosting* (izquierda) y *Fuel Saving* (derecha) (Adaptado de Qin et al. (2020) *Solar aided power generation: A review*).

El modelo termodinámico desarrollado en Thermoflex permite simular el ciclo termodinámico completo. La colaboración con TSK ha permitido disponer de datos reales relativos a las condiciones de operación del ciclo. Además, aquellos escenarios susceptibles de introducir efectos perjudiciales para el normal funcionamiento de otros componentes del ciclo fueron descartados siguiendo las recomendaciones de TSK, los cuales participaron activamente en este proyecto.

En paralelo, se desarrolló un modelo CFD para poder visualizar el efecto de mezcla de las dos corrientes de vapor provenientes del campo termosolar y del ciclo combinado. Las geometrías fueron en T y por efecto Venturi. La geometría T se usó como base para el modelo numérico debido a que este tipo de unión es muy usado en la industria. Con la geometría por efecto Venturi además se tiene la intención de plantear una metodología para su optimización con simulaciones CFD.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Generar conocimiento científico-técnico en hibridación de ciclos combinados para usar el excedente de vapor de agua producido en plantas termosolares.		100%
Secundario/ Específico	Revisión de la literatura para determinar las opciones existentes de reinyección del vapor y los métodos de modelización.		100%
Secundario/ Específico	Desarrollo de un modelo termodinámico con el software THERMOFLEX para determinar en qué parte del circuito combinado es más conveniente realizar la inyección de vapor de agua proveniente del módulo solar.		100%
Secundario/ Específico	Realización de simulaciones con técnicas CFD con geometrías específicas para inyectar el vapor: T y por efecto Venturi.		75%
Secundario/ Específico	Transferencia y difusión de los resultados obtenidos.		5%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Coordinación y revisión bibliográfica						
Tarea 1.1	Reuniones de coordinación con TSK						
Tarea 1.2	Revisión bibliográfica						
Fase 2	Desarrollo de los modelos numéricos						
Tarea 2.1	Desarrollo del modelo termodinámico: Thermoflex						
Tarea 2.2	Desarrollo del modelo CFD: ANSYS Fluent						
Tarea 2.3	Verificación y validación de los modelos						

Fase 3	Resultados y conclusiones						
Tarea 3.1	Análisis de los resultados y conclusiones						
Tarea 3.2	Resumen de resultados						
Tarea 3.2	Redacción de la memoria final del proyecto						
Fase 4	Difusión de los resultados						
Tarea 4.1	Preparación de artículos para revistas científicas y de conferencias						
Tarea 4.2	Participación en actividades de difusión						

Figura 4. Planificación del proyecto.

4. Resultados obtenidos:

El modelo que se ha desarrollado permite simular adecuadamente el ciclo termodinámico a partir de las condiciones de operación. La Figura 5 muestra el ciclo completo, mientras que en la Figura 6 se muestra la relación entre la temperatura, y el calor intercambiado.

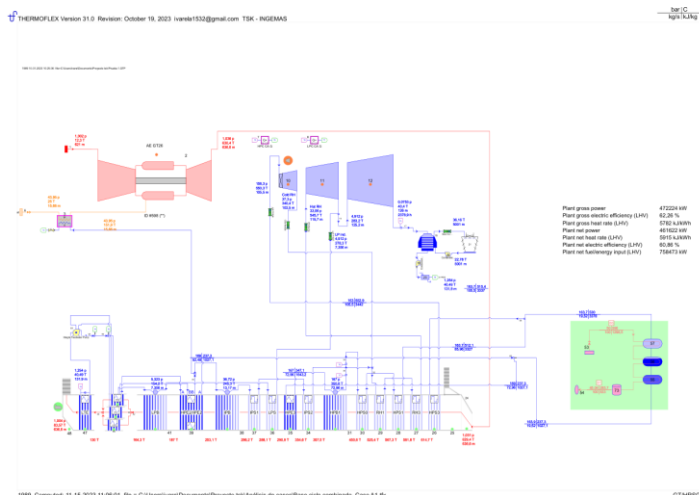


Figura 5. Ciclo completo del caso A1

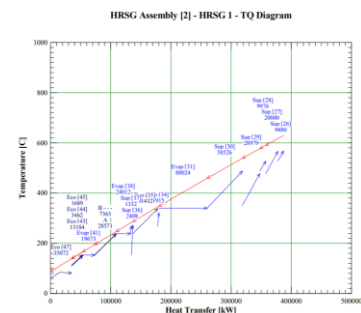


Figura 6. TvsQ del caso A1

La Figura 7 muestra la mejora en la eficiencia del ciclo global de los casos simulados. La configuración A2 es la que permite obtener la mayor eficiencia.

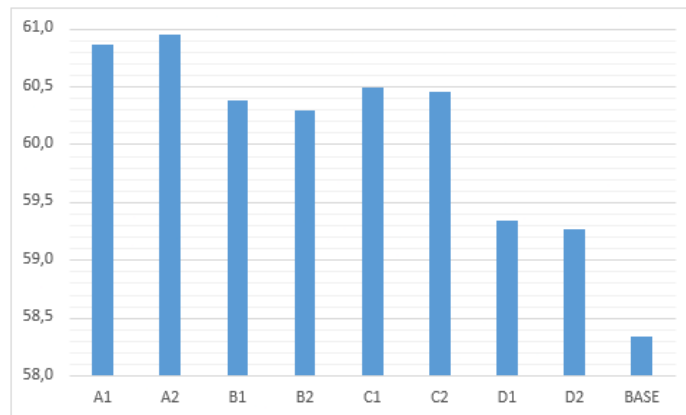


Figura 7. Eficiencia global obtenida para cada uno de los escenarios planteados y el caso base.

En total se han realizado 8 simulaciones del ciclo termodinámico, cuatro para cada uno de los modos de optimización: *Power boosting* y *Fuel saving*. A continuación, se resumen todos los escenarios simulados.

Caso: A1	Modo de optimización: <i>Power boosting.</i> Punto de inyección: Entre el economizador y el sobrecalentador de alta presión. Efecto beneficioso: Calienta el vapor de agua antes de entrar en el sobrecalentador. El vapor pierde menos calor (ya que el agua tiene más temperatura) y hace que la caldera en general sea más efectiva. Valoración: La eficacia de la planta en general aumenta y se produce más potencia.
Caso: A2	Modo de optimización: <i>Fuel saving.</i> Punto de inyección: Entre el economizador y el sobrecalentador de alta presión. Efecto beneficioso: Calienta el vapor de agua antes de entrar en el sobrecalentador. De este modo el vapor pierde menos calor (ya que el agua tiene más temperatura) y hace que la caldera en general sea más efectiva. Valoración: La eficacia de la planta en general aumenta y se ahorra combustible.
Caso: B1	Modo de optimización: <i>Power boosting.</i> Punto de inyección: Entre el economizador y el recalentador de media presión. Efecto beneficioso: Calienta el vapor de agua antes de entrar en el recalentador. De este modo el vapor pierde menos calor (ya que el agua tiene más temperatura) y hace que la caldera en general sea más efectiva. Valoración: La eficacia de la planta en general aumenta y se produce más potencia.
Caso: B2	Modo de optimización: <i>Fuel saving.</i> Punto de inyección: Entre el economizador y el recalentador de media presión. Efecto beneficioso: Calienta el vapor de agua antes de entrar en el sobrecalentador. De este modo el vapor pierde menos calor (ya que el agua tiene más temperatura) y hace que la caldera en general sea más efectiva. Valoración: La eficacia de la planta en general aumenta y se ahorra combustible.
Caso: C1	Modo de optimización: <i>Power boosting.</i> Punto de inyección: Entre el economizador y la turbina de media presión. Efecto beneficioso: Calienta vapor de agua antes de entrar en la turbina de media presión. De este modo, se consigue que en el recalentado haya menos cantidad de vapor, haciendo así más eficaz la caldera entera, ya que el gas pierde menos calor. Observaciones: No es necesario un primer economizador en la parte del ciclo solar, ya que el agua ya está lo suficientemente caliente como para entrar en el evaporador directamente. Valoración: La eficacia de la planta en general aumenta y se produce más potencia.
Caso: C2	Modo de optimización: <i>Fuel saving.</i> Punto de inyección: Entre el economizador y la turbina de media presión. Efecto beneficioso: Calienta vapor de agua antes de entrar en la turbina de media presión. De este modo, se consigue que en el recalentado haya menos cantidad de vapor, haciendo así más eficaz la caldera entera, ya que el gas pierde menos calor. Observaciones: No es necesario un primer economizador en la parte del ciclo solar, ya que el agua ya está lo suficientemente caliente como para entrar en el evaporador directamente. Valoración: La eficacia de la planta en general aumenta y se ahorra combustible.
Caso: D1	Modo de optimización: <i>Power boosting.</i> Punto de inyección: Entre el economizador y el sobrecalentador de baja presión. Efecto beneficioso: Calienta el vapor de agua antes de entrar en el sobrecalentador. De este modo el gas pierde menos calor (ya que el agua tiene más temperatura) y hace que la caldera en general sea más efectiva. Observaciones: No es necesario un primer economizador en la parte del ciclo solar, ya que el agua ya está lo suficientemente caliente como para entrar en el evaporador directamente. Valoración: La eficacia de la planta en general aumenta y se produce más potencia.
Caso: D2	Modo de optimización: <i>Fuel saving.</i> Punto de inyección: Entre el economizador y el sobrecalentador de baja presión. Efecto beneficioso: Calienta el vapor de agua antes de entrar en el sobrecalentador. De este modo el vapor pierde menos calor (ya que el agua tiene más temperatura) y hace que la caldera en general sea más efectiva. Observaciones: No es necesario un primer economizador en la parte del ciclo solar, ya que el agua ya está lo suficientemente caliente como para entrar en el evaporador directamente. Valoración: La eficacia de la planta en general aumenta y se ahorra combustible.

Como objetivo secundario, se está desarrollando un modelo numérico para estudiar la mezcla del vapor del campo solar inyectado en la tubería de vapor del ciclo combinado usando el software comercial Ansys Fluent. Las ecuaciones de gobierno del flujo son conservación de masa, de cantidad de movimiento y de energía. La mezcla de dos vapores con propiedades distintas se ha implementado con modelos multifase. El proyecto ha permitido determinar que la modelización de la mezcla es compleja, llegando a identificarse los siguientes aspectos importantes que afectan a los resultados numéricos:

- El modelo multifase. El modelo VOF predice una bolsa de vapor inmediatamente después de la unión de los dos fluidos. Sin embargo, el modelo multifase euleriano no presenta esa bolsa.

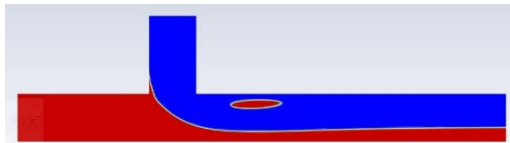


Figura 8. Fracción másica: VOF

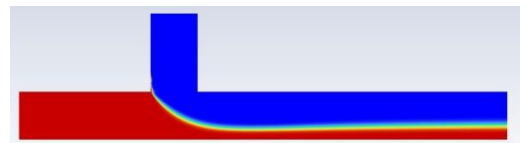


Figura 9. Fracción másica: Euleriano

- El efecto del perfil de velocidad en la entrada. Se ha impuesto un perfil uniforme de velocidad como condición de contorno en la entrada de los fluidos. Sin embargo, esta suposición tiene efecto en el espacio físico en la tubería del dominio computacional para llegar a que el flujo se desarrolle, y así adquiriera un perfil de velocidad similar al teórico.

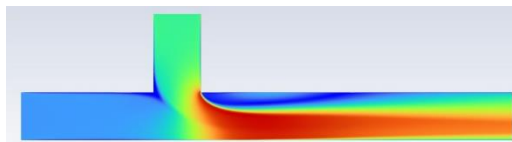


Figura 10. Velocidad: VOF

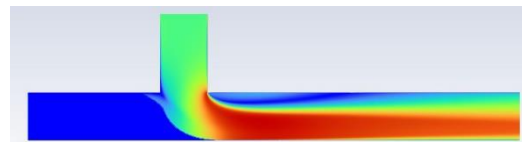


Figura 11. Velocidad: Euleriano

- Esquinas afiladas. La geometría en T no posee redondeos, lo que lleva a fenómenos más complejos en las aristas. Esta decisión ha sido motivada por la necesidad de mallados sencillos en previsión de optimizar la geometría, por lo que el efecto de la capa límite puede afectar a la solución.

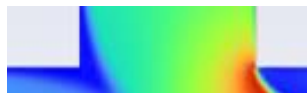


Figura 12. Detalle del comportamiento en las aristas

- Geometría por efecto Venturi: La forma de modelizar la entrada del campo solar ha sido muy simplificada. El tiempo de simulación necesita ser ampliado para alcanzar el tiempo de residencia y la convergencia.

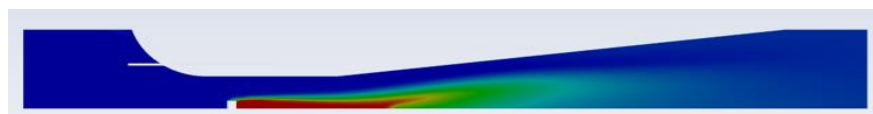


Figura 13. Resultados de los primeros pasos temporales de la simulación.

5. Trabajos o necesidades futuras

La parte del modelo termodinámico se ha finalizado con éxito y la colaboración con TSK continuará con reuniones previstas para el mes de enero (2024). Además, Se va a mejorar el modelo numérico que se tiene en CFD para simular la inyección de vapor y completar lo que ha quedado pendiente. La línea planteada para establecer una metodología de optimización de la geometría usando resultados del modelo numérico es muy interesante y se va a seguir trabajando en ello en el futuro inmediato.

6. Divulgación de los resultados

Se tiene previsto asistir a congresos internacionales de reconocido prestigio y la redacción de un artículo científico para enviarlo a revistas científicas indexadas con factor de impacto. También se dará visibilidad al proyecto con la publicación de las actividades en la página del Departamento de Energía cuando esté finalizado. Los resultados se presentarán en la Jornada de Presentación de Proyectos del IUTA.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	5.000,00 €
Fungibles	0,00 €
Amortización	0,00 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	0,00 €
TOTAL GASTOS	5.000,00 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	5.000,00 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0,00 €
Financiación propia		0,00 €
TOTAL INGRESOS		5.000,00 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-09

(AI4PSA) Modelado de la evolución del biomarcador PSA mediante técnicas IA para la predicción de la recidiva de cáncer de próstata

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 06 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

Víctor Manuel González Suárez

Otros investigadores:

Guillermo Lorenzo Gómez

Personal contratado:

José Ramón Suárez Bajo

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

University of Purdue, USA
Universidad de Pavía, Italia

Redes sociales de investigadores y empresas:

Héctor Gómez, Purdue: <https://www.linkedin.com/in/hector-gomez-7b14971b8/>
Guillermo Lorenzo Gómez, Pavía. <https://www.linkedin.com/in/guillermo-lorenzo-gomez-593aa630/>

Resumen Gráfico

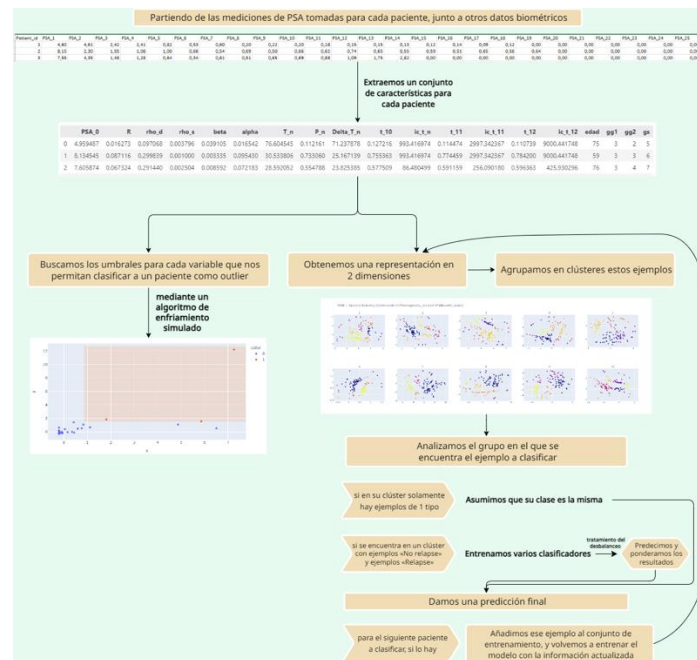


Figure 1. Imagen Resumen del Proyecto

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Antecedentes

Según el Instituto Nacional del Cáncer de USA [1], el Prostate Specific Antigen (antígeno prostático específico) o PSA es una proteína que producen tanto las células normales como las células malignas (cancerosas) de la próstata. La prueba del PSA se usa para medir la concentración del PSA en la sangre.

El PSA se considera un buen biomarcador del cáncer de próstata ya que hay una correlación directa entre la concentración elevada de PSA en sangre y dicha enfermedad. En 1986, la Administración de Alimentos y Medicamentos de USA (FDA) aprobó por primera vez la prueba de PSA para vigilar el avance del cáncer de próstata en los hombres que ya tenían un diagnóstico de la enfermedad. En 1994, la FDA aprobó el uso de la prueba del PSA para acompañar el Examen Digital del Recto (EDR) y ayudar a detectar el cáncer de próstata en los hombres de 50 o más años. A partir más o menos de 2008, muchos médicos y organizaciones profesionales recomendaban el uso de esta prueba en la detección sistemática anual del cáncer de próstata a partir de los 50 años.

Se han realizado varios estudios a nivel de Estados Unidos, de la UE y de Reino Unido sobre la incidencia del cáncer de próstata y el teste de PSA como mecanismo diagnóstico. Se ha demostrado que su uso tiene ciertas limitaciones en el diagnóstico inicial de la enfermedad, pero al mismo tiempo se ha demostrado que, la evolución de la PSA, en aquellos pacientes que han tenido la enfermedad y han sido sometidos a tratamiento de radioterapia, es un buen biomarcador de la probabilidad de recidiva de esta enfermedad.

Si la concentración del PSA de un hombre comienza a aumentar después del tratamiento de cáncer de próstata, podría ser el primer signo de recidiva. Esto se llama "recidiva bioquímica" y suele aparecer meses o años antes de que la recidiva cause síntomas.

Esta capacidad de anticipación de este biomarcador es lo que hace que sea tan interesante el controlar su evolución a lo largo del tiempo.

Sin embargo, la evolución de la PSA no es igual en todos los pacientes, sino que presenta diferencias sustanciales de unos a otros. De ahí que sea necesario contar con herramientas que permitan tener modelos de la evolución de PSA personalizados para cada paciente, que ayuden a los especialistas médicos a diagnosticar de forma más precisa la presencia o no de recidiva.

En este sentido, la Inteligencia Artificial (IA) puede ser una herramienta muy útil para desarrollar ese tipo de modelos de evolución de la PSA a medida de cada paciente.

Objetivo general

El objetivo por tanto de este proyecto fue la implementación de varios algoritmos de inteligencia artificial (IA) para modelar la evolución del biomarcador PSA para obtener un modelo de la evolución del mismo en pacientes con cáncer de próstata que habían sido sometidos a tratamiento mediante radioterapia, External Beam Radiation Therapy (EBRT). El objetivo era que el modelo desarrollado permitiera predecir la probabilidad que tiene un paciente de este tipo de sufrir una recidiva en su enfermedad.

Metodología

La experimentación planteada constó de dos partes:

1. Detección de outliers y análisis del grado de acierto.
2. Modelado y clasificación "on-line" que consistió en varias fases.

Resultados

Los resultados obtenidos en la detección valores atípicos (outliers) son razonablemente buenos, pues se consigue catalogar a una buena cantidad de los ejemplos tras la búsqueda.

El modelo desarrollado presenta un buen rendimiento aunque el desbalanceo del data set dificulta en cierta medida la comparativa de resultados entre modelos.

Los clasificadores analizados clasifican bien la mayoría de los ejemplos (que son de la clase "no relapse"). Sin embargo el gran reto de este problema es tratar adecuadamente con los ejemplos de la clase minoritaria (aquellos etiquetados como "relapse").

Trabajos futuros

La investigación no ha terminado con este proyecto. Los resultados obtenidos son esperanzadores pero se pueden seguir mejorando.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

En esta sección, recomendamos completar la siguiente tabla, añadiendo los apartados que se vean necesarios o quitando los que no se necesiten.

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Acortar el tiempo de detección de una recidiva de pacientes de cáncer de próstata que hayan sido sometidos a un tratamiento de radioterapia. Para ello se desarrollarán y validarán algoritmos de IA que permitan obtener modelos personalizados de evolución de la PSA en este tipo de pacientes		80%
Secundario/ Específico	Análisis de los modelos empleados en la actualidad para la predicción de la evolución de PSA.		100%
Secundario/ Específico	Análisis de la viabilidad de ampliar el data set de PSA existente con datos adicionales del paciente (edad, tipo de cáncer, Gleason Score, etc.		100%
Secundario/ Específico	Determinación de si con los datos existentes se pueden desarrollar modelos de forecasting (predicción)		100%
Secundario/ Específico	Determinación de si con los datos existentes se pueden desarrollar modelos de clasificación		100%
Secundario/ Específico	Comparación de las técnicas desarrolladas con las técnicas desarrolladas hasta ahora		100%
Secundario/ Específico	Difusión exitosa de los resultados del proyecto y de los beneficios de la tecnología desarrollada		10%
Secundario/ Específico	Identificar y proteger los nuevos conocimientos patentables		0%
Secundario/ Específico	Asentar una relación de colaboración entre la Universidad de Oviedo y la Universidad de Purdue (Indiana, USA).		100%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Análisis de los modelos empleados en la actualidad para la predicción de la evolución de PSA.						
Tarea 1.1	Revisión bibliográfica sobre modelado de la evolución de PSA.						
Fase 2	Análisis de la viabilidad de ampliar el data set de PSA existente con datos adicionales del paciente (edad, tipo de cáncer, Gleason Score, etc.)						
Tarea 2.1	Análisis en profundidad del data set.						
Tarea 2.2	Curación de los datos.						
Tarea 2.3	Selección de los datos más adecuado para completar los valores de PSA.						
Fase 3	Análisis de viabilidad e implementación del modelado mediante “forecasting”.						
Tarea 3.1	Análisis de técnicas de “forecasting”						
Tarea 3.2	Desarrollo de algoritmos de modelado mediante “forecasting”						
Fase 4	Análisis de viabilidad e implementación del modelado mediante clasificación.						
Tarea 4.1	Análisis de técnicas de clasificación de una y dos clases.						
Tarea 4.2	Desarrollo de los algoritmos de clasificación de una y/o dos clases.						
Fase 5	Comparación con los métodos actualmente en uso						
Tarea 5.1	Desarrollo de las métricas necesarias para la comparación de la eficacia de los algoritmos desarrollados en comparación con las técnicas empleadas en la actualidad						
Fase 6	Desarrollo de publicaciones científicas						
Tarea 6.1	Publicación en revistas y congresos de los resultados obtenidos						

Figure 2. Planificación del Proyecto

- **Fase 1:** Análisis de los modelos empleados en la actualidad para la predicción de la evolución de PSA.

Se confeccionó un estado del arte relativo a las técnicas empleadas para el modelado de la evolución de PSA.

- **Tarea 1.1:** Revisión bibliográfica sobre modelado de la evolución de PSA.
- **Fase 2:** Análisis de la viabilidad de ampliar el data set de PSA existente con datos adicionales del paciente (edad, tipo de cáncer, Gleason Score, etc.).

Se llevó a cabo un análisis profundo del data set para determinar la naturaleza de las variables y la posibilidad de ampliar el mismo con otros datos del paciente tales como bioquímica, etc. Concluyéndose que no era posible acceder a dichos datos.

 - **Tarea 2.1:** Análisis en profundidad del data set.
 - **Tarea 2.2:** Curación de los datos.
 - **Tarea 2.3:** Selección de los datos más adecuado para completar los valores de PSA.
- **Fase 3:** Análisis de viabilidad e implementación del modelado mediante “forecasting”.

Se valoró la posibilidad de realizar el modelado de la evolución de PSA mediante técnicas de forecasting (predicción). Para ello se analizaron las técnicas de forecasting más habitualmente empleadas, los problemas típicos a los que se aplican, las restricciones de cada una de ellas, etc. Se llegó a la conclusión que por la morfología del data set, no era posible aplicar este tipo de técnicas, por tanto descartándose su implementación.

 - **Tarea 3.1:** Análisis de técnicas de “forecasting”.
 - **Tarea 3.2:** Desarrollo de algoritmos de modelado mediante “forecasting”.
- **Fase 4:** Análisis de viabilidad e implementación del modelado mediante clasificación.

A continuación se valoró la posibilidad de implementar el modelo mediante técnicas de clasificación. Para ello se analizaron las técnicas de clasificación de una y dos clases más habitualmente empleadas, así como las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas en función de la naturaleza del data set. Se concluyó que previamente al proceso de clasificación era necesaria una fase de clusterizado para la detección de casos atípicos (outliers).

 - **Tarea 5.1:** Análisis de técnicas de clasificación de una y dos clases.
 - **Tarea 4.2:** Desarrollo de los algoritmos de clasificación de una y/o dos clases.
- **Fase 5:** Comparación con los métodos actualmente en uso.

Finalmente se establecieron las métricas más convenientes o adecuadas para poder comparar los resultados de los diferentes modelos desarrollados y se llevó a cabo la comparación.

 - **Tarea 5.1:** Desarrollo de las métricas necesarias para la comparación de la eficacia de los algoritmos desarrollados en comparación con las técnicas empleadas en la actualidad.
- **Fase 6:** Desarrollo de publicaciones científicas.

Esta fase no pudo ser completada en el tiempo previsto debido a que el desarrollo de los modelos llevó más tiempo del inicialmente previsto. La causa de este retraso es la naturaleza de las medidas de PSA que no siguen un patrón de frecuencia de muestreo idéntico en todos los sujetos, siendo además la frecuencia de muestro muy baja, impidiendo el poder aplicar técnicas clásicas de modelado de series temporales.

