

MEMORIA ANUAL 2021

**CÁTEDRA
DE INDUSTRIA
CONECTADA**



ABB



endesa

Gestamp

IBM

indra



PROSEGUR



SaarGummi
Automotive





MEMORIA ANUAL 2021

CÁTEDRA
DE INDUSTRIA
CONECTADA





CARTA DE LOS DIRECTORES

Queridos amigos de la cátedra,

La Cátedra de Industria Conectada, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) ha cumplido su quinto año, en un ejercicio que como en 2020 ha estado marcado por las consecuencias de la pandemia. Fieles a nuestra misión de ayudar a la industria española aprovechar las oportunidades de la cuarta revolución industrial hemos seguido impulsando programas pioneros en la formación del talento joven, así como organizando jornadas, desayunos con CEO, hackathones y reuniones de trabajo con profesionales de las empresas patrono.

Entre las acciones del año 2021 queremos destacar el diseño del *Máster en Transformación Digital en la Industria* (MTDi), dirigido a profesionales con el objetivo principal de dotarlos de los conocimientos y habilidades necesarios para liderar esta nueva revolución industrial. Este máster tiene un formato semipresencial y un método de aprendizaje innovador y flexible. Este programa se suma al *Máster en Industria Conectada*, dirigido a ingenieros recién graduados, y al *Programa Avanzado en Industria Conectada: Liderazgo y Transformación Digital*, con formato ejecutivo y dirigido a profesionales con varios años de experiencia.

El CIC LAB, nuestro laboratorio de investigación e innovación, ha contado con la participación de las empresas patrono que han propuesto retos reales a nuestros alumnos. Además, uno de ellos es fruto de la solución ganadora del hackathon del año pasado, lo que es signo de la capacidad de ofrecer soluciones cuando se unen talento joven y retos industriales reales. Álvaro López López, coordinador de la cátedra, ha obtenido una mención de honor en el “VI Premio Impulso de Industria Conectada”, convocado por el Observatorio Industria 4.0, en reconocimiento de su liderazgo en el CIC LAB.

La pandemia y sus consecuencias nos han enseñado que no podemos seguir tratando de resolver los problemas pensando de la misma forma que cuando se crearon. Un punto de encuentro de debate y aprendizaje, como trata de ser la Cátedra de Industria Conectada, busca compartir nuevas soluciones y formas de trabajo que faciliten el aprovechamiento de las oportunidades que ofrece este tiempo de cambios acelerados. Con este propósito seguiremos trabajando.

Mariano Ventosa

Vicerrector de Investigación y Profesorado, Codirector de la Cátedra

Bernardo Villazán

Miembro de Honor del Observatorio de la Industria 4.0, Codirector de la Cátedra



TABLA DE CONTENIDO

▶ Carta de los Directores	5
▶ Tabla de Contenido	7
▶ Eventos Públicos	9
1. EMPRENDIMIENTO EN LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL – 4 de marzo	10
2. FONDOS NEXTGEN – 27 de mayo	13
3. CELEBRACIÓN DEL CENTENARIO DE LA ASOCIACIÓN ICAI – 18, 19 y 20 de noviembre	16
▶ V Hackathon for Smart Industry	19
▶ Desayunos con CEO	23
1. ENCUESTO CON PATRONOS – Emprendimiento e Intraemprendimiento – 18 de marzo	24
2. RAMÓN GÓMEZ DE OLEA, CEO de Russell Reynolds – 22 de abril	25
3. MANUEL DE LA ROCHA, Club Empresarial ICADE – 25 de mayo	27
4. MANUEL MUÑIZ, Secretario de España Global – 5 de julio	28
5. LUIS DE GUINDOS, Vicepresidente del Banco Central Europeo (BCE) – 4 de octubre	30
6. FUENCISLA CLEMARES, Directora de Google para España y Portugal – 19 de octubre	32
▶ Investigación (CIC LAB)	35
1. La edición del CIC LAB de 2021	36
• IBM	38
• PLADUR	45
• ENDESA – OCR	51
• PROSEGUR CASH	69
• PROSEGUR IoT Energy Harvesting	79
• GRUPO ANTOLIN - Destreza Robótica	111
• ENDESA – e-Distribución	139
• ENDESA – Herramienta de Visualización OCR	153
• SAARGUMMI – Herramienta de Visualización	165
• POLÍTICA INDUSTRIAL	177
• SAARGUMMI – Análisis de línea extrusora	202
2. Estado actual de las líneas de investigación	218
3. Divulgación - La noche europea de los investigadores	219
▶ Formación	223
1. Doble Máster Universitario en Ingeniería Industrial e Industria Conectada (MII-MIC)	224
2. Programa Avanzado en Industria Conectada. Liderazgo y Transformación Digital	228
3. Máster en Transformación Digital en la Industria (MTDi)	236

EVENTOS PÚBLICOS



Uno de los objetivos principales de la Cátedra es contribuir a que la industria española aproveche las oportunidades generadas por la cuarta revolución industrial. Consciente de ello, la Cátedra ha continuado organizando sus ya tradicionales jornadas abiertas al público con la finalidad de generar un espacio de reflexión y debate para analizar cuestiones clave para la Industria 4.0.

Las temáticas de este año han estado centradas en **la capacidad de desarrollo de la industria española**, ya que la coyuntura actual, marcada por la COVID-19 y el despliegue de los fondos europeos de recuperación, supone una oportunidad que podría generar un punto de inflexión para nuestro país.