- **Tarea 6.1:** Publicación en revistas y congresos de los resultados obtenidos.

Metodología

La experimentación planteada constó de dos partes:

1. Detección de outliers y análisis del grado de acierto. Se empleó Zscore para determinar si una instancia era outlier o no. La idea era determinar mediante un algoritmo de búsqueda el mejor valor multiplicador K de la desviación típica para cada variable, de manera que las instancias fuera del intervalo $[\mu - K \cdot \sigma, \mu + K \cdot \sigma]$ se catalogasen como outliers y, además, fuesen mayoritariamente de la clase “RELAPSE”.

Se consideró un acierto si una instancia marcada como outlier pertenecía a la clase “RELAPSE”. En otro caso, se consideró un fallo.

A continuación se aplicó validación cruzada sobre los datos, de manera que cada individuo obtuvo un valor de “fitness” calculado como el valor mínimo/media/mediana de la tasa de error en outliers sobre los diferentes folds.

2. Modelado y clasificación “on-line”. Consistió en las siguientes fases:
 - Aplicar tSNE para llevar a cabo una transformación del dominio inicial a un dominio de dos dimensiones.
 - Para cada instancia de PSA de un paciente se procedió a aplicar clusterizado espectral del nuevo dominio.
 - Para el grupo al que pertenece esa nueva instancia de PSA a etiquetar se planteó hacer:
 - Extraer la nueva instancia del data set de train.
 - Entrenar clasificadores de 1 clase de tipo 1Class SVM y 1Class KNN.
 - Balancear el data set de train con un método no afectado por los outliers.
 - Entrenar clasificadores de 2 clases SVM y KNN con el data set balanceado.
 - Etiquetar la nueva instancia con cada clasificador.

La ratio de desbalanceo fija el peso de los clasificadores de 1C frente a los de 2C. Un 50% de balance implica un peso de 0.05 a los clasificadores de 1C, mientras que un 10% de balance implica un peso de 0.95 a los clasificadores de 1C. Los pesos de los clasificadores de 2C se obtienen restando a 1 el peso de los clasificadores de 1C.

- Usar la métrica F1 para “pesar” los clasificadores del mismo tipo. Así:

$$\text{- Peso 1CSVM} = F1_1\text{CSVM} / (F1_1\text{CSVM} + F1_1\text{CKNN})$$

- $\text{Peso 1CKNN} = F1_1\text{CKNN} / (F1_1\text{CSVM} + F1_1\text{CKNN})$
- $\text{Peso 2CSVM} = F1_2\text{CSVM} / (F1_2\text{CSVM} + F1_2\text{CKNN})$
- $\text{Peso 2CKNN} = F1_2\text{CKNN} / (F1_2\text{CSVM} + F1_2\text{CKNN})$
- Para determinar el mejor conjunto de hiperparámetros para los clasificadores de un clúster con más de una clase se utilizará Leave-One-Out sobre las instancias de train. Se seleccionará el conjunto de hiperparámetros que mejor métrica F1 obtenga.
- La etiqueta de la nueva instancia se realizará combinando los cuatro clasificadores (para clústeres con más de una clase) agregando la probabilidad de salida del clasificador utilizando los pesos entre clasificadores del mismo tipo y los pesos debido a balanceo. Si la nueva instancia se agrupó en un clúster con una sola clase, entonces se asume ésta como la etiqueta de la nueva instancia.
- Para la evaluación de este diseño on-line se utilizó validación cruzada de tipo 10-fold CV.
- Para cada instancia i en el data set de test se:
 - Aplicó el proceso descrito anteriormente, con i la nueva instancia a clasificar.
 - Añadió i con su etiqueta al data set de train.

4. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en la detección valores atípicos (outliers) son razonablemente buenos, pues se consigue catalogar a una buena cantidad de los ejemplos tras la búsqueda de valores atípicos. Aunque no todos los pacientes que sufren recaída se encuentran en los rangos de valores atípicos, al mismo tiempo que, aunque más raro, la presencia de algunos valores atípicos puede no conllevar recaída.

El modelo desarrollado presenta un AUC de 0,8 de que el paciente sufra una recaída, un F1 de entre 0,4 y 0,7, y una ACC superior al 0,9, aunque no la consideramos muy relevante porque el data set presenta un gran desbalanceo.

Los clasificadores analizados clasifican bien la mayoría de los ejemplos (que son de la clase “no relapse”). Sin embargo, el gran reto de este problema es tratar adecuadamente los ejemplos de la clase minoritaria (aquellos etiquetados como “relapse”).

Si comparamos el modelo desarrollado contra el uso de un clasificador simple, como puede ser aplicar directamente una SVM o KNN (ya sea de 1 clase o de 2) al conjunto de datos original, los resultados del modelo desarrollado son mejores y la información que nos aporta sobre cada paciente es mucho mayor.

Aun así, se deben seguir realizando pruebas y ajustes en el modelo.

5. Trabajos o necesidades futuras

La investigación no ha terminado con este proyecto. Los resultados obtenidos son esperanzadores pero se pueden seguir mejorando. Para ello es necesario realizar las siguientes investigaciones:

- Explorar distintas posibilidades de combinar los resultados de la búsqueda de outliers en cada una de las variables para alcanzar un resultado final más robusto.
- Analizar los resultados que nos da cada uno de los clasificadores de nuestro sistema por separado.
- Explorar la eficacia de los clasificadores del tipo árboles de decisión.
- Explorar los resultados que da nuestro sistema utilizando como guía otras medidas de la calidad del agrupamiento. Con las pruebas que tenemos, el agrupamiento guiado por el Silhouette Score parece un buen candidato.
- Aplicar esta detección de valores atípicos para mejorar el sistema de clasificadores.
- Estudiar cómo ensamblar los datos que nos proporcionan ambos métodos.

6. Divulgación de los resultados

La morfología del data set hizo que se tuviese que aplicar un preprocesado a los datos para hacer un cambio de dominio y una reducción de la dimensionalidad de los mismos no previstas inicialmente. Esto provocó que no se pudiese abordar la fase de divulgación de los resultados.

Se espera comenzar con la misma en breve. A continuación se muestran los congresos y revistas en los que se intentará publicar los resultados.

Entre los congresos en los que se planea publicar los resultados están los siguientes:

- SOCO 2024. 19th International Conference on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications.
- HAIS 2024. 19th International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems.
- IEEE CBMS 2024. IEEE 37th International Symposium on Computer Based Medical Systems.
- CASEIB 2024. XLII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica.

Entre las revistas en las que se prevé publicar resultados de este proyecto están:

- Neurocomputing (Elsevier Science BV). Q2. Índice de impacto a 5 años en 2021 de 5,416.
- Expert Systems. (John Wiley & Sons Ltd.). Q2. Índice de impacto a 5 años en 2021 de 2,617.
- Logic Journal of the IGPL (Oxford University Press). Q2 Índice de impacto a 5 años en 2021 de 0,848.
- iScience. (Cell Pres). Q1 Índice de impacto a 5 años en 2021 de 6,233.

Memoria económica

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	12.000€
Fungibles	3.000€
Amortización	1.000€
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc.)	6.000€
TOTAL GASTOS	19.300€

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.800€
Otras entidades / empresas financiadoras		0€
Financiación propia		15.500€
TOTAL INGRESOS		19.300€

I

PROYECTO REF. SV-23-GIJON-1-10

Análisis de la resiliencia hidrológica de infraestructura verde urbana bajo escenarios futuros de cambio climático en la ciudad de Gijón (ARHIVU)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

Luis Ángel Sañudo Fontaneda

Otros investigadores:

Cristina Allende Prieto y Jorge Rocés García

Personal contratado:

Valeria Guerbartchouk Pérez

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

Empresa Municipal de Aguas de Gijón, S.A. y EXCADE S.L.

Redes sociales de investigadores y empresas:

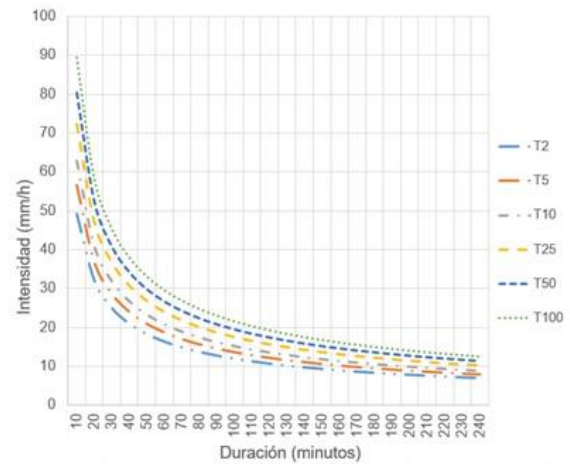
Grupo de investigación CEGE de la Universidad de Oviedo (Twitter e Instagram):

@cege_uniovi

EMASA (Instagram): @aguagijon

EXCADE (Instagram): @excade_sl

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Los problemas asociados a la gestión de las aguas pluviales representan una de las mayores causas de pérdidas de vidas humanas y daños económicos en las ciudades. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) proyectó un incremento de los episodios de inundaciones pluviales en gran parte de Europa durante los próximos años, siendo las infraestructuras de drenaje la primera línea de defensa urbana, convirtiéndose en un campo de gran interés para la comunidad científica.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) han sido elegidos por la Unión Europea como la infraestructura verde preferencial en la mitigación de riesgos climáticos asociados con la gestión de pluviales. Gijón es un referente en el Norte de España dentro de la temática a través del proyecto de desarrollo del manual técnico de SUDS llevado a cabo por el presente equipo investigador del IUTA en colaboración con EMASA y el Ayto. de Gijón. No obstante, existe un hueco en el conocimiento sobre el desarrollo de metodologías para el análisis de las condiciones de diseño actuales y su adaptación al cambio climático. Se ha destacado la necesidad de modificar las características hidrológicas de los SUDS para gestionar los incrementos de volúmenes de las proyecciones climáticas. La modelización de las condiciones presentes y futuras es fundamental para asentar dichos cambios, requiriéndose una mejora en la precisión de los modelos hidrológicos de SUDS usando casos de estudio en ambientes urbanos.

La realización de este proyecto, el cual consta de dos fases diferenciadas, permitiría desarrollar una metodología de análisis local en Gijón para el estudio de la resiliencia hidrológica de SUDS bajo escenarios climáticos presentes y futuros. Dichas fases consisten en el análisis hidrológico de las precipitaciones de la ciudad de Gijón y las variables de diseño SUDS necesarias para su posterior modelización y construcción. En una segunda fase, se utiliza un caso de estudio para el barrio de La Camocha.

Los resultados del proyecto permiten identificar el impacto significativo de la implementación de SUDS en áreas urbanas de la ciudad de Gijón, además de proporcionar los valores de la lluvia de diseño para el tratamiento de la calidad de aguas y las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) necesarias para dimensionar las secciones transversales de las técnicas SUDS en Gijón. Este proyecto supone un apoyo decidido a la práctica profesional de ingenieros/as y arquitectos/as de empresas consultores y de la administración pública de Gijón en el diseño de estos elementos de ingeniería en los proyectos de infraestructura verde de la ciudad.

El presente proyecto se alinea, por tanto, con el Plan Estratégico de Gijón 2026 y con el Plan de Acción Local de Gijón de la Agenda Urbana de Gijón 2030, apoyando a su vez al sector estratégico del IUTA en “Sostenibilidad y Economía Circular”, con énfasis en “vigilancia ambiental y cambio climático” y “urbanismo sostenible”.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Se presenta, a continuación, la Tabla 1 con la descripción de los objetivos principales y secundarios del proyecto, así como su correspondiente grado de consecución.

Tabla 1. Objetivos principales y secundarios del proyecto.

Tipo	Objetivo	Grado de consecución
Principal	Desarrollo de una metodología de análisis de la resiliencia hidrológica de infraestructura urbana de drenaje sostenible frente al cambio climático en la ciudad de Gijón, a través de la modelización del comportamiento hidrológico de SUDS bajo escenarios climáticos presentes y futuros	90 - 100%
Secundario/ Específico	Identificar los agentes participantes en el planeamiento y diseño de infraestructura de drenaje sostenible en Gijón, proponiendo los criterios e indicadores relacionados con la resiliencia hidrológica de SUDS en el Concejo	100 - 100%
Secundario/ Específico	Determinación de la información geoespacial de Gijón necesaria para la modelización hidrológica a partir de Sistemas de Información Geográfica	100 - 100%
Secundario/ Específico	Analizar los parámetros de diseño hidrológico de SUDS: lluvia de diseño para calidad de aguas, caudales de gestión de volúmenes, materiales y elementos constructivos	100 - 100%
Secundario/ Específico	Caracterizar las series de precipitaciones históricas de la ciudad de Gijón en las etapas pasada (1961-1990) y presente (1991-2020), identificando los patrones de modificación de cambio climático en las precipitaciones	100 - 100%
Secundario/ Específico	Determinar las proyecciones climáticas futuras de las precipitaciones en la ciudad de Gijón	50 - 100%

Secundario/ Específico	Aplicar metodología de análisis al caso de estudio del barrio de La Camocha, Gijón, utilizando herramientas geomáticas y de modelización del comportamiento de SUDS, proponiendo diversos escenarios de implementación de SUDS bajo condiciones presentes	90 - 100%
Secundario/ Específico	Proponer valores de cálculo futuros para el diseño hidrológico de SUDS: lluvia y caudales de diseño, y modificaciones de elementos estructurales SUDS	90 - 100%
Secundario/ Específico	Desarrollar una red internacional de grupos de investigación que desarrollen estrategias de adaptación al cambio climático mediante la implementación de SUDS	100 - 100%

Algunos de los objetivos secundarios más específicos no pudieron finalizarse al quedarse en proyecto en apenas 4 meses de duración (ver Tabla 1). Sin embargo, éstos serán completados durante los dos primeros meses del año 2024 asociados a los proyectos de investigación que han aportado apoyo económico y/o logístico al presente proyecto, y serán incorporados en el trabajo fin de grado (TFG) de la becaria de investigación del proyecto, Valeria Guerbartchouk. El TFG de Valeria es uno de los resultados académicos principales del proyecto de investigación.

3. Tareas realizadas:

En este apartado se muestran las tareas realizadas en cada una de las dos fases principales del proyecto, así como la duración de cada una de ellas dentro del periodo de ejecución del proyecto de investigación (Tabla 2).

Tabla 2. Fases y tareas del proyecto, incluyendo la duración de cada una de ellas.

ID	Descripción	MESES			
		1	2	3	4
Fase 1	Inicial de caracterización de precipitaciones y desarrollo de la metodología de análisis hidrológico				
Tarea 1.1	Identificación de los agentes participantes en el planeamiento y diseño de infraestructura de drenaje en Gijón				
Tarea 1.2	Propuesta de criterios e indicadores de resiliencia hidrológica de infraestructura de drenaje				
Tarea 1.3	Recopilación de información geoespacial tridimensional de la zona de estudio: Obtención de la información geoespacial derivada a partir de Sistemas de Información Geográfica; e integración de estos datos en el software de modelado hidrológico				
Tarea 1.4	Análisis de los parámetros de diseño hidrológico de SUDS: lluvia de diseño para calidad de aguas,				

	caudales de gestión de volúmenes, materiales y elementos constructivos				
Tarea 1.5	Caracterizar las precipitaciones de la ciudad de Gijón en la etapa pasada (1961-1990)				
Tarea 1.6	Caracterizar las precipitaciones de la ciudad de Gijón en la etapa presente (1991-2020)				
Tarea 1.7	Identificación de los patrones de modificación de precipitaciones por cambio climático (1961-2020)				
Tarea 1.8	Determinación de las proyecciones climáticas futuras de las precipitaciones en la ciudad de Gijón (2020-2100)				
Fase 2	Aplicación en caso real: Barrio de La Camocha, Gijón				
Tarea 2.1	Aplicación de la metodología al caso de estudio del barrio de La Camocha, Gijón, utilizando herramientas geomáticas y proponiendo diversos escenarios de implementación de SUDS bajo condiciones presentes y futuras de precipitaciones				
Tarea 2.2	Propuesta de valores de diseño futuros para SUDS, así como potenciales modificaciones de elementos estructurales para aumentar su resiliencia al cambio climático				

- **Fase 1:** Inicial de caracterización de precipitaciones y desarrollo de la metodología de análisis hidrológico. Durante esta fase se recabaron los datos meteorológicos asociados con las precipitaciones en la ciudad de Gijón y se hizo su análisis en clave hidrológica asociada con las variables de diseño de un SUDS.
 - **Tarea 1.1:** Identificación de los agentes participantes en el planeamiento y diseño de infraestructura de drenaje en Gijón. Se estudiaron los principales agentes asociados con los elementos de drenaje en la ciudad de Gijón, así como aquellos que pudieran estar relacionados con los SUDS, los cuales al tratarse de infraestructura verde multifuncional pueden depender de varios departamentos dentro del mismo Concejo, además de llevar diversas empresas constructoras de diferente especialización.
 - **Tarea 1.2:** Propuesta de criterios e indicadores de resiliencia hidrológica de infraestructura de drenaje. Estudio de la literatura científica y de las guías técnicas existentes sobre el diseño hidrológico de drenaje del tipo SUDS, centrándose en la identificación de los criterios e indicadores que permiten analizar y cuantificar la resiliencia. Para ello, se utilizó la base de datos científica Scopus (ELSEVIER) utilizando las palabras clave asociadas con los SUDS y la resiliencia.

- **Tarea 1.3:** Recopilación de información geoespacial tridimensional de la zona de estudio: Obtención de la información geoespacial derivada a partir de Sistemas de Información Geográfica; e integración de estos datos en el software de modelado hidrológico. Esta tarea consistió en la recolección de los principales datos asociados con la infraestructura de drenaje de la zona de estudio, así como de su topografía, permitiendo su paso al software de modelado hidrológico SWMM. Se utilizó el software QGIS para dicha labor.
- **Tarea 1.4:** Análisis de los parámetros de diseño hidrológico de SUDS: lluvia de diseño para calidad de aguas, caudales de gestión de volúmenes, materiales y elementos constructivos. Estudio de las variables de diseño hidrológico de un SUDS desarrollando los cálculos específicos de la zona de estudio. Para ello, se estudiaron las funciones de distribución de datos extremos que mejor se ajustasen a los registrados en las estaciones meteorológicas de estudio (Moccia et al., 2021), sirviéndose del análisis estadístico con el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), el test Chi, el error mínimo cuadrático (ECM) y el coeficiente de determinación (R^2).
- **Tarea 1.5:** Caracterizar las precipitaciones de la ciudad de Gijón en la etapa pasada (1961-1990). Estudio de las variables hidrológicas de diseño de la tarea 1.4 para el periodo específico de 1961 a 1990, siguiendo las recomendaciones metodológicas de la World Meteorological Organization (WMO) (2015). Dicho periodo es el denominado pasado, el cual será usado para comparar con el presente (época actual) y el futuro, obtenido a través de las proyecciones climatológicas. Todas las series temporales deberán de tener, al menos, 30 años de duración.
- **Tarea 1.6:** Caracterizar las precipitaciones de la ciudad de Gijón en la etapa presente (1991-2020). El siguiente paso viene marcado por el siguiente periodo de tiempo recomendado por la WMO y correspondiente con la época actual.
- **Tarea 1.7:** Identificación de los patrones de modificación de precipitaciones por cambio climático (1961-2020). En esta tarea se examinaron las principales variables y sus posibles modificaciones influyendo en el diseño de los SUDS hasta la época actual según la WMO.
- **Tarea 1.8:** Determinación de las proyecciones climáticas futuras de las precipitaciones en la ciudad de Gijón (2020-2100). Identificación de los principales modelos climáticos asociados con el área geográfica de estudio y de las principales técnicas de regionalización en la desescalada espacial desde un ámbito prácticamente continental a uno regional y local. Posteriormente, se desarrollarán los cálculos que permitan obtener los valores de diseño hidrológico para la época futura hasta el año 2100 divididos en tres etapas temporales de 30 años cada una.

- **Fase 2:** Durante esta fase se recabaron los datos meteorológicos asociados con las precipitaciones en la ciudad de Gijón y se hizo su análisis en clave hidrológica asociada con las variables de diseño de un SUDS. Se diseñará el modelo de drenaje de La Camocha en SWMM, a partir de los datos geoespaciales previamente tratados, aplicando diferentes escenarios de implementación de SUDS como sigue, así como la utilización del modelo de onda dinámica recomendado por Rosa et al. (2015) para la modelización de SUDS en cuencas urbanas, y el modelo de infiltración Green-Ampt utilizado en Sañudo-Fontaneda et al. (2018): Escenario 0 (control): situación actual sin SUDS; Escenario 1: 10% del área drenada de la zona de estudio ocupado por SUDS; Escenario 2: 25% del área drenada de la zona de estudio ocupado por SUDS.
 - **Tarea 2.1:** Aplicación de la metodología al caso de estudio del barrio de La Camocha, Gijón, utilizando herramientas geomáticas y proponiendo diversos escenarios de implementación de SUDS bajo condiciones presentes y futuras de precipitaciones.
 - **Tarea 2.2:** Propuesta de valores de diseño futuros para SUDS, así como potenciales modificaciones de elementos estructurales para aumentar su resiliencia al cambio climático.

4. Resultados obtenidos:

Los principales resultados obtenidos en el proyecto se presentan a continuación, destacando el cálculo de una lluvia de diseño de SUDS para el Concejo de Gijón.

- Se ha determinado la altura de la lluvia de diseño para la calidad de aguas de los SUDS en el Concejo de Gijón, aportando los valores en mm en función de los percentiles asociados con las probabilidades de no ocurrencia de un evento de tal magnitud. Los valores fueron determinados utilizando 3 periodos de tiempo de 30 años de datos de precipitaciones: época pasada (1973-2002), representando el periodo básico de comparación de los posteriores; época actual a través de dos periodos de 30 años solapados 10 años (1983-2012 y 1993-2022), que permiten analizar el patrón actual y la diferencia existente con el pasado. Dichos periodos supusieron una variación respecto de los propuestos inicialmente en la metodología, dado que la serie de precipitaciones era más robusta en esos rangos temporales (Tabla 3).

Tabla 3. Altura (mm) de la lluvia de diseño SUDS para el Concejo de Gijón en función del periodo temporal de estudio y el percentil de distribución.

1973-2002	99 th	95 th	90 th	80 th	70 th	50 th
	39	21	15	9	6	3
1983-2012	99 th	95 th	90 th	80 th	70 th	50 th
	38	21	15	9	5	3
1993-2022	99 th	95 th	90 th	80 th	70 th	50 th
	38	21	15	9	6	3

- Además de la determinación de los cálculos de frecuencias estadísticas extremales mostrados en la Tabla 3, se obtuvieron los valores del óptimo de la curva de distribución de la precipitación diaria máxima en mm y la probabilidad de no excedencia de dicho evento. Fruto de ello, se proponen los siguientes valores de la lluvia de diseño para el Concejo de Gijón en su vertiente de diseño para el tratamiento de la calidad de aguas mediante un elemento constructivo de infraestructura de drenaje del tipo SUDS (ver Tabla 4). En todos los periodos de estudio puede apreciarse que el valor óptimo de la curva se alcanza en el percentil 90 o ligeramente por encima (92).

Tabla 4. Valor óptimo de la altura (mm) de la lluvia de diseño SUDS para el Concejo de Gijón en función del periodo temporal de estudio y el percentil de distribución en el que se alcanzó dicho valor óptimo.

Gijón	1973-2002	1983-2012	1993-2022
	15 (90 th)	16 (92 nd)	15 (90 th)

- Se obtuvieron las funciones de distribución de valores extremos del tipo Gumbel, GEV y SQRT-max mediante el método de los L-momentos, llegando a los valores mostrados en la Tabla 5, los cuales permiten determinar que las funciones que ofrecen un mejor ajuste con los datos registrados en las estaciones meteorológicas del Concejo de Gijón son las SQRT-max en los dos primeros periodos temporales y GEV en el periodo de tiempo actual. Las funciones de distribución permitieron la posterior construcción matemática de las curvas IDF, las cuales son fundamentales para la determinación de los hietogramas sintéticos de diseño y las modelizaciones en software especializado.

Tabla 5. Funciones de distribución elegidas y resultados de las pruebas de la bondad de ajuste.

1973-2002	R ²	NSE	ECM	Chi
SQRT-max	0,9252	0,9111	58,4412	0,9544
1983-2012	R ²	NSE	ECM	Chi
SQRT-max	0,9610	0,9590	30,9739	0,9733
1993-2022	R ²	NSE	ECM	Chi
GEV	0,9512	0,9380	14,7104	0,9999

- En el proyecto se construyeron las curvas IDF para el Concejo de Gijón (Figura 1), utilizando el periodo de tiempo actual, dada la similitud entre las series temporales de 30 años con solapes de 10 años utilizadas en el estudio. La función de distribución utilizada para su construcción fue la GEV, dado que fue la de mejor ajuste para el periodo de estudio actual (ver Tabla 5). Las curvas calculadas serán de gran apoyo para los proyectistas de SUDS en la ciudad de Gijón, permitiendo el desarrollo de los hietogramas sintéticos, especialmente para cuencas urbanas pequeñas con tiempos de concentración inferiores a las 6 horas, como es el caso de Gijón, y periodos de retorno típicos de los SUDS ente 2 y 10 años.

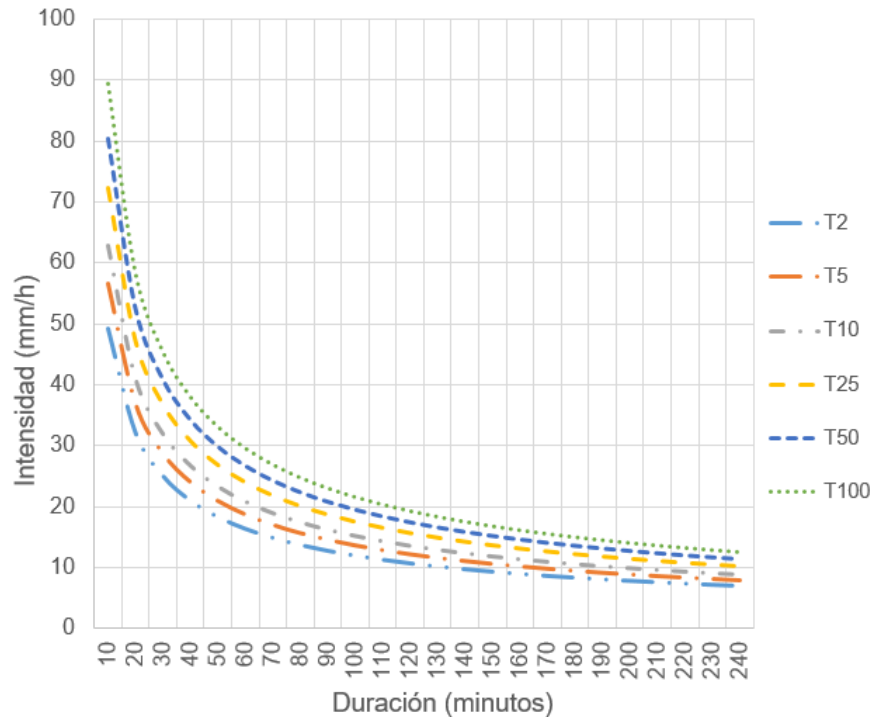


Figura 1. Curvas IDF para el Concejo de Gijón en el periodo actual 1993-2022.

- Por último, cabe destacar los resultados obtenidos en la aplicación del caso de estudio en el barrio de La Camocha, Gijón. Se llegó a la conclusión de que, dadas las circunstancias especiales del barrio en cuanto a sus características específicas locales, tanto topográficas y de zonas inundables, como geológicas e hidrológicas, los SUDS más recomendables son los parterres inundables o jardines de lluvia y los pavimentos permeables. Dichas recomendaciones se basan principalmente en el condicionante de que los SUDS serían aplicados en infraestructuras verdes asociadas con espacios públicos, descartando otras tipologías SUDS más apropiadas para su implementación en edificaciones privadas. Se desarrolló un modelo en el software US EPA SWMM en su versión 5.2 como el que se muestra en la Figura 2. Se representaron el comportamiento hidrológico de la zona de estudio incluyendo la capa atmosférica, capa del terreno, las aguas superficiales y subterráneas, y los modos de transporte.

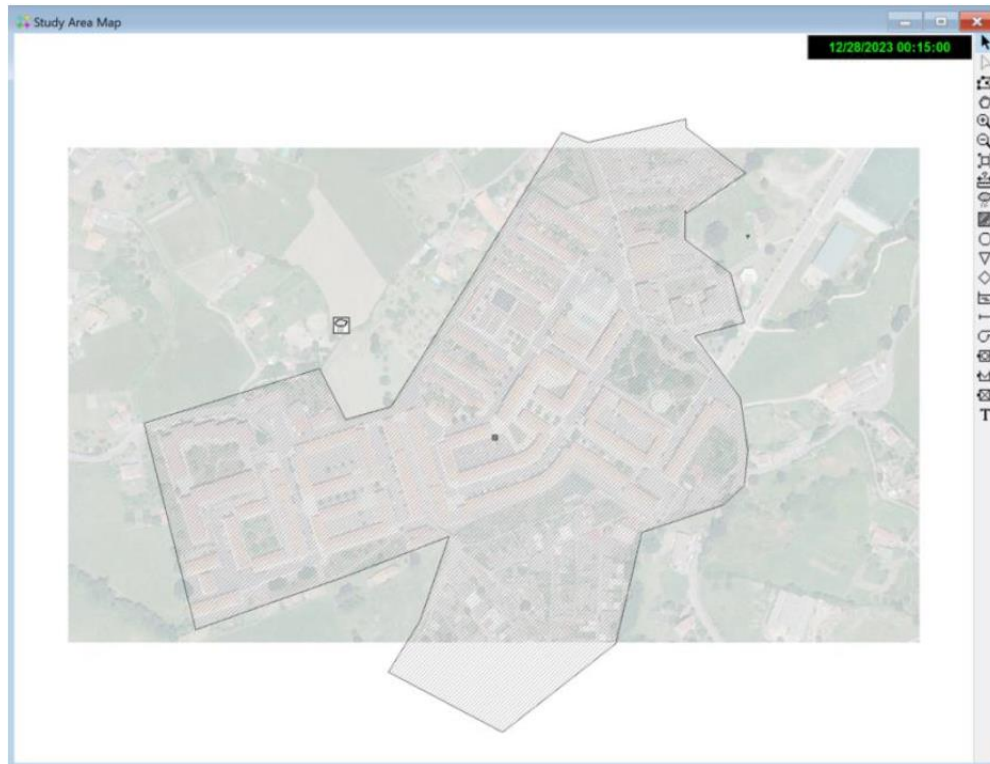


Figura 2. Esquema de la zona de estudio dentro del software SWMM.

- La aplicación del evento de diseño sintético sobre diferentes escenarios en la zona de estudio de La Camocha permitió identificar el impacto hidrológico de la implementación de las dos tipologías de SUDS seleccionadas, determinando una reducción significativa en la escorrentía superficial medida en el punto de desagüe del área de estudio. Dicha reducción se obtiene en comparación a la situación actual de toda la cuenca, demostrando que la implementación de técnicas SUDS permite lograr reducciones de hasta un 75% en los caudales de escorrentía (Tabla 6) que serían posteriormente transportados por el drenaje convencional y alcanzarían las estaciones de tratamiento de aguas. Por tanto, se podría alcanzar una reducción importante, tanto en la hidrología, como en el gasto energético de los bombeos y tratamientos.

5. Trabajos o necesidades futuras

El trabajo realizado en el presente proyecto ha sido extenso a pesar del poco tiempo que se ha tenido para su realización y a lo ambicioso de sus objetivos iniciales. A partir de los resultados alcanzados, los investigadores proponen las siguientes líneas de trabajo:

- Determinación de los valores futuros de diseño, los cuales no pudieron finalizarse durante el presente proyecto.
- Comparación de los escenarios futuros con los actuales.
- Estudio de otras técnicas SUDS y de diferentes escenarios.

Además, se continuará con la presente línea de trabajo mediante el desarrollo de dos proyectos de investigación detallados a continuación:

- Grupo emergente Civil, Environmental and Geomatics Engineering (CEGE) de la Universidad de Oviedo a través de la modalidad COMIENZA para la financiación de grupos de investigación. El periodo de ejecución del proyecto comienza el 5 de julio de 2023, extendiéndose hasta el 15 de mayo de 2024. I.P.: Luis Ángel Sañudo Fontaneda.
- “Proyección de la Resiliencia de infraestructura Verde urbana al fallo hidrológico bajo escenarios presentes y futuros de cambio climático a través de la monitorización de campo y la modelización (PReVer)”. Proyecto de investigación asociado con la beca estancias de movilidad en el extranjero “José Castillejo” para jóvenes doctores (modalidad b) en colaboración con el Programa Fulbright de los EE. UU. Duración desde el 1 de mayo de 2024 hasta el 31 de agosto de 2024. I.P.: Luis Ángel Sañudo Fontaneda.

6. Divulgación de los resultados

Los resultados del proyecto serán presentados en las jornadas de proyectos del IUTA durante el año 2024, cuyas fechas aún están pendientes de concretarse. De igual manera, los resultados serán presentados como TFG de finalización de estudios de ingeniería civil por parte de Valeria, tal y como se señala en mayor detalle en la Tabla 7. Además, se espera poder enviar los resultados a congresos de la International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR), la International Water Association (IWA) y/o las Jornadas de Ingeniería del Agua (JIA) en España durante el año 2024, los cuales aún no tienen fecha definida de celebración.

Tabla 7. Divulgación de los resultados.

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
<i>Proyecto SV-23-GIJON-1-10</i>	Valeria Guerbartchouk Pérez, Luis Á. Sañudo Fontaneda, Cristina Allende Prieto y Jorge Rocés García	Com. Oral	<i>Jornadas de Proyectos IUTA</i>	Gijón (Spain), fecha por determinar en 2024
<i>Diseño de SUDS en el barrio de La Camocha bajo escenarios de cambio climático</i>	Valeria Guerbartchouk Pérez	TFG	<i>TFG del Grado en Ingeniería Civil (mención de construcciones civiles)</i>	Mieres (España), junio-julio de 2024

Memoria económica:

1. Gastos:

Se presentan, a continuación, los gastos asociados al proyecto durante las fechas de ejecución del mismo (ver Tabla 8). No se incluyen gastos derivados de ponencias en congresos y conferencias debido a que los congresos tendrán lugar en fechas posteriores a la ejecución del proyecto.

Tabla 8. Gastos asociados al proyecto.

Concepto	Gasto
----------	-------

Personal (IUTA)	4.750 €
Fungibles	200 €
Amortización	550 €
Datos de precipitaciones (cedidos al proyecto)	0 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc.)	0 €
TOTAL GASTOS	5.500 €

2. Ingresos:

Los ingresos finales que han permitido y apoyado el desarrollo del proyecto de investigación se presentan a continuación en la Tabla 9. Cabe destacar también la provisión de datos de precipitaciones a través de otro de los proyectos colaboradores.

Tabla 9. Ingresos asociados al proyecto y provisión de datos sin coste al proyecto.

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA mediante proyecto con ref. SV-23-GIJON-1-10	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.750 €
Empresa Municipal de Aguas de Gijón, S.A. mediante proyecto con ref. FUIO-21-226	Datos de precipitación 10-minutales de Gijón (cedidos sin repercusión económica a través del proyecto)	0 €
Universidad de Oviedo a través de financiación para grupo de investigación emergente CECE mediante proyecto con ref. PAPI-23-GR-COM-05	Fungibles	250
Financiación propia procedente del grupo de investigación emergente CECE	Equipos informáticos y fungibles	500 €
TOTAL INGRESOS		5.500 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-11

Utilización de materiales residuales en procesos de adsorción/tratamiento terciario de aguas residuales industriales (ADSORWASTE)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 09 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

Jesús Avelino Rodríguez Iglesias

Otros investigadores:

Yolanda Fernández Nava

Leonor Castrillón Peláez

Beatriz Suárez Peña

Personal contratado:

Carlos Menéndez Llamedo

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

Compañía para la Gestión de Residuos Sólidos en Asturias (COGERSA, SAU)

ArcelorMittal Asturias

DAORJE SLU

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://gia.grupos.uniovi.es/>

<https://www.cogersa.es/>

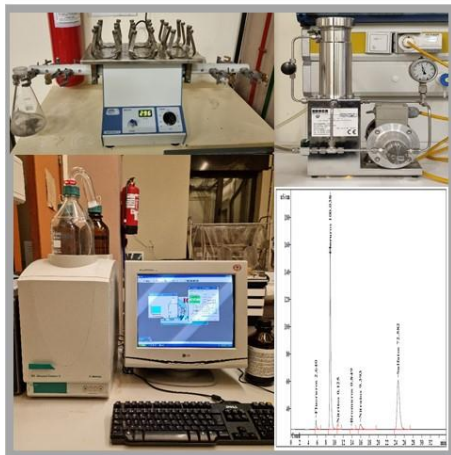
<https://spain.arcelormittal.com/>

<https://daorje.zimacorp.es/>

Resumen Gráfico

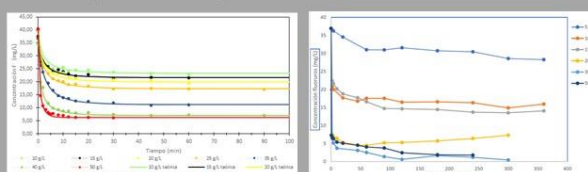
Utilización de materiales residuales en procesos de adsorción/tratamiento terciario de aguas residuales industriales (ADSORWASTE)

Metodología

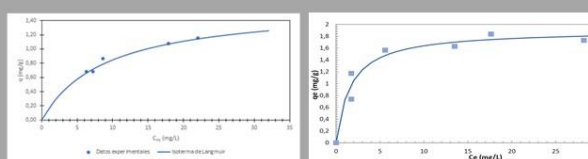


Resultados

Representación gráfica de los resultados cinéticos



Representación gráfica de la isoterma de Langmuir



Escoria de horno alto

Finos de cok

Conclusiones: Tras una activación física seguida de una activación química, los residuos (escorias + finos de cok) se convierten en adsorbente específicos para eliminar fluoruros de agua residuales.

Con la escoria de horno alto se consiguen un rendimiento máximo del 86% y con los finos de cok hasta 93%.

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Tanto dentro de las actividades industriales tanto como en el ámbito de la gestión de residuos existen una serie de residuos industriales sólidos que presenta cierta capacidad de adsorción y que son susceptibles de ser reutilizado como adsorbentes tras su clasificación, limpieza y activación. Este tipo de residuos destaca por su alto potencial de reciclado y reutilización. En este proyecto se evaluaron residuos generados dentro del proceso de la siderurgia integral, tales como escorias de horno alto y los finos de cok. En este proyecto se ha valorado la reintroducción en el proceso productivo de materiales considerados residuales y hacerlo de forma que su capacidad de adsorción los convierta en materiales valiosos para los procesos de producción. En base a la investigación que se plantea se podrá proponer escenarios de gestión más sostenibles, responsables y eficientes. El objetivo general del proyecto es utilizar residuos industriales sólidos como materiales adsorbentes sustitutos de materiales comerciales como el carbón activado. Dichos residuos serán activados térmica y químicamente para poder ser reutilizados en la misma actividad industrial sustituyendo materias primas y contribuyendo a alcanzar una economía circular efectiva.

El proyecto permite obtener información de interés para la reutilización de parte de los residuos generados a escala industrial. Este trabajo presenta oportunidades económicas para las empresas participantes, ya que muchos materiales reciclados tienen costes de producción que les permite competir con los adsorbentes comerciales, como es el caso del carbón activado. Por otra parte, el reciclado de materiales genera crecimiento de empleo en las actividades de reciclado, tratamiento y producción de los materiales.

Se han modificado residuos sólidos como la escoria o los finos de mineral mediante impregnación química y térmica, para evaluar su capacidad de adsorción de microcontaminantes presentes en aguas residuales industriales como fluoruros y/o bromuros y permitir su aplicación en columnas de relleno. Las materias primas utilizadas durante los ensayos de adsorción de los contaminantes estudiados fueron, por una parte, la escoria sólida generada en el horno alto durante el proceso de producción de acero, residuos de finos de cok generados en el proceso de producción de cok siderúrgico y agua residual de baterías de cok, medio líquido del cual se pretende reducir la presencia de contaminantes (adsorbato). Se caracterizó la composición del agua residual utilizada.

La determinación de todos los parámetros se lleva a cabo con el agua filtrada pero alguno de ellos se puede determinar también en el agua bruta, como puede ser el pH, la conductividad, DQO y los SST, y de esta forma se comprueba el motivo por el cual se prefiere la utilización de agua filtrada.

La escoria de horno alto con la que se trabaja presenta suciedad, material sólido fino y polvo que perjudican el proceso de adsorción al ocupar los intersticios presentes en el residuo sólido, además de transmitir esa suciedad al agua residual del cual se busca retirar contaminantes, por lo que ocurriría un proceso inverso al que se pretende. El lavado de escoria se realiza antes de cada uno de los ensayos de adsorción una vez separada la cantidad de residuo que se va a introducir en cada uno de ellos. El procedimiento se basa en la puesta en contacto de la escoria bruta con agua destilada en agitación durante el tiempo suficiente para que la escoria se desprenda de la suciedad y ésta pase al agua. Tras este periodo se filtra para obtener de nuevo la escoria y volver a introducirla junto con agua destilada y repetir el proceso. Estos pasos se realizan hasta que el filtro de 0,45 μm con el que se separa el agua de la escoria quede limpio, indicando así que se ha retirado toda la suciedad. A continuación, se introduce la escoria en una estufa a 105 °C durante 24 horas para secarla. Una vez terminado el proceso ya se dispone de la escoria lista para iniciar el ensayo.

Los finos de cok utilizados se producen en el proceso de apagado del cok una vez extraídos del horno, posteriormente estos finos son separados de la fase acuosa por decantación. Los finos de cok constituyen un residuo/subproducto ya que no se pueden reutilizar directamente y la empresa debe gestionarlos como tal. Para la preparación del cok que se va a utilizar en los ensayos de adsorción, es necesario realizar una tamización con el fin de recoger los tamaños deseados. La tamización del cok debe realizarse con un cok totalmente seco. Por ello, antes de introducirlo en el tamiz, es importante dejarlo durante al menos 24 horas en una estufa a 105 °C para eliminar así toda la humedad que pueda contener. El primer paso antes de realizar cualquier ensayo de adsorción es lavar el cok correctamente eliminando con ello cualquier contaminante que pueda contener. El cok es en sí un material que contiene abundante polvo, el cual es necesario eliminar para evitar que tapone los poros y el proceso de adsorción se lleve a cabo correctamente.

En el desarrollo de este trabajo se ha demostrado que tanto la escoria de horno alto como los residuos de finos de cok se pueden utilizar como adsorbentes después de llevar a cabo una activación física seguida de una activación química, los residuos se comportan como adsorbentes y reducen la concentración de ciertos contaminantes en las aguas de coquerías, como pueden ser DQO y fluoruros.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

En esta sección, recomendamos completar la siguiente tabla, añadiendo los apartados que se vean necesarios o quitando los que no se necesiten.

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Activación de residuos sólidos como la escoria o los finos de cok mediante impregnación química, para evaluar su capacidad de adsorción de microcontaminantes		100%
Secundario/ Específico	Análisis bibliográfico y documental		100%
Secundario/ Específico	Caracterización del material.		100%
Secundario/ Específico	Determinar la capacidad de adsorción de cada residuo		100%
Secundario/ Específico	Estudio de activación térmica y química de los residuos		100%
Secundario/ Específico	Ensayos de equilibrio		100%
Secundario/ Específico	Ensayos cinéticos		100%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES			
		1	2	3	4
Fase 1	Estudio de escoria / finos de cok como adsorbente				
Tarea 1.1	Análisis bibliográfico y documental				
Tarea 1.2	Caracterización del material				

ID	Descripción	MESES			
		1	2	3	4
Tarea 1.2	Ensayos para evaluación de capacidad de adsorción				
Fase 2	Estudio de métodos de activación				
Tarea 2.1	Ensayos con residuo activado térmicamente				
Tarea 2.2	Ensayos con residuo activado químicamente				
Tarea 2.3	Ensayos con residuo activado de ambas formas				
Fase 3	Ensayos de equilibrio				
Tarea 3.1	Ensayos de equilibrio y modelización				
Fase 4	Estudio de cinética de adsorción				
Tarea 4.1	Ensayos cinéticos y modelización de curvas cinéticas				

FIGURA 3. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.

- **Fase 1:** Estudio de escoria de horno alto / finos de cok como adsorbente

- **Tarea 1.1:** Análisis bibliográfico y documental

Se consultaron y analizaron de forma crítica la normativa europea, estatal, regional y municipal (Directivas, leyes, Ordenanzas), los planes de gestión de residuos en vigor, así como las propuestas realizadas por la Unión Europea y la Administración que son de aplicación. Se realizó un análisis bibliográfico de la tecnología existente aplicada en la reutilización de residuos sólidos como adsorbentes. Se revisó la bibliografía relacionada y se realizó un estudio crítico de la información encontrada para identificar usos potenciales de los materiales recuperados.

- **Tarea 1.2:** Caracterización del material

Se determinó el área específica y la distribución del tamaño de poro del residuo partir de la isoterma de adsorción-desorción. El área específica se determina mediante la ecuación de Brunauer-Emment-Teller (BET) y la distribución de tamaño de poro se obtendrá por medio de cálculos de la teoría funcional de la densidad (DFT). Dentro de esta etapa se incluye la caracterización del agua residual industrial

- **Tarea 1.3:** Ensayos para evaluación de capacidad de adsorción

La escoria de horno alto y los finos de coke se evalúan para establecer si son válidos como agentes adsorbentes. En esta primera tarea se realizan ensayos de equilibrio para establecer si los resultados utilizando este residuo son los esperados de acorde al proceso estudiado, o por el contrario su utilización no es apta. En los ensayos de equilibrio se valoran diferentes concentraciones y tamaños de escoria con el agua residual utilizado y se obtiene una aproximación del proceso a partir del cual continuar la investigación.

- **Fase 2:** Estudio de métodos de activación
 - **Tarea 2.1:** Ensayos con residuo activado térmicamente.

La escoria de horno alto se activa térmicamente mediante su calcinación en una mufla. Se realizan ensayos de equilibrio para determinar la variación de los resultados obtenidos realizando este tratamiento al residuo.

- **Tarea 2.2:** Ensayos con residuo activado químicamente.

La escoria de horno alto y los finos de cok se activan químicamente mediante la utilización de una disolución de aluminio con un contenido en Al_2O_3 del 10% con el fin de establecer una mayor capacidad de adsorción gracias a la aparición del fenómeno de quimisorción, es decir, de enlaces químicos entre el adsorbato y el adsorbente. Se realizan ensayos de equilibrio para determinar la variación de los resultados obtenidos realizando este tratamiento al residuo.

- **Tarea 2.3:** Ensayos con residuo activado de ambas formas.

La escoria de horno alto y los finos de cok se activan de forma térmica y química, combinando los métodos estudiados en las tareas anteriores. Su combinación tiene como objetivo mejorar los resultados obtenidos aprovechando las características que proporcionan ambas formas de activación. Con los ensayos de equilibrio realizados se puede encontrar una situación óptima en la que la reducción de contaminantes sea considerable y con la que estudiar la cinética de adsorción de la escoria de horno alto.

- **Fase 3:** Ensayos de equilibrio
 - **Tarea 3.1:** Ensayos de equilibrio y modelización.

Una vez que se conoce como actúan los residuos en contacto con el agua residual, se trabaja variando las condiciones en las que se pone en contacto ambos materiales mediante ensayos con agua residual de pH diferentes. Mediante ensayos de equilibrio se determina la forma de operación que se utilizará en fases posteriores

- **Fase 4:** Estudio de cinética de adsorción
 - **Tarea 4.1:** Ensayos cinéticos y modelización de curvas cinéticas.

Se realizan ensayos cinéticos con diferentes concentraciones de escoria activada para ver la evolución de la concentración de contaminantes en el agua residual con el tiempo. De esta forma se puede modelizar las curvas cinéticas para cada concentración de escoria en el agua residual y establecer una relación mediante la curva de equilibrio.

4. Resultados obtenidos:

4.1. Escoria de horno alto

Resultado de ensayo con activación mediante calcinación a 550 °C

Los resultados del ensayo en el que la escoria se activa mediante calcinación a 550 °C en una mufla para eliminar sustancias volátiles y reestructurar la superficie del adsorbente muestran mayor porosidad, lo que se refleja en un aumento de adsorción y por tanto menor concentración tanto de DQO como de fluoruros en el agua residual en el equilibrio.

Resultado de ensayo con activación mediante disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,1M

En la prueba realizada con escoria activada mediante activación química con una disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % se puede apreciar como desciende principalmente la concentración de fluoruros debido a la activación química, ya que esta aporta especificidad al adsorbente para el proceso. Esto indica que el reactivo seleccionado para la reducción de fluoruros es el indicado y presenta buenos resultados.

Resultado de ensayo con activación mediante calcinación a 550 °C y disolución comercial de aluminio con contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,1M

Mediante este experimento se combinan ambos métodos de activación con el fin de ampliar la porosidad del adsorbente, generar mayor superficie específica y dar al material mayor especificidad respecto a ciertos contaminantes. Se puede comprobar el descenso en los parámetros de DQO y fluoruros al realizar las dos activaciones sobre la escoria de horno alto.

Resultado de ensayo con activación mediante calcinación a 800 °C y disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,1M

Con este ensayo en el que se realiza activación física mediante calcinación a una mayor temperatura y activación química con una disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % se busca aumentar el descenso de las concentraciones de contaminantes debido a un aumento de la adsorción generado por la mayor porosidad generada en la activación a 800 °C. Se puede apreciar que los resultados no son positivos con respecto al descenso de la concentración de fluoruros, aunque no se alejan excesivamente de la concentración que se alcanza con el mejor de los métodos estudiados. Sin embargo, mejora notablemente la DQO lo que confirma que el aumento de temperatura en el proceso de activación física repercute en la adsorción.

Resultado de ensayo con activación mediante calcinación a 800 °C y disolución comercial de aluminio con contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,2M

El primero de los experimentos que se realiza es el aumento de la concentración de la disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % hasta 0,2M. Esto significa el doble de concentración de la que se utilizaba en ensayos anteriores. Como se esperaba, el resultado que muestra este ensayo recoge que la adsorción de fluoruros aumenta conforme a la concentración de la disolución utilizada en la activación química. La concentración se reduce en casi un 68% lo que es un buen resultado de cara al resto de ensayos al ser la concentración más baja de los que se prueban esta vez.

Resultado de ensayo con activación mediante calcinación a 800 °C y disolución de aluminio con contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,3M

Volviendo a aumentar la concentración de la disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % utilizada en la activación hasta 0,3M se aprecia que los parámetros que se están teniendo en cuenta (DQO y fluoruros) se reducen considerablemente respecto a sus concentraciones iniciales en el agua de baterías de cok

con el que se trabaja, además de respecto a ensayos anteriores. Se considera que ya nos encontramos con unos resultados que proporcionan reducciones superiores al 85% de fluoruros y a 43% en DQO por lo que el adsorbente activado de esta forma tiene buenas capacidades de adsorción.

Resultado de ensayo con activación mediante calcinación a 800 °C y disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,4M

Los resultados del ensayo de equilibrio utilizando escoria activada mediante calcinación a 800 °C y disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,4M se recogen en la Se comprueba que las concentraciones de contaminantes no descienden respecto a los obtenidos en la prueba con una concentración de 0,3M. Continúa mostrando una capacidad bastante alta de adsorción en DQO y fluoruros como se pretende conseguir.

Resultado de ensayo con activación mediante calcinación a 800 °C y disolución de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,5M

Por último, en el ensayo realizado con escoria activada mediante la disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % de concentración 0,5M se comprueba que la concentración de fluoruros desciende respecto a los anteriores y la concentración de DQO se mantiene con una reducción en torno a 43%. Con estos resultados se determina que la mejor de las activaciones se realiza de esta forma por lo que se establece que para la realización de las cinéticas se activa la escoria mediante calcinación de 800 °C y con la disolución comercial de aluminio con un contenido de Al_2O_3 del 10 % con una concentración de 0,5M.

Ensayos cinéticos

En este apartado se recogen los resultados que se obtienen de los ensayos cinéticos mostrando la variación de la concentración de fluoruros con el tiempo. Para cada uno de los ensayos realizados se trata de ajustar la ecuación cinética de Langmuir integrada generalizada a los resultados obtenidos, dando lugar a los parámetros que la definen. Este ajuste se realiza mediante el método de mínimos cuadrados con la ayuda de la función solver del software Excel. A partir de los valores de "kL" y "fL" calculados se puede calcular la variable de progreso de adsorción (F), el tiempo medio ($t_{1/2}$) y el tiempo reducido (τ) que serán variables utilizadas en la interpretación de los datos obtenidos. Tras la determinación de las condiciones óptimas de activación del residuo que es utilizado como material adsorbente, se realizan ensayos cinéticos con diferentes concentraciones de escoria activada. Estos ensayos tienen como resultado las curvas mostradas en la Figura 2.

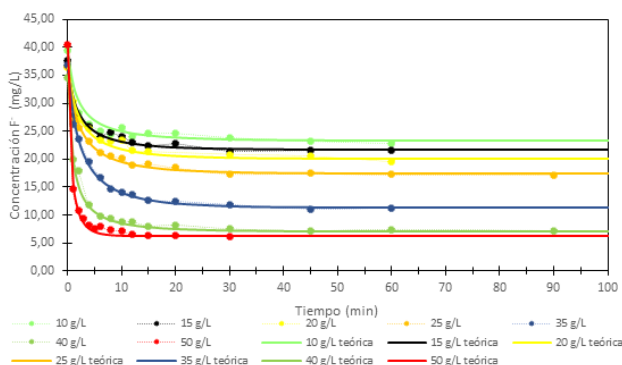


Figura 4. Cinéticas escoria de horno alto.

Ensayos de equilibrio

Para determinar la isoterma de Langmuir y por tanto los parámetros que la definen son necesarios los valores de concentración de equilibrio de cada uno de los ensayos realizados, así como la capacidad de adsorción de la resina en cada uno de ellos para la cual se necesitan también la concentración inicial de fluoruros en el agua residual de cada ensayo. Los parámetros de la isoterma representada son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 5. Parámetros de isoterma de Langmuir

Parámetro	Valor
Q	1,613
k_L	0,110
R²	1,0000

De acuerdo con estos valores, la isoterma de Langmuir toma la forma que se recoge en la siguiente ecuación, mediante la que se puede calcular la capacidad que se obtendrá al realizar un ensayo a una concentración diferente a las estudiadas en ese rango.

$$q \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{1,613 \cdot 0,11 \cdot C_{eq}}{1 + 0,11 \cdot C_{eq}}$$

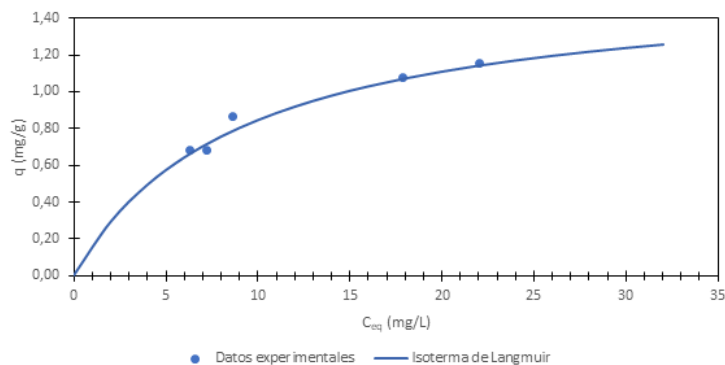


Figura 5. Representación gráfica de la isoterma de Langmuir

Como se comprueba en la Figura 5, el proceso de adsorción que se produce durante esta investigación es un proceso de adsorción favorable que produce una isoterma de tipo “L” de acuerdo con lo demostrado en apartados anteriores. Esto nos indica que según aumenta la concentración de fluoruros en la fase líquida la cantidad adsorbida aumenta más lentamente. Este fenómeno se produce debido a que la atracción intermolecular entre la escoria y el adsorbato es fuerte, probablemente provocada por la activación química con disolución comercial de aluminio con un contenido de Al₂O₃ del 10 % que se realiza.

5. Trabajos o necesidades futuras

Para completar el trabajo realizado sería necesario realizar los ensayos en columna con los dos residuos utilizados. Con los resultados obtenidos queda demostrado que ambos residuos pueden ser utilizados como adsorbentes tras una activación térmica y química. Para

su aplicación industrial será necesario realizar ensayos de columna para determinar la curva de ruptura, y el número de volúmenes de lecho útiles de estos tipos de residuos. Finalizadas los ensayos de columna es necesario llevar a cabo la regeneración y posterior activación de los residuos para evaluar el porcentaje de capacidad de regeneración.

Paralelamente se debería profundizar en el estudio de nuevos procedimientos de activación. Particularmente en la activación térmica se debería estudiar la activación en atmosfera inerte, utilizando en la inertización gases como el nitrógeno y el dióxido de carbono. Desde el punto de vista de la activación química se debe profundizar en el estudio de nuevos agentes activantes, concretamente sales de lantano, cloruro de zinc, sulfato de aluminio y sus combinaciones.

Una nueva línea de investigación puede basarse en la utilizando distintos materiales residuales y analizar el ciclo de vida del uso del nuevo adsorbente previo a su implantación industrial.

6. Divulgación de los resultados

El trabajo resultante de esta investigación se divulgará a través de la presentación de dos ponencias en Congresos Internacionales de reconocido prestigio, así como a través de dos publicaciones científicas internacionales con índice de impacto y revisión por pares. En la Figura 13 se puede ver la previsión de divulgación de los resultados obtenidos en esta investigación.

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
<i>Comparison among different adsorption and ion exchange treatments for the removal of fluorides in coke battery wastewater.</i>	Carlos Menéndez Llamedo Lara Dos Santos Sánchez Yolanda Fernández Nava Beatriz Suárez Peña Leonor Castrillón Peláez Jesús Avelino Rodríguez Iglesias	Com. Oral	<i>Water in Industry 2024 (IWA)</i>	Septiembre 2024 Nanjing (China)
<i>Use of residual materials in adsorption/tertiary treatment processes of industrial wastewater</i>	Carlos Menéndez Llamedo Lara Dos Santos Sánchez Yolanda Fernández Nava Beatriz Suárez Peña Leonor Castrillón Peláez Jesús Avelino Rodríguez Iglesias	Com. Oral	<i>Sardinia 2025 - 20th International Waste Management and Landfill Symposium</i>	Octubre 2025 Cerdeña (Italia)
<i>Removal of fluoride from coke wastewater using thermally and chemically activated blast furnace slag</i>	Carlos Menéndez Llamedo Lara Dos Santos Sánchez Yolanda Fernández Nava Beatriz Suárez Peña Leonor Castrillón Peláez Jesús Avelino Rodríguez Iglesias	Publicación	<i>Water Research</i>	Octubre 2024
<i>Removal of fluoride from coke wastewater using chemically activated coke fines wastes</i>	Carlos Menéndez Llamedo Lara Dos Santos Sánchez Yolanda Fernández Nava Beatriz Suárez Peña Leonor Castrillón Peláez Jesús Avelino Rodríguez Iglesias	Publicación	<i>Water Research</i>	Octubre 2024

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
Utilización de materiales residuales en procesos de adsorción/tratamiento o terciario de aguas residuales industriales (ADSORWASTE)	Carlos Menéndez Llamedo Lara Dos Santos Sánchez Yolanda Fernández Nava Beatriz Suárez Peña Leonor Castrillón Peláez Jesús Avelino Rodríguez Iglesias	Charla Invitada	Jornadas de Proyectos IUTA	Gijón (Spain), enero 2023

Figura 6. Divulgación de los resultados.

Memoria económica:

1. Gastos:

Añade los gastos finales que has tenido a lo largo del proyecto.

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	4.700,00 €
Fungibles	2.459,80 €
Amortización	---
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	---
TOTAL GASTOS	7.159,80 €

2. Ingresos:

Añade los ingresos finales que has tenido a lo largo del proyecto. Indica las empresas y las referencias de los proyectos/contratos.

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.700,00 €

Otras entidades / empresas financiadoras		---
Financiación propia	Grupo de Ingeniería Ambiental Uniovi	2.459,80 €
TOTAL INGRESOS		7.159,80 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-12

Prueba de concepto de un gemelo digital para la colada continua de acero (PoC-DT-CC)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

Dr. José Díaz Trapiella

Otros investigadores:

Dra. María Manuela Prieto González

Dra. Inés María Suárez Ramón

Personal contratado:

D. Jorge Alonso Ares

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

ARCELORMITTAL Innovación Investigación e Inversión, S. L. U.

Innvel2 Consulting SL

Redes sociales de investigadores y empresas:

ArcelorMittal Global R & D Casting (David González & Akalya Raviraj)

Área de Mecánica de Fluidos de la Universidad de Oviedo (Pedro García)

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

La siderurgia es una industria esencial a nivel global y muy importante para nuestra región. Aunque el proceso de colada continua ha progresado significativamente en las últimas décadas, el conocimiento técnico existente es aún incompleto y existen oportunidades de mejora en ciertas fases del proceso, como por ejemplo en el arranque de la instalación, donde los procedimientos de operación se basan en reglas fijas, orientadas a minimizar riesgos. Sin embargo, la creación de un control preciso para dicha fase choca con la dificultad de obtención de datos, debida a la opacidad intrínseca del proceso. Por tanto, se deben desarrollar modelos multifísicos que puedan ser integrados en un sistema de simulación y control avanzado.

Este proyecto busca generar conocimiento sobre el llenado inicial del molde de colada continua y sentar las bases para su integración en un gemelo digital de la instalación. Para ello se modelará mediante CFD (Computational Fluid Dynamics) el proceso de llenado del molde y se analizará la interacción del acero líquido con los sistemas de refrigeración empleados actualmente. El conocimiento extraído de las simulaciones deberá poder expresarse mediante modelos subrogados con el objetivo final de ser integrados en un gemelo digital. Se lanza una nueva línea de investigación que emplea una metodología organizada en cuatro líneas:

- Modelar mediante CFD diferentes estados de llenado del molde.
- Contrastar los resultados con datos de planta y de laboratorio.
- Generar modelos sencillos y precisos que permitan simular el proceso.

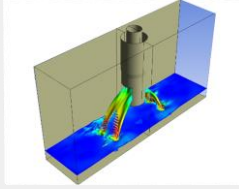
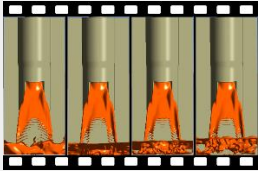
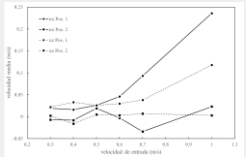
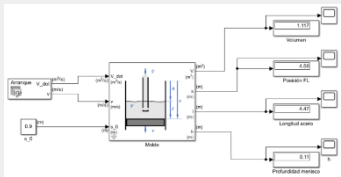
- Integrar los resultados obtenidos en un gemelo digital de control.

El modelo CFD que se ha desarrollado mediante Ansys-Fluente ha permitido obtener los campos de velocidad en régimen transitorio para el flujo bifásico (acero líquido – aire) durante el llenado inicial del molde de colada continua. El análisis de los resultados del modelo ha permitido extraer conclusiones relevantes en relación con:

- El riesgo de arrastre de chatarra de refrigeración y otros materiales.
- El riesgo de proyecciones de acero líquido.
- El riesgo de captación de aire y otras inclusiones por el acero líquido.
- La identificación de las fases más sensibles a los riesgos anteriores.

Los resultados del estudio paramétrico para diferentes velocidades de alimentación del molde se han expresado de forma tal que pueden ser integrados en la estructura básica de gemelo digital que se ha creado mediante Matlab-Simulink.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Generar conocimiento sobre el proceso de llenado del molde de colada continua		100%
Secundario/ Específico	Contrastar los resultados con datos de planta y de laboratorio		10%
Secundario/ Específico	Modelar mediante CFD diferentes estados de llenado del molde		100%
Secundario/ Específico	Generar modelos sencillos y precisos que permitan simular el proceso de llenado del molde		80%
Secundario/ Específico	Integrar los resultados obtenidos en un gemelo digital de control.		50%

3. Tareas realizadas:

De las tres fases previstas en el proyecto: 1-modelado, 2-validación y 3-integración, las tareas referidas a la contrastación con modelos físicos y mediciones en planta ha tenido que ser postpuesta al segundo trimestre de 2024 debido a la carga de trabajo del laboratorio colaborador. Se replanificó el trabajo aumentando el estudio paramétrico sobre el modelo CFD y ampliando el análisis de resultados. Por el mismo motivo, el desarrollo del gemelo digital se centró en la elaboración de los bloques y modelos necesarios en Simulink quedando sin completar la integración de modelos subrogados elaborados a partir de las simulaciones con CFD. En la Fig. 1 se resume la distribución temporal de las tareas realizadas.

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Modelado del proceso de llenado del molde						
Tarea 1.1	Modelado del flujo bifásico: acero líquido - aire						
Tarea 1.2	Estudio de efectos hidrodinámicos en la interacción						
Fase 2	Validación del modelo						
Tarea 2.1	Contrastación con mediciones en planta						
Tarea 2.2	Contrastación con modelos físicos						
Fase 3	Integración de conocimiento en gemelo digital						
Tarea 3.1	Desarrollo de modelos subrogados						
Tarea 3.2	Integración de submodelos en gemelo digital Simulink						

Figura 1. Planificación del proyecto.

4. Resultados obtenidos:

El modelo CFD que se ha desarrollado en este proyecto ha permitido obtener los campos de velocidad en régimen transitorio para el flujo bifásico constituido por acero líquido y aire durante el llenado inicial del molde de colada continua. En este fase del proceso la geometría del molde es invariable y se consideraron caudales de acero constantes. Se plantearon seis casos de estudio, correspondientes velocidades de alimentación de acero u_{in} de 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 y 1.0 m/s. Este rango de velocidades equivale a tiempos de llenado del molde comprendidos entre 36 y 130 segundos, que cubren los tiempos observados habitualmente en la práctica industrial.

La simulación completa del llenado del molde para el caso base de $u_{in} = 0.5$ m/s mostró que los valores más altos de velocidad, y por tanto el mayor riesgo de arrastre de la chatarra de refrigeración, se producen en la zona media del semiancho del molde y en el período comprendido entre el inicio del vertido de acero líquido y hasta que la chatarra está completamente cubierta de acero, lo cual se corresponde con un nivel de unos 50 mm.

Se realizó una comparación de resultados entre los seis casos de estudio para el instante en el que se alcanza un nivel de acero en el molde de 50 mm. Los principales resultados del estudio son:

- Se identifican dos regímenes de salida del acero a través de la tronera, dependiendo de la de la velocidad de alimentación del molde (Fig. 2):
 - Chorro inestable con oscilación lateral, para $u_{in} = 0.3 - 0.5$ m/s.
 - Chorro estable en forma de lámina horizontal que se divide en dos chorros individuales antes de alcanzar el fondo del molde, para $u_{in} = 0.6 - 1.0$ m/s.
- En lo relativo a la generación de salpicaduras (Fig. 2):
 - No se detecta riesgo de proyecciones de acero líquido fuera del molde en todo el rango de velocidad de alimentación considerado.
 - Se observa riesgo de salpicaduras de acero líquido sobre las paredes del molde cuando la velocidad de alimentación se encuentra entre 0.3 y 0.5 m/s. El riesgo es máximo para 0,4 m/s, ya que se producen salpicaduras que, en caso de quedar adheridas a la pared del molde, permanecerían unos 30 s antes de ser alcanzadas por el baño líquido, lo cual podría favorecer la formación de incrustaciones permanentes.
 - Para velocidades de alimentación comprendidas entre 0.6 y 1.0 m/s no se observa riesgo de salpicaduras sobre las paredes del molde.
- En lo relativo al riesgo de arrastre de la chatarra de refrigeración (Fig. 3):
 - En posiciones alejadas de la buza se observa que ni la componente horizontal ni la vertical de la velocidad local dependen significativamente de la velocidad de alimentación, pudiendo tener tanto sentido positivo como negativo y con valores promedio normalmente inferiores a 0.03 m/s.
 - Por el contrario, en posiciones más cercana a la buza la velocidad local depende apreciablemente de la velocidad de alimentación, aumentando con ésta. Además, las componentes vertical y horizontal tienen sentido positivo, esto es, tienden a elevar la chatarra y a alejarla de la buza. La componente horizontal es siempre mayor, alcanzando valores de 0.1 y 0.24 m/s para velocidades de alimentación de 0.7 y 1.0 m/s, respectivamente.
- El riesgo de captación de aire y otras inclusiones se evaluó mediante el factor de vacíos, es decir, la fracción volumétrica de aire en un volumen de 40 mm de altura y mediante la velocidad superficial de la interfase acero-aire (Fig. 4):

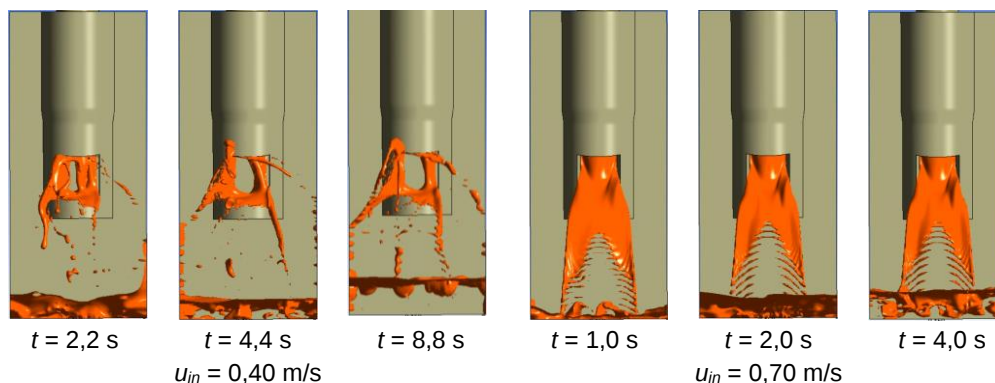


Figura 2. Vista de la interfase acero-aire en diferentes instantes para dos de los valores de velocidad de alimentación considerados en el estudio.

- En líneas generales, el factor de vacíos aumenta al aumentar la velocidad de alimentación, si bien se aprecia un cambio a partir de 0.6 m/s, posiblemente asociado a las características del chorro a la salida de la tronera.
- La velocidad superficial de la interfase también presenta una tendencia general creciente, aunque de nuevo se aprecia un cambio de tendencia para velocidades de alimentación en el entorno de los 0,5 - 0,6 m/s.

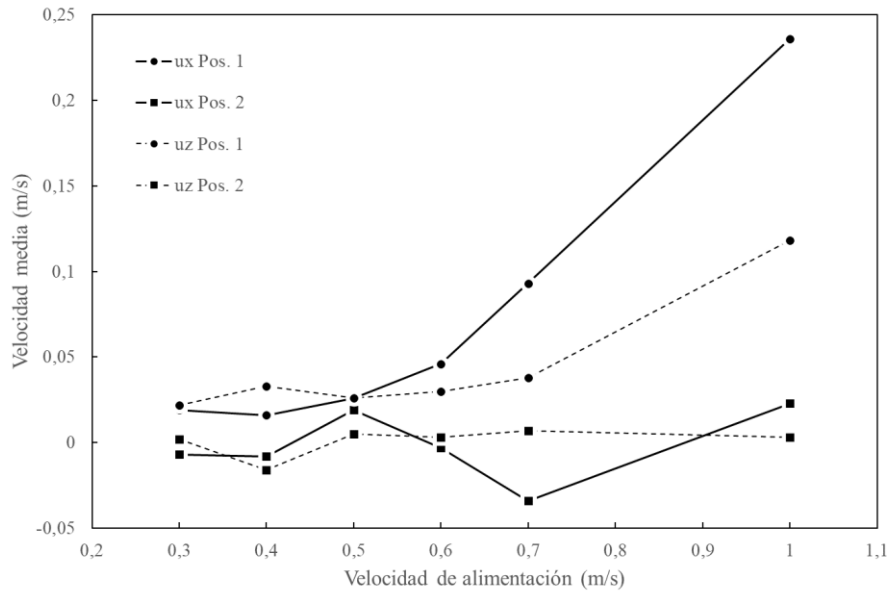


Figura 3. Valores promedio de las componentes horizontal, u_x , y vertical, u_z , de la velocidad en posiciones cercana y alejada de la buza en función de la velocidad de alimentación, u_{in} (Pos. 1: mitad del semiancho del molde, Pos. 2: tres cuartos del semiancho del molde).

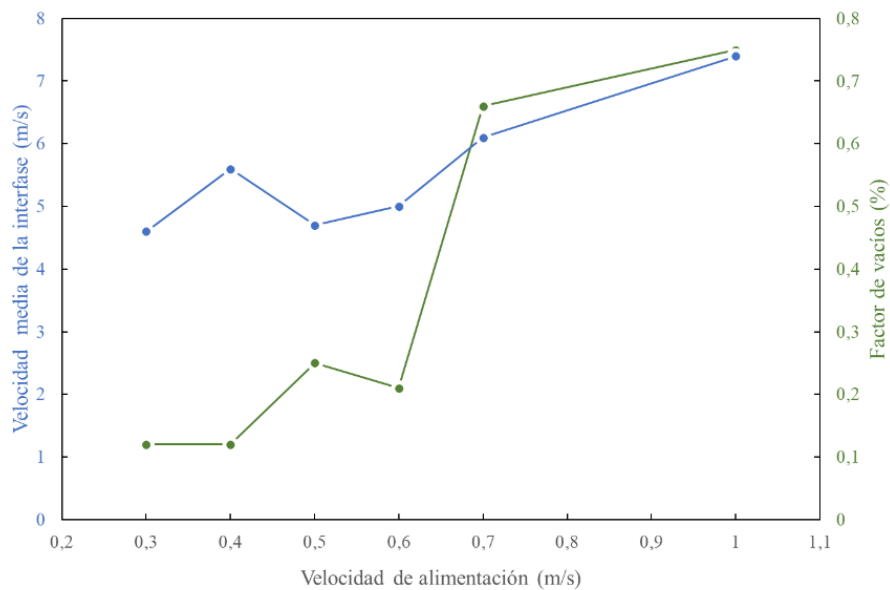


Figura 4. Velocidad de la interfase y factor de vacíos en función de la velocidad de alimentación u_{in} .

5. Trabajos o necesidades futuras

Como continuación del proyecto nos gustaría desarrollar con medios propios un modelo físico de agua del proceso de llenado del molde, para reducir así la dependencia de laboratorios externos colaboradores y de la explotación de datos de planta que no son de fácil acceso. Esperamos que este montaje experimental pueda servir también para la elaboración de un gemelo digital del modelo físico. En este sentido disponemos de un remanente de materiales y presupuesto de otros proyectos y esperamos solicitar un nuevo proyecto IUTA para la próxima convocatoria de 2024.

6. Divulgación de los resultados

Además de la presentación de los resultados generales del proyecto en las próximas Jornadas de IUTA, se prevé la presentación del trabajo realizado sobre modelado CFD en un congreso nacional o internacional, aún por determinar a lo largo del próximo año.

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
<i>Prueba de concepto de un gemelo digital para la colada continua de acero</i>	Jorge Alonso Ares José Díaz Trapiella M ^a Manuela Prieto González Inés M ^a Suárez Ramón	Com. Oral	<i>Jornadas de Proyectos IUTA</i>	Gijón (Spain), 2024
<i>Generación de conocimiento sobre el llenado del molde de colada continua mediante modelos CFD.</i>	Jorge Alonso Ares José Díaz Trapiella Pedro García Regodeseves	Com. Oral	<i>Por determinar</i>	<i>Por determinar</i>

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	4.800 €
Fungibles	0 €
Amortización	0 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	0 €
TOTAL GASTOS	4.800 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.800 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0 €
Financiación propia		0 €
TOTAL INGRESOS		4.800 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-13

Sistema basado en realidad virtual para la mejora de la salud mental de las personas mayores (VROLD)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 07 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

David Melendi Palacio

Otros investigadores:

Dan García Carrillo

Xabiel García Pañeda

Roberto García Fernández

Víctor Corcoba Magaña

Personal contratado:

Daniel González del Coz

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

ADN Mobile Solutions

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://portalinvestigacion.uniovi.es/investigadores/218294/detalle>

<https://portalinvestigacion.uniovi.es/investigadores/217563/detalle>

<http://xabiel.com/>

<https://portalinvestigacion.uniovi.es/investigadores/217585/detalle>

<https://portalinvestigacion.uniovi.es/investigadores/217186/detalle>

<https://adnmobilesolutions.com/es/>

Resumen Gráfico

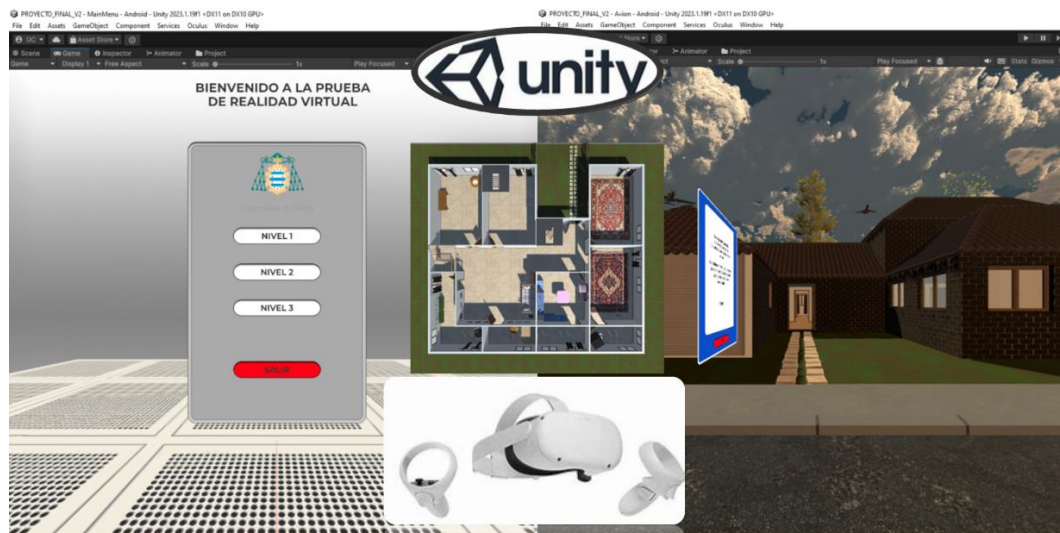


Figura 1. Resumen del proyecto

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El informe “Ageing Europe” establece que un 20% de la población de Europa tiene 65 años o más y que este porcentaje que se incrementará hasta un 23.8% en 2030 [1]. Muchas de esas personas prefieren permanecer en sus casas, en lugar de trasladarse a una residencia [2]. Todo ello, ha hecho que los gobiernos y los equipos de investigación busquen soluciones para promover el envejecimiento activo y facilitar el mayor nivel de autonomía posible para estas personas. Estas iniciativas son extremadamente importantes, teniendo en cuenta que otros informes establecen que el 46% de la población mundial de más de 60 años tiene algún tipo de discapacidad [3]. Además del proceso natural de envejecimiento, la reciente pandemia ha tenido un gran impacto en la salud mental de la población, especialmente relevante en las personas mayores [4]. El hecho de gran parte de decesos se haya producido en este segmento de la población, junto con las medidas tomadas por los respectivos gobiernos, ha tenido un gran impacto en nuestros mayores incrementando el riesgo de sufrir emociones negativas [5].

Todas estas circunstancias prueban la necesidad de disponer de herramientas multidimensionales para promover el envejecimiento activo de la población, manteniendo al mismo tiempo su salud física y mental. Por ello, y dado que en los últimos años ha habido una gran evolución en los sistemas de realidad virtual y aumentada [6], con este proyecto se pretendía explorar el uso de estos sistemas en políticas de envejecimiento activo. Por ello, y teniendo en cuenta la duración máxima establecida en la convocatoria, lo que se ha realizado en este proyecto se puede resumir a continuación:

- Un estudio sobre el estado actual de la cuestión, incluyendo un manual de programador que permita continuar el trabajo realizado durante estos meses.
- Un prototipo de sistema de realidad virtual para la realización de actividades de envejecimiento saludable, que incluye 3 actividades que pretenden evaluar su carga de trabajo y valorar subjetivamente la experiencia de usuario.

- Resultados de una prueba preliminar con algunos estudiantes del Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Oviedo.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Grado de consecución
Principal	Estudio de la viabilidad de utilizar un sistema de realidad virtual moderno para la realización de actividades de envejecimiento activo	100%
Específico	Realización de un estudio del estado del arte en el uso de sistemas de realidad virtual y aumentada por personas mayores	100%
Específico	Diseño de un entorno de realidad virtual en el que llevar a cabo actividades de interés en políticas de envejecimiento activo	100%
Específico	Creación de un prototipo de experimentación que permita realizar actividades de interés en políticas de envejecimiento activo	100%
Específico	Experimentación preliminar	90%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Estudios preliminares						
Tarea 1.1	Estado del arte en uso de realidad virtual en terapias para personas mayores						
Tarea 1.2	Diseño de un entorno virtual de experimentación						
Tarea 1.3	Definición de requisitos de partida para el desarrollo de prototipos						
Fase 2	Desarrollo de prototipos						
Tarea 2.1	Desarrollo de prototipos						
Fase 3	Experimentación						
Tarea 3.1	Realización de pruebas con el prototipo						
Fase 4	Tareas transversales						
Tarea 4.1	Gestión del proyecto, coordinación de actividades y documentación						
Tarea 4.2	Diseminación de resultados						
Tarea 4.3	Desarrollo y mantenimiento de una página web						

Figura 2. Planificación del proyecto

- Fase 1:** Estudios preliminares

- **Tarea 1.1:** *Estado del arte en uso de realidad virtual en terapias para personas mayores.* Se realizó una revisión de trabajos anteriores en este campo de forma que se pudieron determinar, con mayor precisión, actividades que susceptibles de llevar a cabo en el proyecto, así como métodos de evaluación. De igual modo, se establecieron unas líneas de partida para el diseño posterior de los prototipos.
- **Tarea 1.2:** *Diseño de un entorno virtual de experimentación.* Se realizó un diseño de un entorno virtual que incluye el interior de una vivienda y un entorno de exteriores en el que implementar las actividades desarrolladas en el prototipo.
- **Tarea 1.3:** *Definición de requisitos de partida para el desarrollo de prototipos.* Se definieron los requisitos de partida y las actividades que se implementaron en los prototipos desarrollados.
- **Fase 2:** Desarrollo de prototipos
 - **Tarea 2.1:** *Desarrollo de prototipos.* Se desarrollaron los prototipos utilizando una aproximación iterativa basada en metodologías ágiles, mediante sprints quincenales. Esto permitió desarrollar el entorno virtual y las actividades de forma incremental.
- **Fase 3:** Experimentación
 - **Tarea 3.1:** *Realización de pruebas con el prototipo.* En esta tarea se hicieron pruebas con el prototipo. La idea original era la de realizar pruebas con los miembros del equipo de investigación, pero finalmente estas primeras evaluaciones se realizaron con estudiantes del Máster Universitario de Ingeniería de Telecomunicación, compañeros del estudiante becado por el IUTA. La finalización de las pruebas se realizará en el mes de enero de 2024 dando lugar al análisis de los resultados obtenidos.
- **Fase 4:** Tareas transversales
 - **Tarea 4.1:** *Gestión del proyecto, coordinación de actividades y documentación.*
 - **Tarea 4.2:** *Diseminación de resultados.* En la propuesta presentada ya se adelantaba que los resultados de esta tarea se obtendrían probablemente una vez concluido el proyecto sujeto a financiación. De esta forma, no se ha ejecutado esta tarea por no haber concluido las pruebas totalmente antes de la finalización de este proyecto. Con los resultados se espera realizar una publicación en una revista indexada.
 - **Tarea 4.3:** *Desarrollo y mantenimiento de una página web.* Se ha creado una página web para difundir información sobre el proyecto. Está pendiente de publicar pero estará accesible a través de la URL <https://www.it.uniovi.es/index.php?id=vroid>

4. Resultados obtenidos:

Una vez concluido el proyecto y cumplidos los objetivos planteados inicialmente, se han alcanzado los siguientes resultados:

- Se ha diseñado un entorno de experimentación virtual compuesto por una vivienda y un área urbana.
- Se han diseñado tres tipos de actividades con distintas demandas de trabajo y diferentes unos requisitos de movilidad.
- Después de diferentes pruebas, se ha diseñado un modo de interacción de usuario basado en pulsaciones con un puntero sobre un menú que aparece delante del usuario. El puntero se acciona con uno de los mandos del dispositivo Meta Quest y el menú aparece tras la pulsación de los botones del mando.
- Se han implementado las actividades planteadas con el método de interacción mencionado sobre el entorno virtual diseñado para las pruebas.
- Se han diseñado una serie de cuestionarios que pretenden recopilar información para:
 - Evaluar la carga de trabajo producida por el entorno virtual y por las actividades diseñadas.
 - Valorar subjetivamente la experiencia de usuario, contemplando la aparición de efectos adversos como pueden ser la desorientación o los mareos.
 - Realizar análisis comparativos teniendo en cuenta aspectos como la edad, el género, el nivel de estudios, la lateralidad o la experiencia previa con este tipo de entornos.
- Se han realizado unas pruebas preliminares con estudiantes universitarios.

5. Trabajos o necesidades futuras

A continuación, se plantean algunos trabajos futuros, tras la finalización de proyecto:

- Proseguir con la realización de las pruebas y proceder con el análisis de los resultados obtenidos. Como ya se ha mencionado, con estos resultados se espera poder publicar un artículo en una revista indexada.
- Implantar las mejoras en el sistema que se hayan detectado durante la fase de experimentación.
- Sobre el sistema desarrollado, diseñar nuevas actividades planteadas para potenciales mejoras en el tratamiento del deterioro cognitivo de las personas mayores. Probar, igualmente, la efectividad de estas actividades con personas interesadas en este tipo de tratamientos.
- Avanzar en la investigación en los métodos de interacción en entornos de realidad virtual y realizar pruebas con otros mecanismos como, por ejemplo, la voz.
- Realizar un modelo similar en un entorno de realidad aumentada.

6. Divulgación de los resultados

Una vez finalizadas las pruebas de experimentación y analizados sus resultados, se espera enviar un artículo a una revista indexada. Potencialmente, podría enviarse a alguna de estas revistas:

- International Journal of Human Computer Interaction (Q1 en el JCR de 2022)
- International Journal of Human-Computer Studies (Q1 en el JCR de 2022)
- Internet Interventions-The Application of Information Technology in Mental and Behavioural Health (Q2 en el JCR de 2022)
- IEEE Access (Q2 en el JCR de 2022)

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	4.500 €
Fungibles	0 €
Amortización (sistema de realidad mixta Meta Quest Pro)	300 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	0 €
TOTAL GASTOS	4.800 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.500 €
Financiación propia		300 €
TOTAL INGRESOS		4.800 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-14

Estudio de soluciones innovadoras para sistemas de rehabilitación de edificios protegidos y patrimonio industrial basadas en morteros de cal aditivados (REHABIN)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 09/ 2023 al 31 / 12/ 2023

Investigador/a Principal:

María Placeres González Martínez

Otros investigadores:

Matías Álvarez Rodríguez

Felipe Pedro Álvarez Rabanal

Alfonso Lozano Martínez Luengas

Mar Alonso Martínez

Diana Movilla Quesada

Personal contratado:

Dana Rodríguez García

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09/ 2023 al 31 / 12/ 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

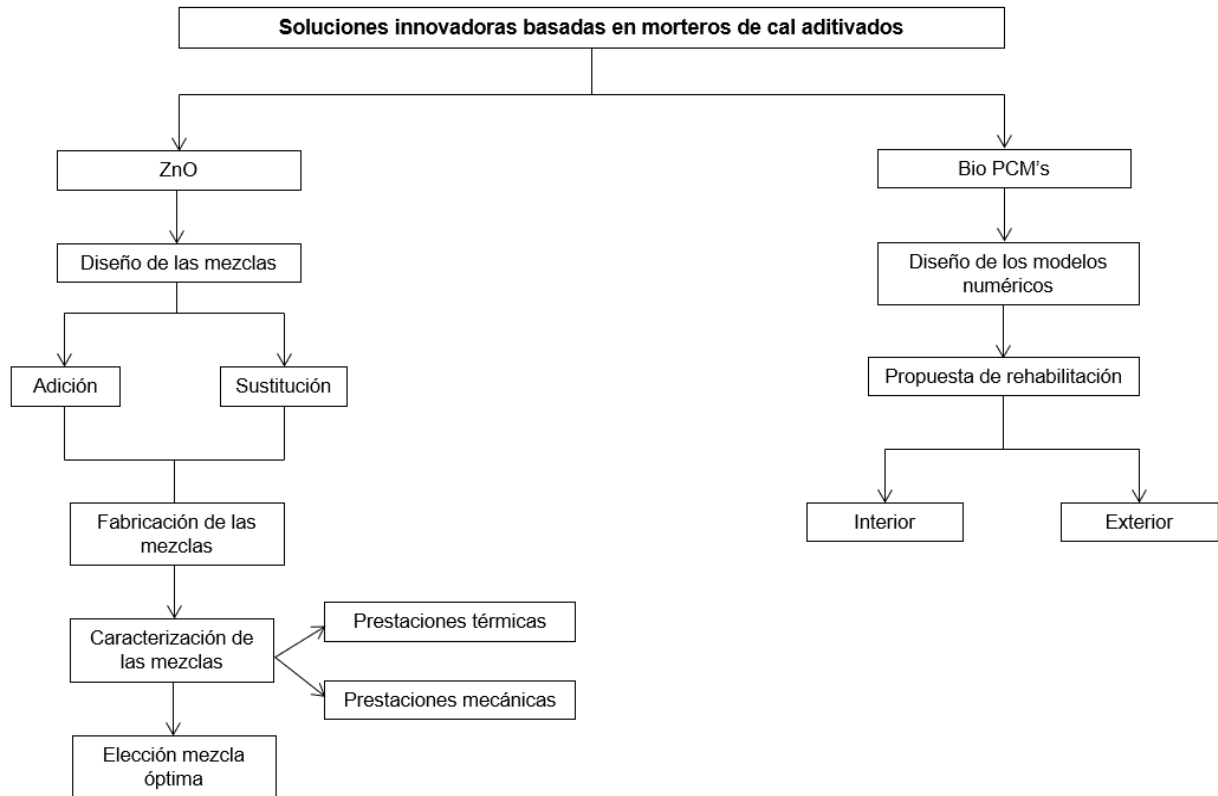
Oficina Técnica Astur

Estudios y Proyectos

Redes sociales de investigadores y empresas:

LINKEDIN: GICONSIME-UNIOVI

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

La descarbonización del sector de la construcción es en la actualidad una necesidad que abordan multitud de grupos de investigación. En este sentido, existen numerosas actuaciones sobre nueva construcción, diseño de nuevos procesos constructivos y nuevos materiales que permitan mejorar las prestaciones de la obra nueva, reduciendo el impacto medioambiental de estas. Sin embargo, en España, en Asturias y, en concreto, en la ciudad de Gijón existen importantes obras, edificios y elementos que forman parte de nuestro patrimonio y cuyo mantenimiento es necesario para su conservación. Cuando se ejecuta una intervención de conservación existe una lista de prioridades que dejan un poco de lado la reducción del impacto medioambiental, entre estas se encuentra el mantenimiento de la esencia del elemento protegido, garantizar la estabilidad y seguridad. En la ciudad de Gijón existen varios elementos de carácter patrimonial que presentan o son susceptibles de presentar problemas estructurales o de mantenimiento.

Por tanto, este proyecto consistió en la realización de un estudio de soluciones innovadoras para sistemas de rehabilitación de edificios protegidos y patrimonio industrial basadas en morteros de cal aditivados. Para ello, se diseñaron mezclas de morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO. Las nanopartículas de ZnO permiten que las mezclas capturen CO₂, mejorando la sostenibilidad del material y haciéndolos un material realmente valioso para entornos urbanos en los que los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero son elevadas. Una vez realizado el diseño de las mezclas se procedió a la fabricación de varias mezclas, comprobando las prestaciones de todas ellas. Para ello, se realizaron ensayos de caracterización térmica y mecánica. Otro parámetro condicionante fue

la trabajabilidad de los morteros, directamente relacionado con el contenido de agua presente en la mezcla. Fue necesario realizar varios reajustes del diseño debido al incumplimiento de las expectativas de las probetas durante los ensayos de caracterización. Paralelamente, se desarrollaron modelos numéricos con materiales de cambio de fase (PCM's) que dieron lugar propuestas de rehabilitación interior y exterior.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Grado de consecución
Principal	Diseño de nuevas mezclas de morteros de cal aditivados	100%
Secundario/ Específico	Diseño de mezclas de mortero de cal aditivadas con subproductos industriales (nanopartículas de ZnO)	100%
Secundario/ Específico	Caracterización de la trabajabilidad de los morteros de cal aditivados con ZnO.	100%
Secundario/ Específico	Caracterización mecánica de las mezclas de los morteros de cal aditivados con ZnO	100%
Secundario/ Específico	Caracterización térmica de las mezclas de los morteros de cal aditivados con ZnO.	100%
Secundario/ Específico	Determinación experimental de la capacidad de captación de CO ₂ de los morteros de cal aditivados con ZnO	0%
Secundario/ Específico	Incorporación de PCMs a las mezclas de morteros de cal	20%
Secundario/ Específico	Caracterización experimental del comportamiento térmico de morteros de cal con bio-PCMs.	20%
Secundario/ Específico	Caracterización experimental de las prestaciones mecánicas de morteros de cal aditivados con bio-PCMs	0%
Secundario/ Específico	Diseño de soluciones innovadoras para rehabilitación empleando morteros de cal aditivados (climatología de Gijón)	80%

Tabla 6. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

La determinación experimental de la capacidad de captación de CO₂ de los morteros de cal aditivados con ZnO no pudo llevarse a cabo debido al problema de funcionamiento que se dio en la cámara de carbonatación durante el mes de noviembre de noviembre, quedando inhabilitada para la realización de ensayos.

Por otro lado, el grado de consecución del objetivo correspondiente a la caracterización experimental del comportamiento térmico de morteros de cal con bio-PCMs no ha sido del 100% debido a que las mezclas no han resultado exitosas al presentar problemas de fugas. Este objetivo ha derivado en la combinación de materiales de cambio de fase macroencapsulados y morteros de cal como revestimiento. Se han hecho diseños preliminares del comportamiento térmico de estas soluciones empleando la caracterización experimental de PCMs macroencapsulados y técnicas de modelado numérico FEM como se describirá con mayor detalle posteriormente.

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES			
		1	2	3	4
Fase 1	Diseño de mezclas de mortero de cal aditivadas	X			
Tarea 1.1	Diseño de las proporciones para morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO	X			
Tarea 1.2	Diseño de los modelos numéricos para morteros de cal aditivados con bio-PCMs	X			
Tarea 1.3	Diseño de la campaña experimental	X			
Fase 2	Fabricación de mezclas de morteros de cal aditivados	X			
Tarea 2.1	Fabricación de probetas cúbicas de las mezclas de mortero aditivados con nano partículas de ZnO diseñadas en la T1.1	X	X		
Fase 3	Caracterización de las mezclas de morteros de cal aditivados			X	X
Tarea 3.1.	Ensayos de caracterización de las prestaciones mecánicas de los morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO: resistencia a compresión, trabajabilidad, porosidad y densidad.			X	
Tarea 3.2.	Ensayos de caracterización de las prestaciones térmicas de los morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO: conductividad térmica.				X
Fase 4	Análisis de los resultados obtenidos en la caracterización experimental y elección de la mezcla óptima				X
Tarea 4.1	Análisis estadístico de los resultados obtenidos en los morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO				X
Tarea 4.2	Análisis de los resultados obtenidos de los modelos numéricos en los morteros de cal aditivados con bio-PCMs				X
Tarea 4.3.	Selección de las mezclas óptimas para su aplicación en				X

	rehabilitación en la ciudad de Gijón				
Fase 5	Modelado de soluciones de rehabilitación basadas en morteros de cal aditivados				X
Tarea 5.1.	Diseño de propuesta de rehabilitación estructural				X
Tarea 5.2.	Diseño de propuesta de rehabilitación energética				X
Fase 6	Divulgación				
Tarea 6.1.	Publicaciones en redes sociales del grupo				
Tarea 6.2.	Contribución aceptada en REHABEND 2024: “Macroencapsulated phase change materials as novelty solution for energy retrofit of heritage buildings”				

Figura 1. Planificación del proyecto

- **Fase 1: Diseño de mezclas de mortero de cal aditivadas**

- **Tarea 1.1. Diseño inicial de las mezclas de mortero de cal aditivadas: mezclas de control**

Se realizaron tres probetas de control con diferentes porcentajes de agua. Se partió de un porcentaje inicial de un 22% obteniendo muy baja resistencia a compresión (<2 MPa) y alta porosidad. Se aumentó la cantidad de agua al 25 % logrando aumentar la resistencia a compresión a 3 MPa. Sin embargo, teniendo en cuenta la posterior aplicación de los morteros como revestimiento en la rehabilitación de edificios de patrimonio histórico, se busca una mejor trabajabilidad. Se aumentó el porcentaje de agua a 30%. Aunque la resistencia compresión disminuye ligeramente (2,5 MPa) su trabajabilidad se incrementa de forma considerable por lo que se escoge como dosificación de control para la realización de las posteriores mezclas aditivadas.

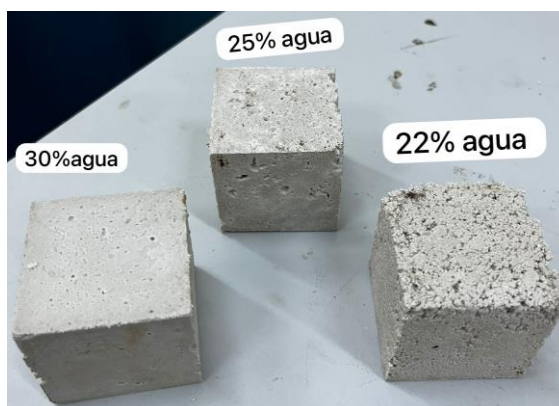


Figura 2. Dosificaciones iniciales de las probetas cúbicas.

- **Tarea 1.2. Diseño de las proporciones para morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO.**

Las proporciones definitivas de los morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO tanto en adición como en sustitución se resumen en la Tabla 7. En primer lugar, se muestra la cantidad (g) de cal, arena y agua empleada en la mezcla. Seguidamente, se incluyen los porcentajes (0.5, 1, 1.5 y 2%) y el peso de nanopartículas de ZnO que se decide aditivar.

MEZCLA-sustitución	CAL (g)	arena (g)	agua (g)	ZnO (%wt)	ZnO (g)
00_control	320.00	1024.00	288.00	0.00	0.00
LsD22_Zn-0.5	318.40	1024.00	288.00	0.50	1.60
LsD22_Zn-1	316.80	1024.00	288.00	1.00	3.20
LsD22_Zn-1.5	315.20	1024.00	288.00	1.50	4.80
LsD22_Zn-2	313.60	1024.00	288.00	2.00	6.40

MEZCLA-adición	CAL (g)	arena (g)	agua (g)	ZnO (%wt)	ZnO (g)
00_control	320.00	1024.00	288.00	0.00	0.00
LsD22_Zn-0.5	320.00	1024.00	288.00	0.50	1.60
LsD22_Zn-1	320.00	1024.00	288.00	1.00	3.20
LsD22_Zn-1.5	320.00	1024.00	288.00	1.50	4.80
LsD22_Zn-2	320.00	1024.00	288.00	2.00	6.40

Tabla 7. Proporciones definitivas de las mezclas de mortero

○ **Tarea 1.3. Diseño del modelo numérico de fachada para morteros de cal incorporando bio-PCMs**

Las mezclas de morteros de cal con PCMs no han resultado exitosas puesto que presentan problemas de fugas. Este objetivo ha derivado en la combinación de materiales de cambio de fase macroencapsulados y morteros de cal como revestimiento. Se han hecho diseños preliminares del comportamiento térmico de estas soluciones empleando la caracterización experimental de PCMs macroencapsulados y técnicas de modelado numérico FEM analizando dos propuestas de rehabilitación exterior (Figura 4) e interior (Figura 5). Los modelos numéricos desarrollados en este proyecto estudian un análisis térmico transitorio que modela cinco días tipo de invierno y verano para dos tipos de envolventes rehabilitadas con PCM. Se persigue una solución que presente un comportamiento activo y minimice la oscilación térmica del interior.

Modelo numérico de fachada sin rehabilitar

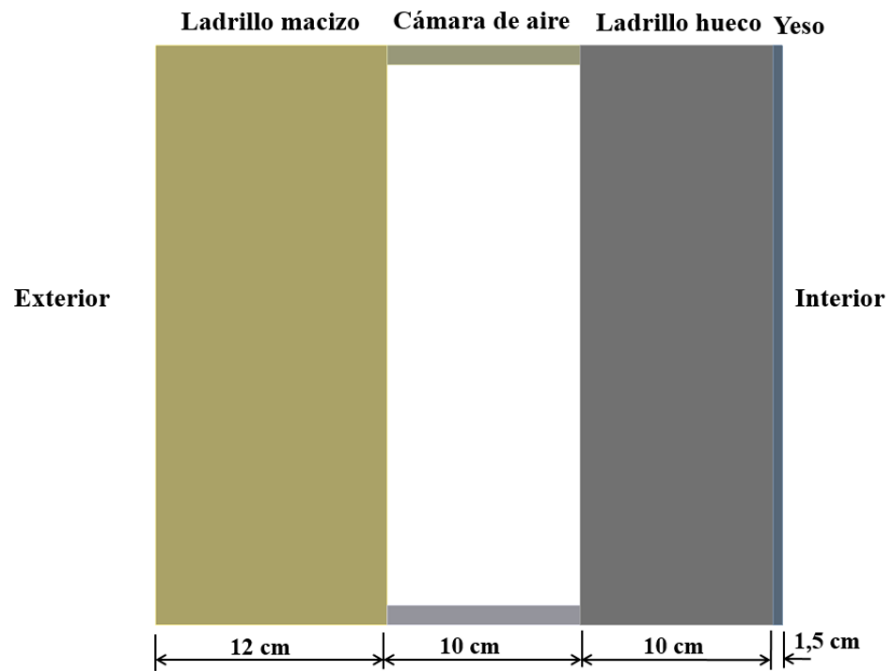


Figura 3. Modelo numérico de fachada sin rehabilitar

Modelo numérico de fachada con rehabilitación exterior

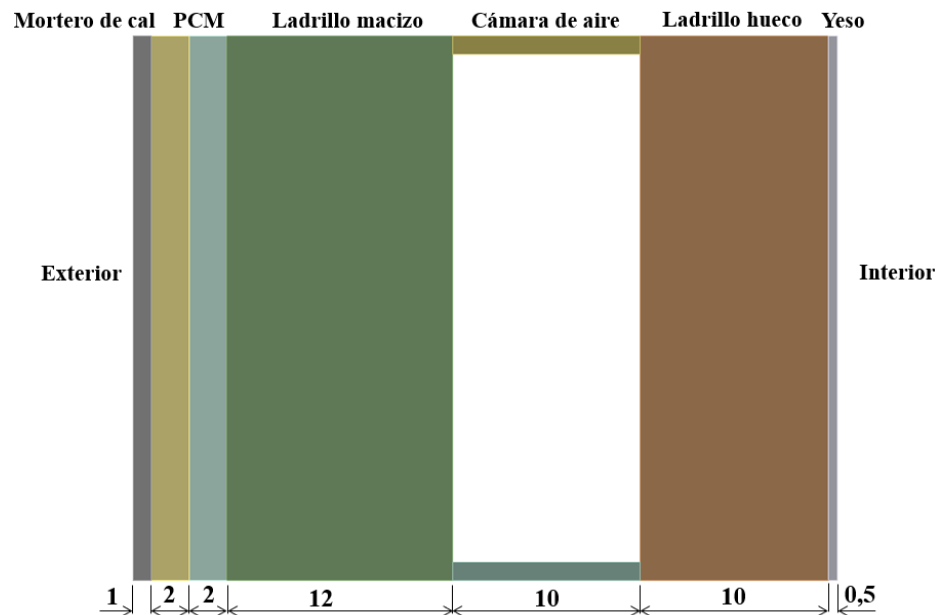


Figura 4. Modelo numérico de fachada con rehabilitación exterior

Modelo numérico de fachada con rehabilitación interior

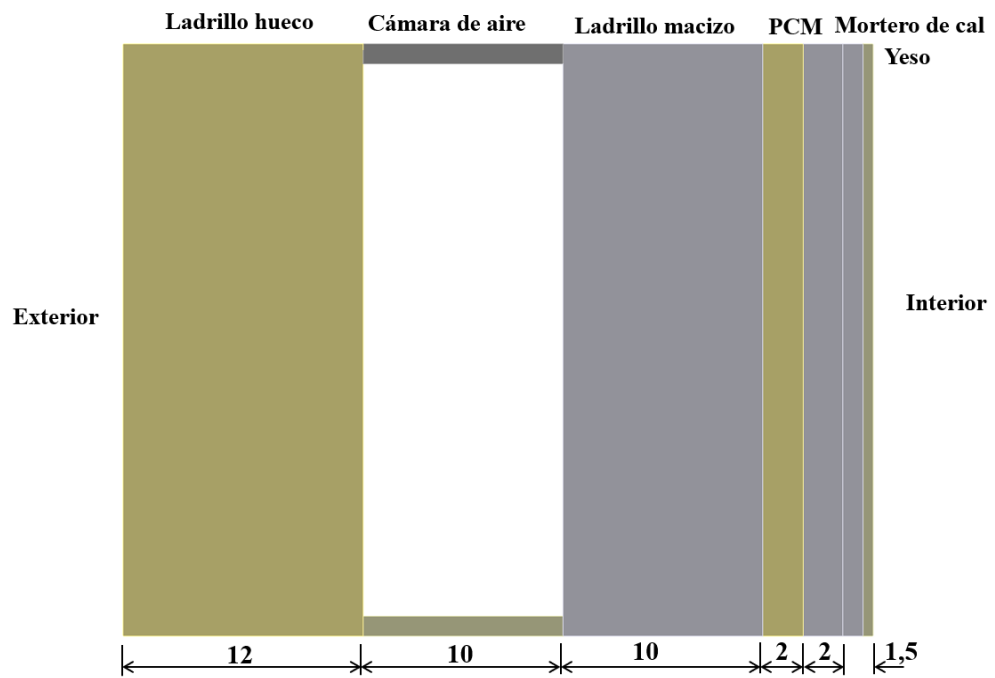


Figura 5. Modelo numérico de fachada con rehabilitación interior

- Fase 2. Fabricación de mezclas de morteros de cal aditivados.
 - Tarea 2.1. Fabricación de probetas cúbicas de las mezclas de mortero aditivados con nano partículas de ZnO diseñadas en la T1.1
- En cada amasada se realizaron 6 probetas (Figura 6).

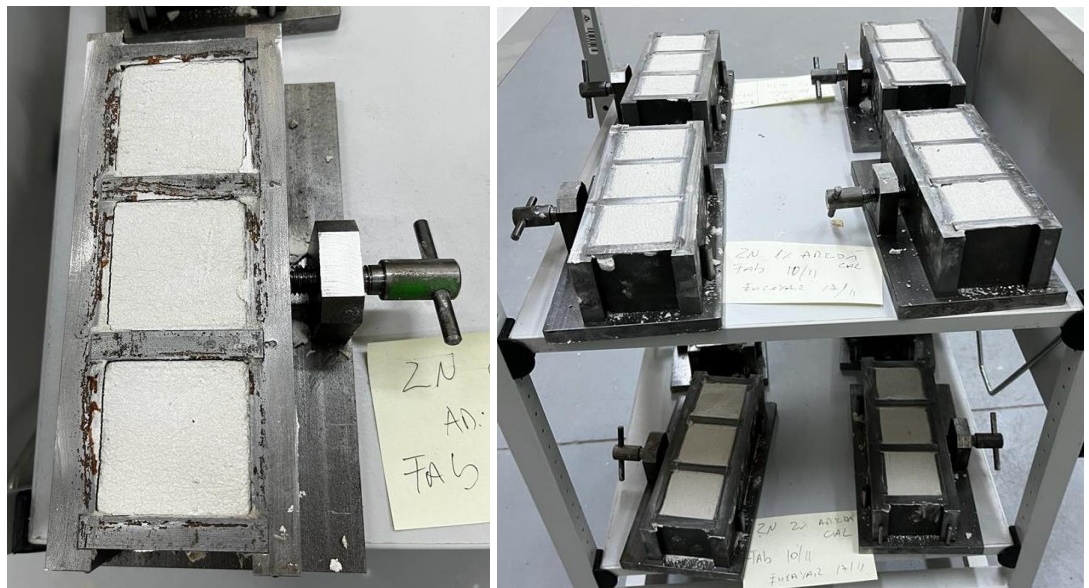


Figura 6. Fabricación de las probetas cúbicas de mortero aditivado con nano partículas de ZnO

Las mezclas fueron desmoldadas después de 24 horas curando a temperatura ambiente e introducidas en la cámara de atmósfera controlada (Figura 7). Los parámetros de temperatura y humedad establecidos fueron:

- Temperatura 20°C
- Humedad 95%

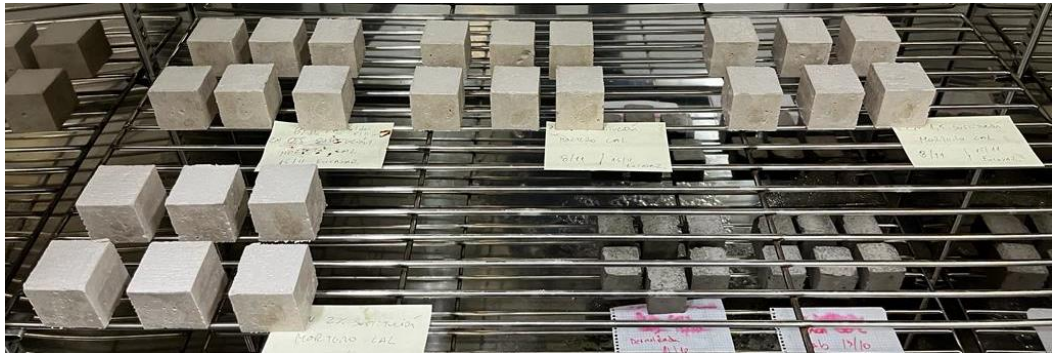


Figura 7. Fraguado de las mezclas

Pasados siete días las mezclas fueron extraídas de la cámara de atmósfera controlada. En la Figura 8 se muestran las probetas preparadas para la realización de los ensayos de la Fase 3.



Figura 8. Preparación de las probetas para la realización de los ensayos

- **Fase 3. Caracterización de los morteros de cal aditivados**
 - **Tarea 3.1. Ensayos de caracterización de las prestaciones mecánicas de los morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO: resistencia a compresión, trabajabilidad, porosidad y determinación de la densidad.**

Se realizan los ensayos a compresión (Figura 9) y posteriormente se determina la densidad de las mezclas con un picnómetro de Helio.



Figura 9. Ensayos a compresión de las mezclas

- **Tarea 3.2. Ensayos de caracterización de las prestaciones térmicas de los morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO: conductividad térmica.**

Se muelen los restos de mezclas ensayadas a compresión con un molino de bolas con el objetivo de medir su conductividad en polvo. Para ello se empleó el medidor de conductividad térmica de la marca C –Therm empleando la técnica modificada de la fuente plana transitoria. En la Figura 10 se muestran las mezclas en polvo sobre las que posteriormente se midió su conductividad, así como la instalación para realizar las medidas (Figura 11 y Figura 12).

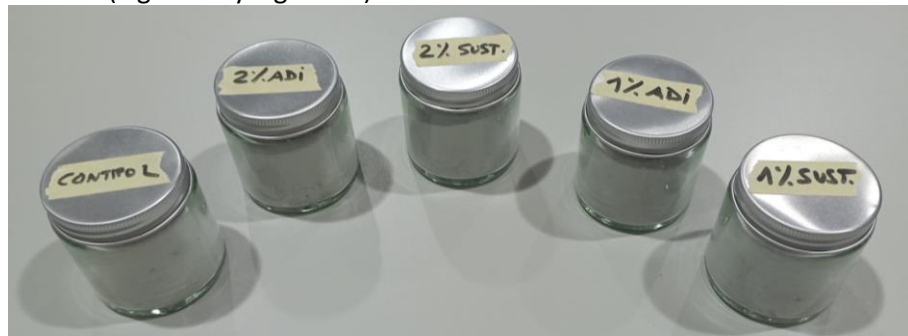


Figura 10. Mezclas en polvo para la medida de conductividad térmica

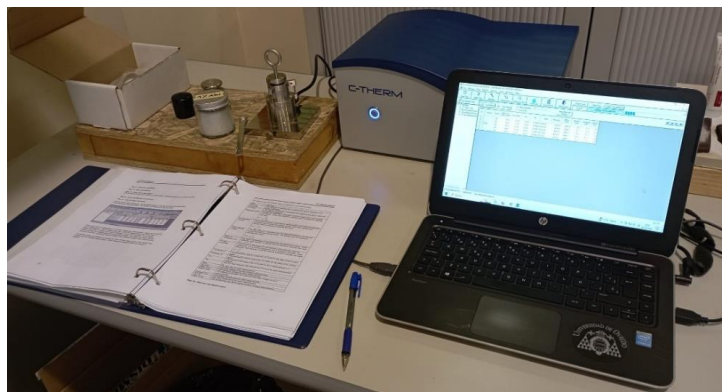


Figura 11. Instalación para la medida de la conductividad de las mezclas



Figura 12. Detalle de la instalación para la medida de la conductividad en la mezcla 2% adición

4. Resultados obtenidos:

A continuación, se resumen los resultados de este proyecto derivados de las tareas realizadas que se han descrito anteriormente. En primer lugar, como se ha comentado anteriormente, con el objetivo de reducir el tiempo de fabricación de las probetas, cabe destacar que fueron desmoldadas y ensayadas después de siete días de fraguado, tal y como permite la norma. Sin embargo, los valores de resistencia a compresión no son tan altos como lo serían con 28 días de fraguado. En primer lugar, fueron ensayadas las probetas de control, es decir, aquellas sin adición ni sustitución de ZnO. La resistencia a compresión media de esta mezcla fue de 2,86 MPa. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos a compresión para cada una de las mezclas aditivadas.

En la Figura 13 se representa la resistencia a compresión en el caso de las mezclas de sustitución, representando en el eje de abscisas el porcentaje de ZnO que se añadió a la mezcla y en el eje de ordenadas la resistencia a compresión en MPa. Se puede observar como estos valores se encuentran en un rango comprendido entre 0.3 y 0.4 MPa. La resistencia máxima a compresión se corresponde con las mezclas en las que se añade un 1 y 1.5% de nanopartículas.

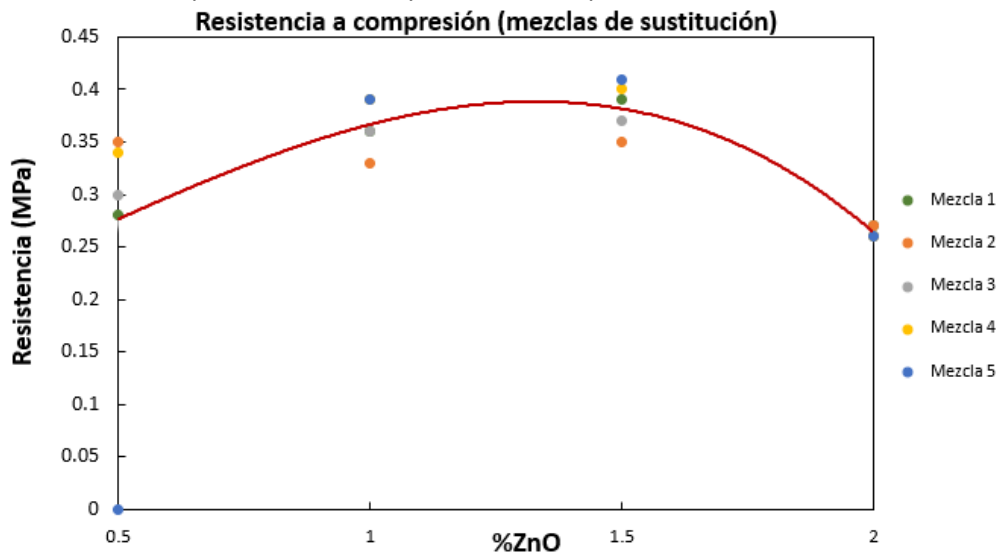


Figura 13. Resistencia a compresión de las mezclas de sustitución

Por otro lado, en la Figura 14 se muestran los resultados de los ensayos de resistencia a compresión en mezclas de adición. En este caso el rango de valores se incrementa ligeramente, llegando a alcanzar los 0.45 MPa. Los valores máximos se corresponden con las mezclas en las que se añaden un 1.5 y 2% de nanopartículas.

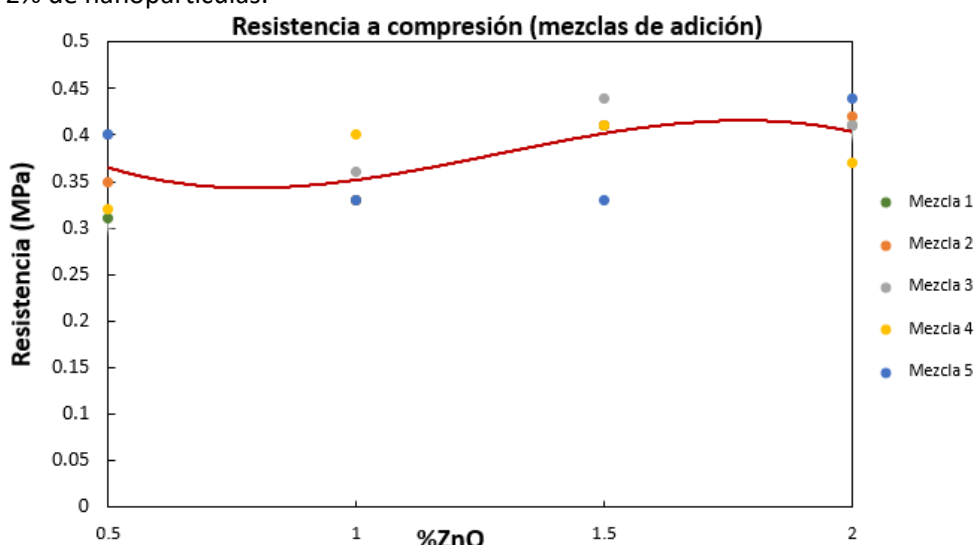


Figura 14. Resistencia a compresión de las mezclas de adición

En la Tabla 8 se recogen los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización de las prestaciones mecánicas de los morteros de cal aditivados con nanopartículas de ZnO.

Mezcla	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/m·K)
Control	2549,8	0,084
1% Adición	2460,8	0,119
1% Sustitución	2666,8	0,094
2% Adición	2663,2	0,086
2% Sustitución	2667,2	0,096

Tabla 8. Resultados de densidad y conductividad para las diferentes mezclas

Por tanto, es importante remarcar que aun incluyendo las nanopartículas de ZnO, se mantienen valores de conductividad térmica aceptable para este tipo de materiales. Además, se le añade la ventaja de que actúan como captadores de CO₂. Por lo tanto, el beneficio medioambiental es muy reseñable. En cuanto a los modelos numéricos con PCMs macroencapsulados, en primer lugar, se recogen en la Tabla 9 las propiedades de los materiales introducidos en los modelos numéricos. Como se puede observar el calor específico del PCM es función de la temperatura (Figura 15)

Material	Conductividad térmica, λ (W/m·°C)	Calor específico (J/kg·°C)	Densidad (kg/m ³)
Ladrillo macizo	0.96	1000	2170
Ladrillo hueco	0.44	1000	930
Mortero de cal	0,084	1000	2549,8
PCM21 (sólido/líquido)	0.2	f(temp)	880/770

Tabla 9. Propiedades de los materiales

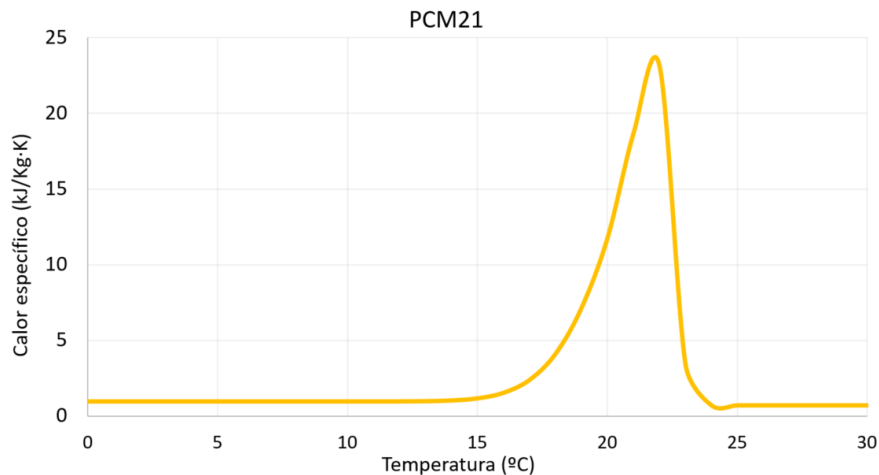


Figura 15. Capacidad calorífica efectiva equivalente para el PCM utilizado.

En la Figura 16 se muestran los resultados correspondientes a las diferentes propuestas de rehabilitación que se han descrito anteriormente. La fachada original presenta una oscilación térmica en torno a 1 °C en condiciones de verano y casi 0.93 °C en condiciones de invierno, cayendo en este último caso la temperatura media 11 °C aproximadamente. Sin embargo, se puede ver como la rehabilitación interior reduce de manera importante la oscilación térmica presente en la fachada original (72.36%), pasando de 0.991 °C a 0.274 °C de oscilación máxima. En invierno mejora de igual forma con el uso de PCMs por el interior, siendo la oscilación térmica un 70.14 % menor que en la envolvente original. La temperatura media en invierno también presenta un ascenso significativo con respecto a la temperatura media interior del cerramiento sin rehabilitar lo cual también afecta al confort interior.

En el caso de la rehabilitación exterior, los resultados son menos satisfactorios en cuanto a temperatura media interior. Si bien es cierto que la oscilación térmica se minimiza significativamente (93.67% en verano y 70.68 % en invierno), las temperaturas medias en ambos casos alcanzan los 18.135 °C en verano y 10.721 °C en invierno. Por tanto, el comportamiento del PCM consigue que, durante su cambio de fase, la temperatura se estabilice y la transferencia de calor se reduzca, mejorando con ello el confort térmico interior.

5. Trabajos o necesidades futuras

El diseño de nuevas soluciones de rehabilitación adecuadas a nuestra climatología es una línea de desarrollo muy novedosa que, supone un punto de partida en sistemas constructivos que diferenciarán a la ciudad y a las entidades que aborden las diferentes actuaciones en la misma. El proyecto, fundamentalmente por su corta duración no presenta como objetivo llegar a un nivel de madurez tecnológica elevado desarrollando prototipos. Sin embargo, se considera un primer paso para ofrecer alternativas para las que pueden ser las técnicas de un futuro cercano.

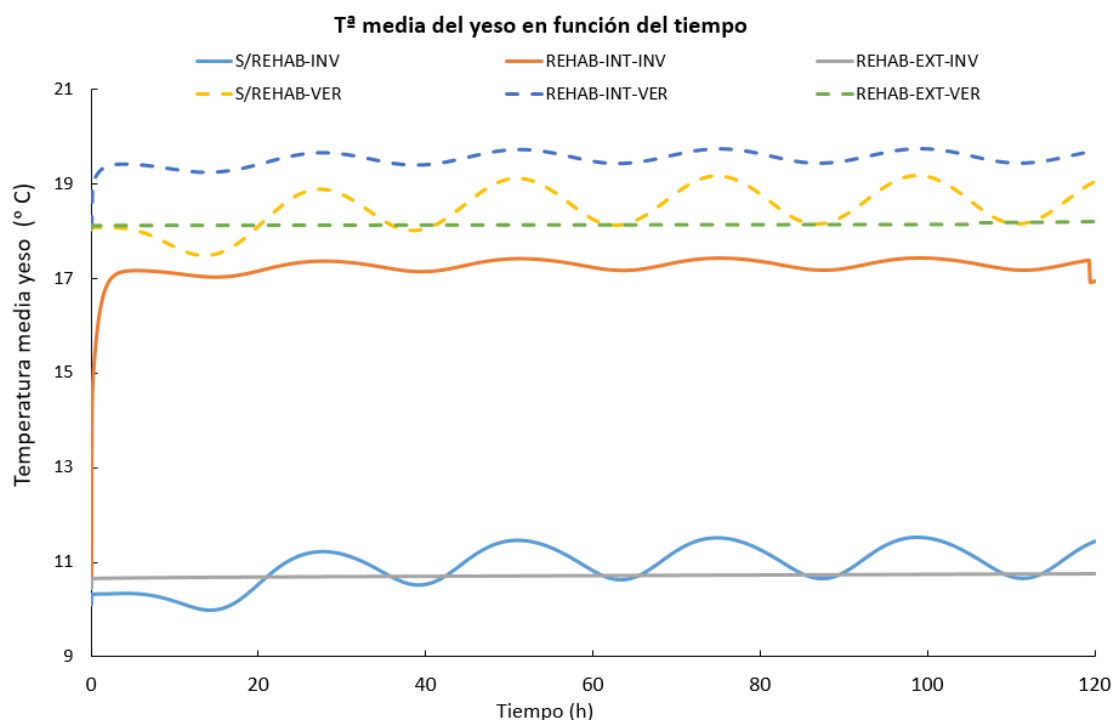


Figura 16. Evolución de la temperatura media (°C) medida en el yeso

6. Divulgación de los resultados

Los resultados de los proyectos se divulgarán en el año 2024 a través de publicaciones o congresos. Entre estos, se encuentra el congreso Iberoamericano REHABEND2024 que se celebrará en mayo de 2024 y tendrá lugar en Gijón. El investigador Alfonso Lozano pertenece a la organización y la IP del proyecto ya ha enviado una propuesta de ponencia relacionada con la temática de este proyecto titulada: “Macroencapsulated Phase Change Materials as novelty Solution for energy retrofit of heritage buildings”. El resumen enviado ha sido aceptado, y el artículo extendido se enviará en los próximos meses.

Además, el equipo investigador hará divulgación del proyecto tanto en su página web: Construcción Sostenible, Simulación y Ensayo GICONSIME - Proyectos (uniovi.es) como en sus Redes Sociales LINKEDIN GICONSIME-UNIOVI.

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
“Macroencapsulated Phase Change Materials as novelty solution for energy retrofit of heritage buildings”.	Matías Álvarez Rodríguez Alfonso Lozano Martínez-Luengas Placeres González Martínez Juan José del Coz Díaz Mar Alonso Martínez Dana Rodríguez García	Com. Oral	REHABEND2024	Gijón, mayo 2024
Estudio de soluciones	Dana Rodríguez García	Charla Invitada	Jornadas de	Gijón (Spain),

<i>innovadoras para sistemas de rehabilitación de edificios protegidos y patrimonio industrial basadas en morteros de cal aditivados: REHABIN</i>	Placeres González Martínez Matías Álvarez Rodríguez Felipe Pedro Álvarez Rabanal Alfonso Lozano Martínez-Luengas Mar Alonso Martínez Diana Movilla Quesada		Proyectos IUTA	May 2024
---	---	--	----------------	----------

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	4.000 €
TOTAL GASTOS	4.000 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.000 €
TOTAL INGRESOS		4.000 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-15

Estudio la cadena de suministro alimentaria en Asturias. Cómo se utiliza el aprovechamiento de excedentes alimentarios para alimentación animal.

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 09 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

Laura Calzada Infante

Otros investigadores:

Eugenia Suárez Serrano, Pilar L. González Torre, Adenso Díaz Fernández, Jose Manuel Montes, Irene Martínez López

Personal contratado:

Paula Kleckers Remacha

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 10 / 2023 al 30 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

Conservas REMO, SERIDA

Redes sociales de investigadores y empresas:

N/A

Resumen Gráfico

Tareas	1º mes				2º mes				3º mes				4º mes			
Fase 1																
T1.1									x	x	x					
T1.2	x	x	x	x	x	x	x	x								
T1.3										x		x	x	x	x	x
Fase 2																
T2.1																x
T2.2																x

	Planificado
x	Realizado

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Después del conflicto en Ucrania, se ha observado un alarmante aumento en los precios de los productos básicos como resultado de tensiones en la cadena de suministro, el incremento en el costo de los combustibles y el encarecimiento de las materias primas, entre otras causas. Estos factores están generando un encarecimiento en los costos de la cadena de suministro alimentario en todos los niveles, incluyendo el ámbito asturiano, lo que agrava aún más la situación en el sector primario. En los últimos años, en el Principado de Asturias, los indicadores de sectoriales de leche, carne y el valor de la pesca desembarcada están evolucionando desfavorablemente.

Esta situación se agravará con las consecuencias del cambio climático, la sequía y las altas temperaturas, a menos que se revierta la tendencia. En respuesta a esta previsión, tanto las instituciones como las empresas están demostrando un firme compromiso con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Específicamente, en el ODS 12, relacionado con la producción y el consumo responsables, la meta 12.3 busca reducir a la mitad el desperdicio de alimentos, que no solo genera altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sino también busca un uso más eficiente de los recursos. Cada vez se busca más la implementación de una cadena de suministro circular que aproveche al máximo los recursos disponibles. El ritmo de crecimiento de la población mundial y el consecuente aumento en el consumo resalta la escasez de los recursos del planeta para satisfacer las necesidades de todas las personas que lo habitan, lo que enfatiza la necesidad de optimizar los procesos de fabricación.

El objetivo general del proyecto es proporcionar un análisis de la situación actual de la circularidad en la cadena de suministro alimentaria asturiana relacionada con la alimentación del ganado, y buscar alternativas que minimicen los desperdicios.

Para alcanzar este objetivo global, se deben perseguir los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar los desperdicios alimentarios o subproductos en la cadena de suministro alimentario asturiano que puedan ser utilizados para alimentar al ganado.

2. Clasificar y evaluar los desperdicios alimentarios identificados en el objetivo 1 y analizar las razones por las cuales no se están aprovechando en la actualidad.

El proyecto consta de dos fases. La primera etapa busca clasificar y cuantificar los desperdicios que podrían ser aptos para el consumo animal, mientras que la segunda fase evalúa las principales causas por las cuales no se está utilizando este tipo de residuo como alternativa.

La metodología utilizada implica llevar a cabo encuestas a diferentes productores agrarios, ganaderos y productores asturianos con el fin de clasificar y cuantificar estos residuos. El objetivo de estos cuestionarios no se limita a calificar y cuantificar los residuos alimentarios, sino también a determinar las causas subyacentes de su generación. La metodología que se utilizará es el Análisis de Causa Raíz (Root-Cause Analysis) para identificar las causas fundamentales que provocaron la generación de los residuos. Esta metodología se basa en la premisa de que los problemas surgen como resultado de una serie de causas interrelacionadas. Comprender estas causas fundamentales, yendo hasta la raíz del problema, permitirá encontrar sinergias, optimizar procesos y generar ideas de negocio y de reaprovechamiento de residuos dentro del sector.

A lo largo de la duración del proyecto, se ha completado ambas fases. La revisión de la literatura ha requerido más tiempo de lo inicialmente previsto. Se ha elaborado un cuestionario en colaboración con el SERIDA y se ha realizado un pretest. Únicamente han contestado la encuesta 28 empresas, por lo que los resultados sólo se pueden tratar como descriptivos.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Grado de consecución
Principal	Análisis de la situación actual de la circularidad en la cadena de suministro alimentaria asturiana relacionada con la alimentación del ganado, y buscar alternativas que minimicen los desperdicios.	70%
Secundario/ Específico	Detectar dentro de la cadena de suministro alimentaria asturiana los desperdicios alimentarios o subproductos susceptibles de ser utilizados para alimentar al ganado	70%
Secundario/ Específico	Clasificar y evaluar los desperdicios alimentarios detectados en el objetivo 1 y cuáles son las razones por las que no se están aprovechando a día de hoy.	70%

3. Tareas realizadas:

A continuación, se muestran las fases y tareas planificadas y las actividades que se han

realizado, así como la duración de las actividades.

Fase 1: Identificación de las empresas involucradas en la cadena de suministros alimentaria asturiana que generen desperdicios susceptibles de ser utilizados para alimentar al ganado

Tarea 1.1: Listado de empresas asturianas que se dediquen al sector alimentario.

Se han evaluado a través del SABI qué empresas del sector alimentario podrían generar residuos que se podrían aprovechar para el consumo animal. A este listado de 350 empresas se han sumado las empresas indicadas por la Consejería de Desarrollo rural y Política Agraria.

Tarea 1.2: Revisión del estado del arte

Se han evaluado 101 artículos en una revisión sistemática de la literatura. Las búsquedas se realizaron en revistas indexadas diferentes dentro del ámbito de *Management* a través de SCOPUS y *Web of Science* (WOS). Como criterio de búsqueda se utilizó: ("food waste" OR "food los") AND ("animal feed*"). En total aparecieron 213 artículos que hubo que seleccionar.

Tarea 1.3 Contactar a las empresas para rellenar el cuestionario con el que cuantificar y clasificar los residuos alimentarios

Se han identificado 109 empresas en la población objetivo, realizando el proceso de encuesta científica a un total de 28 empresas (25.7%). El equipo investigador está valorando ampliar esta cifra a principios de 2024, por confirmar los resultados, pero considera completada esta etapa del proyecto.

Fase 2: Análisis de los resultados

Tarea 2.1: Aplicación de la metodología Análisis de Causa Raíz

Se han evaluado los resultados con la muestra obtenida

Tarea 2.2: Generar el informe y borrador del artículo científico

Se ha generado un informe con los resultados obtenidos para justificar el proyecto y un conference abstract para realizar una comunicación oral en el congreso ACEDE 24.

Tabla 1. Duración de las tareas realizadas del proyecto

ID	Descripción	MESES			
		1	2	3	4
Fase 1	Identificación de las empresas involucradas en la cadena de suministros alimentaria asturiana que				

	generen desperdicios susceptibles de ser utilizados para alimentar al ganado				
Tarea 1.1	Listado de empresas asturianas que se dediquen al sector alimentario			x	
Tarea 1.2	Revisión del estado del arte	x	x		
Tarea 1.3	Contactar a las empresas para rellenar el cuestionario con el que cuantificar y clasificar los residuos alimentarios			x	x
Fase 2	Análisis de los resultados				
Tarea 2.1	Aplicación de la metodología Análisis de Causa Raíz				x
Tarea 2.2	Generar el informe y borrador del artículo científico				x

4. Resultados obtenidos:

A lo largo del trabajo de campo, se han identificado 109 empresas y se ha encuestado a una muestra integrada por 28 empresas. La distribución de las empresas que han contestado la encuesta según su CNAE se encuentra en la Tabla 1. Debido al pequeño tamaño de la muestra sólo se pueden obtener resultados descriptivos. No obstante, se están contactando a más empresas para conseguir a principios de 2024 una muestra significativa. En concreto, en el 50% de las categorías del CNAE se han conseguido al menos dos cuestionarios cumplimentados en cada categoría tal y como se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Número de empresas que han contestado al cuestionario según el CNAE.

CNAE	
Avicultura	2
Cultivo de cereales (excepto arroz), leguminosas y semillas oleaginosas, Explotación de ganado bovino para la producción de leche	1
Cultivo de otros árboles y arbustos frutales y frutos secos	2
Elaboración de café, té e infusiones	2
Elaboración de conservas	1
Elaboración de sidra y otras bebidas fermentadas a partir de frutas	2
Elaboración de vinos	1
Fabricación de cacao, chocolate y productos de confitería, Fabricación de turrones	1
Fabricación de cerveza	1
Fabricación de galletas	1
Fabricación de productos de panadería	2
Fabricación de productos de panadería, Fabricación de galletas	2
Fabricación de productos lácteos	2
Fabricación de productos para la alimentación animal de granja	2
Fabricación de quesos	2

Procesado y conservación de pescados, crustáceos y moluscos	3
Producción agrícola combinada con la producción ganadera	1
Número total de empresas	28

Las principales razones comunes por las que se generan estos residuos son: previsión de la demanda no ajustada a la realidad, los residuos no son aptos para el consumo humano o bien no son comestibles, productos en mal estado, o son residuos del proceso productivo.

A pesar de que ninguna empresa dispone de una subvención para realizar actividades de revalorización de residuos, el 85% de las empresas reaprovechan sus residuos bien para su propia actividad o bien a través de plantas de generación de biomasa, depositando los residuos en puntos de reciclaje, o bien para fabricación de alimentación animal. Aunque las empresas buscan reaprovechar sus residuos, sólo cinco empresas contemplan el ensilado como un proceso para mantener la calidad de los residuos con el fin de reutilizarlos a largo plazo. Entre los residuos que consideran interesante ensilar se encuentra: la mazada deshidratada, el suero de leche, las levaduras, el hollejo de la uva y la magaya.

Identificar una posible fuente de ingresos a través de los residuos que se generan puede determinar el uso final de dichos residuos. En la Tabla 2 se muestra la práctica de reaprovechamiento que realizan y el residuo que consideran que podrían generar beneficio económico. Casi la mitad de las empresas son conocedores del beneficio económico que tienen los siguientes residuos: excedentes de producción, la cascarilla de cacao, café, cascarilla del almíbar, los excedentes alimentarios, residuos de tejidos de animales, residuos de la preparación y la elaboración de pescado, aceites, panes fuera de los estándares, suero de leche y de la mazada.

Tabla 2: Relación entre las prácticas de revalorización que aplican las empresas y residuos de los que pueden sacar un beneficio económico.

Practica de revalorización	Residuo que puede generar beneficio económico
Depósito de los residuos en plantas de generación de biomasa	Cascarilla de café
	Aceite
Depósito de los residuos en puntos de reciclaje	Aceite
Reaprovechamiento de los residuos en plantas de fabricación de alimentación animal	Panes fuera de los estándares
	Excedentes alimentarios
	Excedentes de producción, de la cascarilla de cacao y del almíbar
	Suero de leche y de la mazada
Reaprovechamiento de residuos para mi actividad principal	Excedentes de producción, residuos de tejidos de animales, residuos de la preparación y la elaboración de pescado y de aceites

Independientemente del posible rédito económico que puedan llegar a obtener, hay empresas que sí que están reaprovechando sus residuos para alimentación animal, como por ejemplo la magaya, la malta de cebada, levadura y lúpulo, la viruta de galleta, suero de leche... No obstante, hay empresas que utilizan este residuo para generar energía a partir de biomasa

que se podría utilizar para alimentar al ganado. Las empresas que elaboran sidra y otras bebidas fermentadas a partir de fruta, las que fabrican cacao, chocolate, productos de confitería, turrone, cerveza, galletas y productos de panadería, y alguna empresa que fabrica productos lácteos y quesos derivan alguno de sus residuos a la fabricación de alimentación animal. Las empresas del sector avícola no pueden ofrecer sus residuos para la alimentación animal. El resto de las empresas no lo ofrecen por desconocimiento, porque les supone un esfuerzo logístico o no les resulta económicamente atractivo, o bien porque lo reaprovechan para su actividad productiva.

Aguas abajo en la cadena de suministro, cuando se pregunta a los fabricantes de piensos sobre el uso de residuos alimentarios para fabricar piensos, todos afirman que utilizan residuos aptos para el consumo animal por su relación calidad-precio y por las cualidades nutritivas y su disponibilidad en el mercado. Concretamente para fabricación de alimentación animal se utilizan panes, excedentes alimentarios, excedentes de producción y productos como suero de leche, mazada, cascarilla del almíbar, ...

Cuando se visualizan cuáles son los factores que influyen a todas estas empresas a llevar a cabo prácticas de sostenibilidad (Tabla 3) se observa que tienen más peso la legislación, el código ético y la imagen de la empresa que los incentivos económicos, las certificaciones y reducción de la emisión de gases. Es interesante ver cómo hay empresas que no asocian las certificaciones con la imagen de la empresa y cómo encuentran una mayor motivación en el simple hecho de reducir la utilización de los recursos, frente a la reducción de emisión de gases. Por último, es importante destacar que la mayor parte de las empresas no encuentran problemas para deshacerse de los residuos que genera, aunque cuatro empresas si encuentran faltas de infraestructura de recogida y/o tratamiento.

Tabla 3: Promedio con la calificación entre 0 y 10 a la influencia de factores para llevar a cabo prácticas de sostenibilidad por CNAE

CNAE	Incentivos económicos	Ingresos venta	Certificaciones	Imagen empresa	Código ético	Legislación	Cambio climático	Reducción de recursos naturales	Emisión de gases
Avicultura	9.0	10.0	6.5	5.0	4.0	9.0	0.0	3.0	0.0
Cultivo de cereales (excepto arroz), leguminosas y semillas oleaginosas, Explotación de ganado bovino para la producción de leche	10.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0
Cultivo de otros árboles y arbustos frutales y frutos secos	8.0	5.0	3.5	3.0	5.0	2.5	5.0	5.0	5.0
Elaboración de café, té e infusiones	1.5	1.5	0.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Elaboración de conservas	4.0	2.0	3.0	8.0	10.0	10.0	10.0	5.0	0.0
Elaboración de sidra y otras bebidas fermentadas a partir de frutas	9.0	2.5	8.5	10.0	7.5	10.0	5.0	6.5	5.0
Elaboración de vinos	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0
Fabricación de cacao, chocolate y productos de confitería, Fabricación de turrone	8.0	8.0	8.0	9.0	8.0	5.0	6.0	9.0	6.0
Fabricación de cerveza	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10.0	8.0	8.0	8.0
Fabricación de galletas	0.0	0.0	0.0	5.0	9.0	10.0	9.0	9.0	9.0
Fabricación de productos de panadería	3.0	2.5	0.0	7.0	8.5	4.0	5.0	9.5	4.5
Fabricación de productos de panadería, Fabricación de galletas	9.5	9.5	3.5	8.5	9.5	10.0	7.5	7.5	5.0
Fabricación de productos lácteos	5.0	4.0	8.5	10.0	8.5	5.0	4.0	8.0	4.5
Fabricación de productos para la alimentación animal de granja	5.0	7.0	7.0	7.5	8.5	10.0	7.5	6.5	7.5
Fabricación de quesos	2.0	2.0	2.0	3.0	8.5	8.0	3.5	7.5	8.5
Procesado y conservación de pescados, crustáceos y moluscos	8.0	9.7	7.3	8.7	9.3	6.3	8.7	9.7	9.0
Producción agrícola combinada con la producción ganadera	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio	5.5	4.5	4.0	6.6	7.6	7.2	5.5	6.7	5.0

5. Trabajos o necesidades futuras

Tras este estudio preliminar, nuestro objetivo es ampliar la muestra objeto de estudio en el futuro próximo con el fin de obtener una muestra significativa con fin de realizar estudios estadísticos que permitan comparar los resultados obtenidos en este proyecto.

Estamos seguros de que los resultados van a generar una imagen fidedigna de la realidad que permitirá generar ideas de negocio, y optimizar los procesos.

6. Divulgación de los resultados

Muchas de las empresas que hemos contactado están interesadas en los resultados del cuestionario que han realizado. Tenemos planificado realizar un seminario para estas, una vez se haya conseguido una muestra significativa. Para financiar esta actividad se va a solicitar la convocatoria "Convocatoria de Financiación de Actividades 2024 en el Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias, financiadas por el Ayuntamiento de Gijón en régimen de concurrencia competitiva".

Además, los resultados conseguidos se van a exponer en las Jornadas de Proyectos del IUTA del 2024, y en 33rd International Conference ACEDE 2024 que va a tener lugar en Junio en Valencia. Se ha mandado el abstract para su evaluación.

Memoria económica:

1. Gastos:

En este proyecto únicamente se han contado con gastos de personal.

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.000 €
Fungibles	0 €
Amortización	0 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	0 €
TOTAL GASTOS	3.000 €

2. Ingresos:

Únicamente se ha contado con la financiación del IUTA para desarrollar este proyecto.

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.000 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0 €
Financiación propia		0 €
TOTAL INGRESOS		3.000 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-16

Estudio de la implementación de cogeneración con la tecnología de un ciclo higroscópico. Análisis de la viabilidad técnica y medioambiental (COG-HCT)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 09 / 2023 al 21 / 02 / 2024

Investigador/a Principal:

Juan Manuel González-Caballín Sánchez

Otros investigadores:

Santiago García-Maribona López-Sela

Antonio José Gutiérrez Trashorras

Juan Carlos Ríos Fernández

Roberto Martínez Pérez

Personal contratado:

Santiago García-Maribona López-Sela

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA)

Fundación Universidad de Oviedo (FUO)

IMASA, Ingeniería y Proyectos, S.A

Redes sociales de investigadores y empresas:

Santiago García-Maribona López-Sela UO277503@uniovi.es

Juan Manuel González-Caballín Sánchez gonzalezsjuan@uniovi.es

Resumen Gráfico

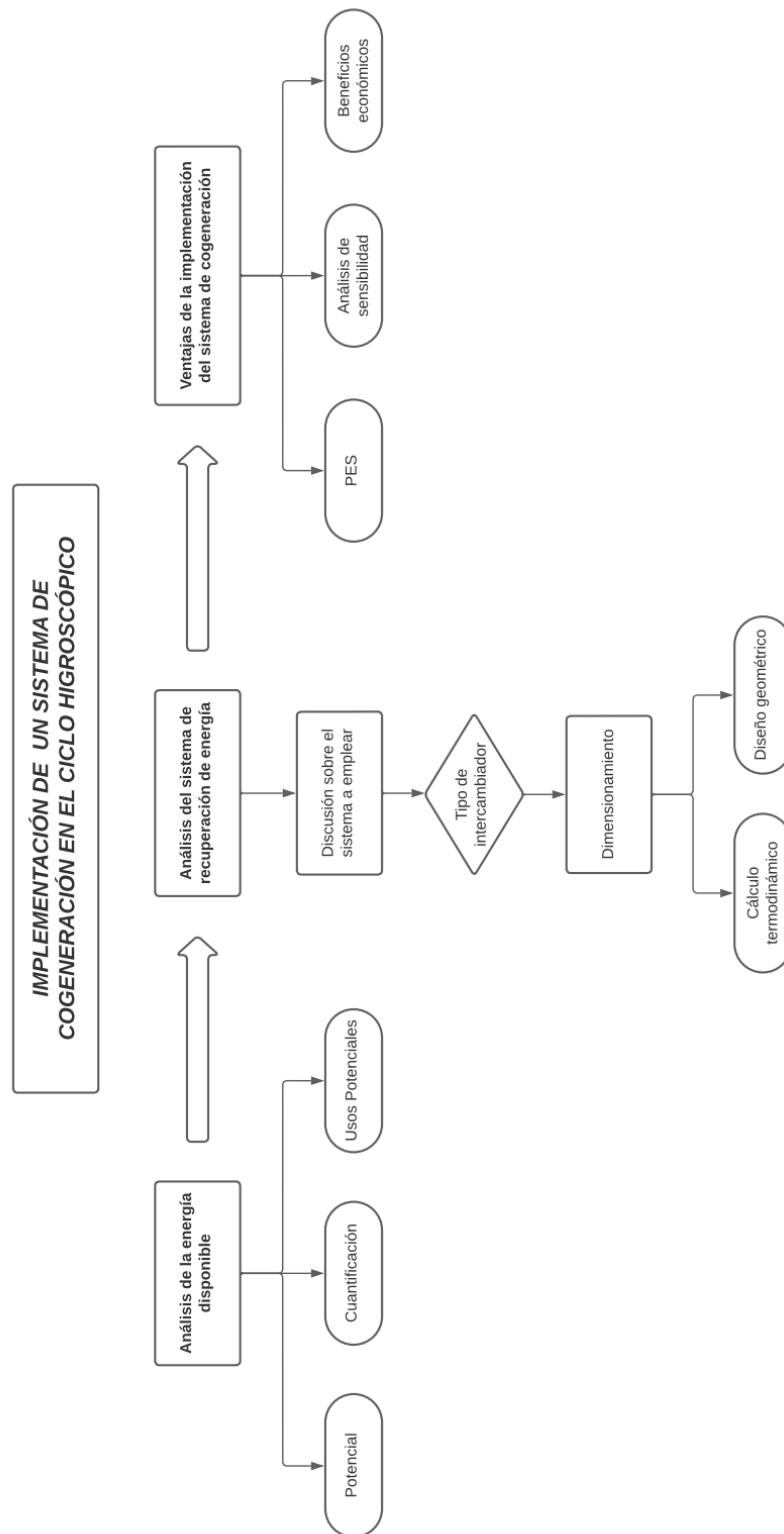


Figura 01. Diagrama de flujo del proyecto

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar el aprovechamiento del calor residual en el flujo de recirculación de una central de ciclo higroscópico, así como diseñar el sistema de recuperación de calor a emplear, determinar las ventajas de su implementación y proponer distintos usos de la energía recuperada. Concretamente, el estudio se centra en la central térmica de biomasa de Vetejar, ubicada en Palenciana, Córdoba.

El ciclo higroscópico es un ciclo termodinámico similar al Rankine convencional, en el que se sustituye el condensador por un absorbedor de vapor. En este, el proceso de condensación se basa en las propiedades higroscópicas de diferentes compuestos como el bromuro de litio (LiBr) o los propios componentes del agua. La central térmica de Vetejar emplea agua para este proceso.

Los compuestos higroscópicos tienden a absorber el vapor de agua en su entorno, favoreciendo la transferencia de calor entre el vapor a la salida de la turbina y el flujo de recirculación, optimizando así el proceso de condensación. Una mayor efectividad en la condensación permite lograr temperaturas de condensación mayores para una misma presión. Esto conlleva varias ventajas:

- Permite que la central opere a **temperaturas ambiente elevadas**, por encima de los 40°C.
- **Reduce los costes de refrigeración** y permite prescindir de la torre de refrigeración.
- **Aumenta el rendimiento de la central** respecto al ciclo Rankine convencional.

El aumento de la temperatura de condensación supone un aumento de la temperatura del flujo de recirculación a la salida del absorbedor. Este aumento dependerá del compuesto higroscópico empleado y su concentración, pudiendo alcanzar el flujo de recirculación temperaturas cercanas a los 70-80°C para disoluciones de LiBr con concentraciones del 55%. En el caso concreto de la planta de Vetejar, que emplea agua como compuesto higroscópico, se alcanzan temperaturas de 43,1°C.

Estas elevadas temperaturas, en términos relativos, dan pie a un aprovechamiento energético del calor residual en el flujo de recirculación que de otra forma se disiparía en la atmósfera. Esto es, un sistema de cogeneración a partir de calor residual. Para su diseño y justificación se han llevado a cabo las siguientes etapas:

Análisis de la energía disponible

La central térmica de Vetejar tiene una potencia de diseño de 10MW, consumiendo 28MW de energía primaria (alperujo) y cediendo 18MW al exterior en la refrigeración del flujo de recirculación a través de un enfriador seco. En este se enfría un flujo másico de 357kg/s desde 43°C hasta 21°C.

Se ha valorado la posibilidad de sustituir el enfriador seco por un intercambiador de calor convencional, refrigerando el flujo de recirculación con agua de red, cuya temperatura media anual en Córdoba es de 15°C. Esto permitiría reducir el flujo de recirculación a 152kg/s, enfriándolo desde 43°C hasta 15°C.

En condiciones ideales se conseguirían extraer 18MW del flujo de recirculación, lo que supone una cantidad muy relevante de energía. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta energía térmica es de baja entalpía y sus posibles usos limitados.

Análisis del sistema de recuperación de calor

Tras un análisis exhaustivo, se ha determinado que la tipología óptima de intercambiador de calor a emplear es un intercambiador de carcasa y tubos con cuatro pasos por los tubos y cinco por la carcasa. Este logra grandes áreas de intercambio de calor sin introducir pérdidas de carga elevadas que aumenten los costes de bombeo.

Para su dimensionamiento ha sido necesario combinar cálculos termodinámicos y geométricos. Finalmente se ha obtenido un área de intercambio de calor necesaria de 2000m², obteniendo una eficiencia del 88,64% en el intercambiador y 17,85MW de calor recuperados.

Ventajas y justificación del sistema de cogeneración

Una vez conocida la energía recuperada mediante el sistema de cogeneración, se ha calculado la eficacia de la misma en base al factor PES (Primary Energy Savings), establecido en la Directiva UE 2023/1791. Se ha obtenido un PES del 43,94%, superando el 10% establecido en la directiva para las instalaciones de cogeneración de alta eficiencia, luego puede considerarse como tal.

Este ahorro de energía primaria, además de beneficios económicos por la venta de energía, conlleva ventajas ambientales, reduciendo las emisiones de CO₂ en comparación a si se obtuviera mediante combustibles fósiles. Si esta energía se generara mediante la combustión de gas natural, se emitirían 31.900 toneladas de CO₂ anualmente. En el caso de emplear carbón, ascenderían a 54.260 toneladas de CO₂ anuales.

Finalmente se han evaluado posibles usos de la energía recuperada. Es importante tener en cuenta que esta se recupera a temperaturas bajas, cerca de los 40°C, por lo que sus aplicaciones se limitan a aquellas que requieran temperaturas reducidas. Entre las propuestas destacan:

- Producción de agua caliente sanitaria (ACS).
- Procesos de precalentamiento o calentamiento escalonado.
- Procesos de secado.
- District heating.
- Generación por gradiente de salinidad.
- Desalación.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Estudio de la implementación de un sistema de cogeneración en el ciclo higroscópico		90%
Secundario	Análisis de la energía disponible. Cantidad y características.		100%
Secundario	Diseño de un sistema de recuperación de calor adecuado para la planta en estudio		100%
Secundario	Estudio de las ventajas derivadas de la implementación del sistema de cogeneración		90%
Secundario	Propuesta de posibles usos para la energía recuperada		70%

Figura 02. Objetivos del proyecto y grado de consecución

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES				
		1	2	3	4	5
Fase 1	Análisis de la energía disponible					
Tarea 1.1	Estudiar el potencial de la energía disponible.					
Tarea 1.2	Cuantificar la energía disponible.					
Tarea 1.3	Posibles usos de la energía recuperada.					
Fase 2	Análisis del sistema de recuperación de energía					
Tarea 2.1	Discusión sobre el sistema a emplear.					
Tarea 2.2	Dimensionamiento del intercambiador de calor.					
Fase 3	Beneficios de la implementación de cogeneración					
Tarea 3.1	Cálculo del factor PES.					
Tarea 3.2	Análisis de sensibilidad. Ventajas medioambientales.					
Tarea 3.3	Beneficios económicos. Posibles usos.					

Figura 03. Planificación del proyecto

➤ **Fase 1:** Análisis de la energía disponible.

○ **Tarea 1.1:** Estudiar el potencial de la energía disponible.

Se ha analizado el potencial de la energía residual disponible en la central de Vetejar para determinar, en primera instancia, si es factible su recuperación y aprovechamiento, atendiendo a factores de entalpía y temperatura.

○ **Tarea 1.2:** Cuantificar la energía disponible.

Se han optimizado parámetros del ciclo implantado en la central de Vetejar (como la temperatura en el desgasificador y el salto térmico en la refrigeración del flujo de recirculación), optimizándolo para obtener la mayor efectividad del sistema de cogeneración. Una vez hecho esto, se ha cuantificado la energía disponible considerando condiciones ideales, sin pérdidas de energía hacia el exterior del sistema.

○ **Tarea 1.3:** Posibles usos de la energía recuperada.

Atendiendo a la cantidad de energía disponible y sus características se han estudiado posibles usos a los que destinarla, tanto industriales como domésticos.

➤ **Fase 2:** Análisis del sistema de recuperación de energía.

○ **Tarea 2.1:** Discusión sobre el sistema a emplear.

Se han evaluado distintos sistemas de recuperación de calor para su aplicación en la planta de Vetejar, teniendo en consideración las temperaturas del flujo de recirculación a la entrada y salida del equipo de refrigeración, así como su flujo másico.

○ **Tarea 2.2:** Dimensionamiento del intercambiador de calor.

Una vez decidido el tipo de intercambiador de calor idóneo para la recuperación de la energía disponible, se ha dimensionado atendiendo a parámetros geométricos y termodinámicos, basándose en las características de la energía disponible, del flujo de recirculación y del flujo de agua de red (refrigeración). Finalmente, se ha realizado una propuesta para optimizar el funcionamiento del sistema de cogeneración implementando un depósito de inercia.

➤ **Fase 3:** Beneficios de la implantación del sistema de cogeneración.

○ **Tarea 3.1:** Cálculo del PES.

Se ha determinado el valor del parámetro PES obtenido al implantar el sistema de cogeneración según las indicaciones de la Directiva UE 2023/1791. Este permite identificar la instalación como una instalación de cogeneración de alta eficiencia y comparar su eficacia con otras instalaciones de cogeneración a nivel europeo.

○ **Tarea 3.2:** Análisis de sensibilidad. Ventajas medioambientales.

Se ha comparado la energía que se recuperaría mediante el sistema de cogeneración en comparación a la que se desecha actualmente sin ningún sistema de recuperación. Además, se han comparado las toneladas de CO₂ que se emitirían si la energía recuperada se produjera con carbón o gas natural frente a las nulas emisiones producidas por el sistema de cogeneración

- **Tarea 3.3:** Beneficios económicos. Posibles usos

Se han estudiado los beneficios económicos derivados de la energía recuperada, así como posibles aplicaciones de la misma. Esto permite focalizar la búsqueda de posibles compradores interesados. Nuevamente es importante remarcar que la cantidad de energía recuperada es muy elevada, pero las temperaturas que se pueden alcanzar a partir de esta reducidas, lo que limita enormemente sus aplicaciones.

4. Resultados obtenidos:

A continuación se resumen los resultados obtenidos en la investigación:

- Se han estudiado las características de la energía disponible en el flujo de recirculación de la central de Vetejar. Esta corresponde con una fuente de energía térmica de bajo grado, recuperada a temperaturas inferiores a los 100°C, lo que limita sus aplicaciones a aquellas que demanden temperaturas reducidas. Se trata de una fuente que proporciona en condiciones ideales 18MW a temperaturas máximas de 43,1°C.

- Se ha determinado que el sistema de recuperación de calor idóneo para este caso es un intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El intercambiador de calor de carcasa y tubos presenta menor eficiencia en la transmisión de calor en comparación a otras tipologías como pueden ser los intercambiadores de placas, pero también induce pérdidas de carga más reducidas. Al funcionar con flujos másicos elevados, entre 100 y 300kg/s, es idóneo emplear intercambiadores de calor de carcasa y tubos.

- El empleo de agua de red como refrigerante y fluido caloportador de la energía recuperada aporta dos ventajas esenciales.

En primer lugar, sus temperaturas se mantienen estables a lo largo del año, variando entre 10°C en los meses más fríos y 21°C en los más cálidos en el caso de Córdoba. La temperatura media anual es de 15°C. Así se consigue un funcionamiento estable de la instalación a lo largo del año, sin grandes variaciones estacionales que comprometan su eficiencia.

En segundo lugar, estas bajas temperaturas junto con el calor específico elevado del agua (4,18kJ/kg°C), logran una refrigeración muy efectiva del flujo de recirculación, reduciendo la temperatura y presión de condensación y aumentando la eficiencia del ciclo higroscópico.

- Se han fijado las temperaturas de entrada y salida de los flujos de recirculación y agua de red, a partir de las cuales se ha dimensionado el intercambiador de calor idóneo para la instalación de cogeneración

El flujo de recirculación entra al intercambiador a una temperatura de 43,1°C y saldría a 22°C, logrando un salto térmico de 21,1°C. El flujo másico asociado a este salto es de 202,1 kg/s.

En cuanto al agua de red, su temperatura de entrada varía a lo largo del año. Para los cálculos se ha tomado su temperatura media anual en la provincia de Córdoba, equivalente a 15°C. Su temperatura de salida se ha fijado a 40°C, logrando un salto térmico de 24,8°C. Esto corresponde a un flujo másico de 172kg/s

➤ Se ha dimensionado el intercambiador de calor a emplear. Este es de cinco pasos por la carcasa y cuatro pasos por los tubos, con un área de intercambio de calor de 2000m². Esta se logra mediante 3772 tubos de 19mm de diámetro exterior, 1,5mm de espesor y 9m de longitud dispuestos en 55 filas. La separación entre tubos es de 23,75mm de centro a centro. El diámetro interior de la carcasa para alojar los tubos es de 1,65m. Por la carcasa circula el flujo de recirculación y por el interior de los tubos el agua de red.

El sistema antes descrito da lugar a un flujo de agua de red de 172kg/s a 40°C. Esto corresponde a una energía recuperada de 17,85MW frente a un máximo de 20,13MW, obteniendo una eficiencia del intercambiador del 88,64%. Se logra un coeficiente global de transmisión de calor de 3,931 kW/m²°C.

Las pérdidas de carga introducidas por el intercambiador requieren un aporte de potencia mediante bombeo de 289,4kW para el flujo de recirculación y 104,3kW para el agua de red.

➤ Recuperar esta energía mediante cogeneración supone un beneficio ambiental. Si se empleara carbón se emitirían 54.260 toneladas de CO₂ anualmente. En el caso de emplear gas natural, se emitirían 31.900 toneladas de CO₂ anuales.

➤ La implementación del sistema de cogeneración también aporta beneficios económicos. Al obtener un PES superior al 10% la instalación de cogeneración se puede considerar de alta eficiencia, permitiendo optar a diversas ventajas y subvenciones. Además, se obtendrían ganancias extra derivadas de la venta de la energía recuperada.

➤ Se han estudiado posibles usos en los que emplear el calor de bajo grado recuperado. Los más factibles son procesos de precalentamiento a nivel industrial, agua caliente sanitaria y "District Heating". Además, podría emplearse en tecnologías menos desarrolladas como la generación eléctrica por gradiente de salinidad o la desalación mediante calor de bajo grado.

5. Trabajos o necesidades futuras

En un futuro sería deseable ahondar en un diseño más complejo del sistema de cogeneración, implementado distintos elementos que permitan ajustar la oferta de energía a la demanda en cada momento, como un depósito de inercia. Esto permitiría lograr un mejor funcionamiento de la instalación de cogeneración y una mejor integración con el ciclo higroscópico existente.

Por otro lado, sería de interés estudiar en profundidad distintas aplicaciones capaces de aprovechar la energía recuperada, como es el caso de las redes de “District Heating”, generación por gradiente de salinidad, desalación, agua caliente sanitaria, etc.

6. Divulgación de los resultados

El presente proyecto será presentado en la Jornada de Proyectos de Investigación 2023 organizada por el IUTA, que se llevará a cabo en 2024. Además, se espera publicar el proyecto en una revista científica de impacto.

Título	Autores	PTT	Congreso	Lugar y fecha
Implementación de un sistema de cogeneración en el ciclo higroscópico. Viabilidad técnica y ambiental	Santiago García-Maribona López-Sela Juan Manuel González-Caballín Sánchez	Charla invitada	Jornadas de Proyectos IUTA	Gijón (España), 2024

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	4.700 €
Fungibles	0.000 €
Amortización	0.000 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	0.000 €
TOTAL GASTOS	4.700 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	4.700 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0.000 €
Financiación propia		0.000 €
TOTAL INGRESOS		4.700 €

PROYECTO REF. SV-23-GIJÓN-1-17

Modelado de la evolución del cáncer de mama mediante el procesado de imágenes de resonancia magnética mediante IA como apoyo a la medicina personalizada (AI4MAMACANCER)

Fechas inicial y final del proyecto:

01 / 06 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Investigador/a Principal:

José Ramon Villar Flecha

Otros investigadores:

Ángel Francisco del Río Álvarez

Personal contratado:

Rebeca Oliveira Suárez

Fechas inicial y final de contratación:

01 / 09 / 2023 al 31 / 12 / 2023

Empresas o instituciones colaboradoras:

Purdue University

Redes sociales de investigadores y empresas:

Resumen Gráfico

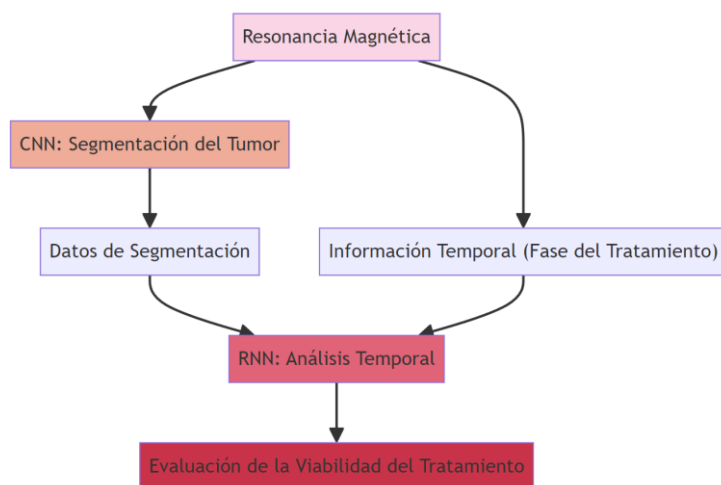


Ilustración 17: Diagrama de flujo del proyecto

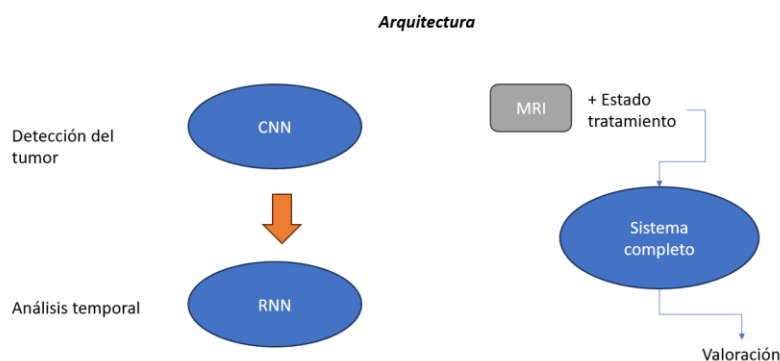


Ilustración 18: Arquitectura de la solución

Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Antecedentes

El cáncer de mama representa uno de los mayores desafíos en el campo de la salud, con una tasa de mortalidad significativa a nivel mundial. En las últimas décadas, ha habido un esfuerzo constante por mejorar el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de esta enfermedad. Recientemente, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta prometedora en la lucha contra el cáncer, ofreciendo nuevas perspectivas y enfoques en su tratamiento y comprensión.

En este contexto, nuestro proyecto se enfoca en la utilización de la IA para predecir la eficacia de los tratamientos contra el cáncer de mama, utilizando imágenes de resonancia magnética (RM) de pacientes en diferentes etapas del tratamiento. Este enfoque se basa en la integración de redes neuronales convolucionales (CNN) y redes neuronales recurrentes (RNN), buscando aprovechar la capacidad de las CNN para analizar imágenes y de las RNN para interpretar secuencias temporales.

Con anterioridad se ha estudiado profundamente la segmentación de tumores en imágenes de resonancias magnéticas haciendo uso de técnicas avanzadas de Deep Learning, normalmente apoyadas en redes neuronales convolucionales. El cáncer de mama, no se queda atrás, y debido a su mejor pronóstico en relación a cánceres más agresivos, ha permitido desarrollar soluciones concretas con muy buenos resultados.

Si intentamos analizar series temporales para poder predecir la progresión de un tumor, nos encontramos con la dificultad de la falta de datos, por lo que los estudios en este sentido se reducen significativamente. Sin embargo, el análisis temporal de un tratamiento puede ser altamente significativo en la toma ágil de decisiones médicas, y de ahí la relevancia de nuestro estudio.

Objetivo general

El objetivo, por tanto, es emplear la inteligencia artificial para predecir la eficacia de los tratamientos contra el cáncer de mama en pacientes individuales. Utilizando una base de datos compuesta por 242 muestras de imágenes de resonancia magnética (RM) tomadas en diferentes etapas del tratamiento (antes del tratamiento, en las primeras fases, en una fase intermedia y al final del tratamiento), tu estudio busca analizar estas imágenes en sus diversas modalidades (T1 y T2, DW, DCE) para identificar patrones que puedan predecir la respuesta al tratamiento. Este enfoque tiene el potencial de personalizar los tratamientos oncológicos, mejorando así los resultados y la calidad de vida de los pacientes, al tiempo que reduce los costos y efectos secundarios asociados con terapias ineficaces.

Metodología

La experimentación planteada constó de dos partes:

3. Modelado y entrenamiento de una red CNN que segmente tumores mamarios en diferentes fases de tratamiento.
4. Modelado y entrenamiento de una red RNN que ofrezca un indicador de la efectividad de un tratamiento a partir de los resultados de la fase anterior, así como la indicación de la fase del tratamiento en la que se encuentre.

Resultados

Los resultados obtenidos en la fase de modelado del cáncer están siendo altamente prometedores debido a la aparición de disyuntivas en la línea principal de investigación, cuya resolución está arrojando luz en varios aspectos clave.

Trabajos futuros

La investigación no ha terminado con este proyecto. Los resultados obtenidos son esperanzadores, pero se pueden seguir mejorando.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

En esta sección, recomendamos completar la siguiente tabla, añadiendo los apartados que se vean necesarios o quitando los que no se necesiten.

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Desarrollar un modelo de inteligencia artificial basado en redes neuronales convolucionales (CNN) y redes neuronales recurrentes (RNN) para analizar las imágenes de resonancias magnéticas (RM) en series temporales de pacientes con cáncer de mama		70%
Secundario/ Específico	Utilizar la base de datos del estudio ACRIN 6698, que consta de 242 pacientes con cáncer de mama, para entrenar y validar el modelo de IA. Esta base de datos incluye imágenes de RM tomadas en cuatro momentos diferentes del tratamiento: pre-tratamiento, primeras fases de tratamiento, fase intermedia del tratamiento, y post-tratamiento		100%
Secundario/ Específico	Explorar la posibilidad de utilización de técnicas de transfer learning en el modelo de CNN-RNN, utilizando puntos de semilla para la localización de tumores en las imágenes de RM		70%
Secundario/ Específico	Evaluar la capacidad predictiva del modelo de IA desarrollado en relación a los resultados clínicos relevantes para el cáncer de mama en diferentes fases del tratamiento		70%
Secundario/ Específico	Comparar y analizar el rendimiento del modelo de IA a medida que se incorporan las diferentes series temporales de las imágenes de RM. Esto permitirá determinar la importancia de la evolución temporal en la predicción de los resultados clínicos.		50%
Secundario/ Específico	Demostrar la viabilidad y utilidad de los biomarcadores radiómicos no invasivos basados en inteligencia artificial para mejorar las predicciones clínicas en el cáncer de mama. Esto se logrará al comparar los resultados del modelo de IA con las predicciones realizadas por médicos expertos y evaluar su capacidad para estratificar a los pacientes en grupos de riesgo de mortalidad.		80%
Secundario/ Específico	Los resultados obtenidos en cada una de las experimentaciones realizadas serán recogidos en distintas publicaciones científicas que serán sometidas a congresos y revistas científicas.		50%

Secundario/ Específico	En los casos en que sea posible se procederá a la protección de la propiedad intelectual generada de la forma más adecuada en cada caso (patentes, modelos de utilidad, registros de propiedad intelectual, etc). Para ello se contará con la ayuda y asesoramiento de la Oficina de Transferencia de los Resultados de la Investigación (OTRI) de la Universidad de Oviedo.		0%
Secundario/ Específico	Asentar una relación de colaboración entre la Universidad de Oviedo y la Universidad de Purdue (Indiana, USA).		100%

3. Tareas realizadas:

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Análisis de las técnicas empleadas en la actualidad para el modelado del cáncer de mama a partir de resonancias magnéticas.						
Tarea 1.1	Análisis de técnicas de pre-procesamiento de imágenes de resonancia magnética con el objetivo de filtrar y extraer las características relevantes a nuestra investigación						
Tarea 1.2	Análisis de técnicas que permitan la extracción de la región de interés 3D que modela el tumor a partir de un punto central determinado por un experto						
Fase 2	Análisis de viabilidad e implementación del modelado mediante redes neuronales						
Tarea 2.1	Viabilidad y modelado de red de análisis de información visual a partir de redes neuronales convolucionales						
Tarea 2.2	Viabilidad y modelado de red que modele las series temporales a partir de redes neuronales recurrentes						
Fase 3	Comparación con los métodos actualmente en uso						
Tarea 3.1	Desarrollo de las métricas necesarias para la comparación de la eficacia de los algoritmos desarrollados en comparación con las técnicas empleadas en la actualidad						
Fase 4	Desarrollo de publicaciones científicas						
Tarea 4.1	Publicación en revistas y congresos de los resultados obtenidos						
Tarea 5.1	Desarrollo de las métricas necesarias para la comparación de la eficacia de los algoritmos desarrollados en comparación con las técnicas empleadas en la actualidad						

Fase 6	Desarrollo de publicaciones científicas						
Tarea 6.1	Publicación en revistas y congresos de los resultados obtenidos						

Figure 3. Planificación del Proyecto

Metodología

La experimentación planteada constó de dos partes:

1. Modelado y Entrenamiento de una Red CNN para Segmentación de Tumores Mamarios

En la primera fase de nuestra investigación, nos enfocamos en el desarrollo y entrenamiento de una red neuronal convolucional (CNN) para la segmentación de tumores mamarios en imágenes de resonancia magnética (RM) obtenidas en diferentes fases del tratamiento. Inicialmente, comenzamos con el entrenamiento de una CNN clásica en 2D, utilizando las capas de la RM como un array de imágenes planas. Esta aproximación inicial nos permitió establecer una base sólida para comprender las características fundamentales de los tumores mamarios y su representación en las imágenes.

Sin embargo, a medida que avanzamos en la revisión de la literatura y en nuestros experimentos, identificamos la necesidad de capturar información más detallada y contextual de las imágenes. Por lo tanto, decidimos transitar hacia el desarrollo de una red CNN en 3D. Las redes 3D CNN utilizan filtros tridimensionales, lo que les permite recoger características y conexiones pertenecientes a diferentes planos de la resonancia magnética. Esto significa que pueden capturar información espacial y contextual más rica, crucial para una segmentación precisa de los tumores.

El proceso de transición a una 3D CNN implicó una dedicación significativa de tiempo y recursos, incluyendo la realización de numerosas pruebas y ajustes en la arquitectura de la red. Se experimentó con diferentes configuraciones de capas, funciones de activación y algoritmos de optimización para mejorar la precisión de la segmentación. Los resultados preliminares de esta fase han sido prometedores, mostrando una mejora notable en la capacidad de la red para segmentar tumores mamarios en comparación con el enfoque 2D inicial. Estos resultados formarán la base de una publicación que planeamos someter a una revista científica especializada.

2. Modelado y Entrenamiento de una Red RNN para la Evaluación de la Efectividad del Tratamiento

La segunda parte de nuestra metodología se centra en el desarrollo y entrenamiento de una red neuronal recurrente (RNN) para evaluar la efectividad del tratamiento del cáncer de mama. El objetivo de esta red es proporcionar un indicador de la eficacia del tratamiento basándose en los resultados obtenidos en la fase anterior del tratamiento y la fase actual en la que se encuentra el paciente.

Para lograr esto, la RNN se entrena con datos temporales que incluyen la evolución de las características del tumor a lo largo del tiempo, capturadas en las sucesivas imágenes de RM. Esta red es capaz de procesar secuencias de datos, lo que la hace ideal para entender y predecir patrones a lo largo del tiempo, un aspecto crucial en la evaluación del progreso del tratamiento.

La RNN utiliza los resultados de segmentación proporcionados por la CNN como entrada, lo que permite una integración efectiva de información espacial y temporal. Este enfoque combinado busca ofrecer una evaluación más precisa y detallada de la respuesta del tumor al tratamiento, lo cual es fundamental para la toma de decisiones clínicas y la personalización de los planes de tratamiento para los pacientes.

Tras una fase inicial de análisis del estado del arte, y toma de decisiones sobre los algoritmos a aplicar, se genera una arquitectura de red, y un primer prototipo. Este prototipo está en espera de que finalice la comparativa entre los dos tipos de CNN para obtener los primeros resultados.

4. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos en la segmentación 3D alcanzan un DICE de 0.82 y un recall de 0.84, si bien, estamos trabajando en una fase de post-procesamiento para intentar incrementarlos antes de continuar a la siguiente fase. En la red 2D estamos obteniendo un DICE de 0.72, aunque estamos descubriendo un amplio margen de mejora debido a que las técnicas de pos-procesamiento 2D son significativamente mejores. Cabe señalar que ambas métricas no son directamente comparables dado las diferentes naturalezas de ambas redes. Actualmente, también estamos trabajando en un marco de estandarización que nos permita comparar los resultados de ambas redes.

5. Trabajos o necesidades futuras

Debido a las complicaciones encontradas que nos lleva a hacer una comparativa entre diferentes CNNs, podemos afirmar que la investigación no ha terminado. Los próximos retos a afrontar son:

1. **Mejora y Optimización de Modelos 3D CNN:** Aunque se han logrado avances significativos con la implementación de 3D CNN para la segmentación de tumores mamarios, existe un potencial considerable para mejorar y optimizar estos modelos. Esto incluye ajustar la arquitectura de la red, experimentar con diferentes técnicas de regularización y aumentación de datos, y explorar nuevos métodos para manejar el desequilibrio de clases en los datos de entrenamiento.
2. **Integración y Sincronización de CNN y RNN:** Un área clave de desarrollo futuro es la integración más efectiva de las redes CNN y RNN para proporcionar una evaluación más precisa y detallada de la respuesta del tumor al tratamiento. Esto podría incluir la sincronización de la salida de la CNN con la entrada de la RNN para mejorar la precisión en la predicción de la efectividad del tratamiento en diferentes fases.

3. **Validación Clínica y Estudios Comparativos:** Es crucial realizar estudios clínicos para validar la eficacia y la precisión de los modelos desarrollados. Esto incluye comparar los resultados de la segmentación 3D con los de la segmentación 2D y evaluar cómo cada enfoque afecta la precisión en la predicción de la efectividad del tratamiento. La validación clínica ayudará a establecer la viabilidad y la aplicabilidad de estos modelos en entornos de atención médica reales.
4. **Exploración de Transfer Learning y Modelos Preentrenados:** Investigar el uso de técnicas de transfer learning y la aplicación de modelos preentrenados podría ser un paso significativo para mejorar la eficiencia del entrenamiento y la precisión de los modelos. Esto es particularmente relevante en el campo de la imagen médica, donde la disponibilidad de grandes conjuntos de datos anotados es a menudo limitada.

6. Divulgación de los resultados

La morfología del data set hizo que se tuviese que aplicar un preprocesado a los datos para hacer un cambio de dominio y una reducción de la dimensionalidad de los mismos no previstas inicialmente. Esto provocó que no se pudiese abordar la fase de divulgación de los resultados.

Se espera comenzar con la misma en breve. A continuación se muestran los congresos y revistas en los que se intentará publicar los resultados.

Entre los congresos en los que se planea publicar los resultados están los siguientes:

- SOCO 2024. 19th International Conference on Soft Computing Models in Industrial and Environmental Applications.
- HAIS 2024. 19th International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems.
- IEEE CBMS 2024. IEEE 37th International Symposium on Computer Based Medical Systems.
- CASEIB 2024. XLII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica.

Entre las revistas en las que se prevé publicar resultados de este proyecto están:

- Neurocomputing (Elsevier Science BV). Q2. Índice de impacto a 5 años en 2021 de 5,416.
- Expert Systems. (John Wiley & Sons Ltd.). Q2. Índice de impacto a 5 años en 2021 de 2,617.
- Logic Journal of the IGPL (Oxford University Press). Q2 Índice de impacto a 5 años en 2021 de 0,848.
- iScience. (Cell Pres). Q1 Índice de impacto a 5 años en 2021 de 6,233.

Memoria económica

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	12.000€
Fungibles	3.000€
Amortización	1.000€
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc.)	6.000€
TOTAL GASTOS	19.300€

2. Ingresos:

Añade los ingresos finales que has tenido a lo largo del proyecto. Indica las empresas y las referencias de los proyectos/contratos.

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.800€
Otras entidades / empresas financiadoras		0€
Financiación propia		15.500€
TOTAL INGRESOS		19.300€



Instituto Universitario de Tecnología
Industrial de Asturias



Universidad de Oviedo



Editado por:
Eduardo Cuesta González
Víctor Manuel Meana Díaz

ISBN: 978-84-09-62777-6
© Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias

Gijón | *impulsa*



Universidad de Oviedo



Ayuntamiento
de Gijón



Instituto Universitario de Tecnología
Industrial de Asturias



Universidad de Oviedo



Universidad de Oviedo



Instituto Universitario de Tecnología
Industrial de Asturias

Gijón | impulsa



Ayuntamiento
de Gijón