Hemos podido escuchar por parte de líderes de empresas españolas **grandes ejemplos de iniciativas y toma de decisiones que se están produciendo actualmente en nuestro mercado**. Se ha reflexionado sobre la importancia de invertir conjuntamente con el resto de agentes del ecosistema, una apuesta cada vez más frecuente. El conocido “baile entre elefantes y gacelas”, haciendo referencia a las grandes corporaciones y nuevos entrantes en el mercado, es ya una realidad desde la última década en España. Antiguos modelos de negocio están perdiendo el recelo a invitar a nuevas parejas de baile, incluso aunque sean antiguos rivales puesto que la sostenibilidad de las empresas hoy más que nunca no se trata de algo individual, sino de una continua adaptación y transformación en el que a veces las soluciones son sectoriales o globales, no aplicables a una única empresa.

1. EMPRENDIMIENTO EN LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL



4 DE MARZO 2021

FORMATO
ONLINE



Con la premisa de que el “emprendimiento es una palanca de cambio mucho más poderosa que cualquier tecnología”, la Cátedra de Industria Conectada organizó su primer evento público del 2021, titulado “Emprendimiento en la Cuarta Revolución Industrial”, con el objetivo de comprender cuáles son las verdaderas fuerzas que impulsan el emprendimiento.

En el evento se abordó el emprendimiento desde tres puntos de vista diferentes: el modelo israelí de emprendimiento e innovación, la visión de Endeavor y la experiencia de Enagás en el emprendimiento corporativo.



La mesa redonda de debate estuvo integrada por: Gil Gidron, Presidente de Cardumen Capital y de la Cámara de Comercio España-Israel; Antonio Iglesias, Director General de Endeavor España y Fernando Impuesto, Director General de Enagás Emprende. Mariano Ventosa, Vicerrector de Investigación e Internacionalización y Codirector de la cátedra, moderó la sesión.

El milagro del modelo israelí no es un milagro, sino que se ha planificado, lo cual se explica en parte gracias a su pequeño pero muy bien organizado sistema de universidades, lo que se ha traducido en más ciencia, más innovación y más tecnología gracias a

que Israel es el país con más técnicos y científicos por habitante, casi el doble que EEUU o Japón y 6 veces el de España. Esta ventaja competitiva es fruto de un nivel de gasto en I+D del 5% del PIB, un 50% superior al de EEUU y 4 veces el español. Es lo que ha permitido a Israel ser el país con más empresas que cotizan en NASDAQ, después de EEUU y China y con más Premios Nobel por millón de habitantes.

Israel posee un entorno muy colaborativo y capital humano altamente cualificado, fundamental para la innovación. Para entender el modelo económico de Israel es significativo comparar la inversión que el país realiza en *Venture Capital*: casi 1.000 dólares por habitante, 40 veces más que España.

Cualquier país puede empezar a crear un ecosistema emprendedor incluso cuando no están todas las piezas. Cuando los emprendedores pequeños crecen, tienen éxito y están comprometidos con el ecosistema emprendedor, reinvierten en la siguiente generación de emprendedores y empieza a generarse un círculo virtuoso de emprendimiento. La coordinación de los múltiples agentes que actúan en el mercado es lo que permite la creación de una nación emprendedora, pero puede ser un pequeño agente disruptor el que forje el cambio, genere un efecto dominó y consiga la aceleración necesaria que necesita el sistema conjunto. Ambición, crecimiento, compromiso y reinversión fue lo que hizo a Silicon Valley pasar de ser un valle agricultor al epicentro tecnológico mundial.

La innovación 4.0 es exponencial, la velocidad de invención se ha acelerado. Esta aceleración supone un reto constante a todos los negocios tradicionales ya que en cualquier momento pueden ser “disruptidos”. El reto real es saber gestionar el balance entre la gestión presente de tu negocio y la explotación del futuro, para seguir siendo relevante para la sociedad, los clientes y los accionistas. Hay que experimentar con un riesgo controlado, tratando de fomentar el intraemprendimiento para aprovechar el talento interno.

“En esta cuarta revolución industrial la velocidad de cambio y de innovación es mucho mayor, ese es el gran reto al que nos enfrentamos en la actualidad”



Gil Gidron, Presidente de Cardumen Capital (fondo español de *Venture Capital* que invierte en Israel), fundador y presidente de la Cámara de Comercio e Industria España-Israel, nos trasladó en remoto los factores clave del milagro israelí.



Antonio Iglesias, Director General de Endeavor España, describió en su exposición el funcionamiento del modelo de emprendimiento de Endeavor, formulando la pregunta: ¿Cómo crear el siguiente Silicon Valley?



Fernando Impuesto, Director General de Enagás Emprende, se centró en el emprendimiento corporativo y presentó el caso de Enagás, empresa patrono de la cátedra.

Se concluyó que la *Innovación Abierta* será un mecanismo que permitirá invertir en nuevos mercados, compartiendo riesgos y beneficios, lo que implicará una inversión más eficiente de la Industria y la Administración Pública. El fomento de la inversión conjunta público-privada, mediante el desarrollo e implementación de un área específica o ente de coordinación a nivel nacional que genere un sistema de apoyo a la innovación y al emprendimiento es otro de los factores clave en los que se debe trabajar, ya que a día de hoy sigue siendo una asignatura pendiente.

Si lo prefieres puedes ver el contenido completo en este enlace:



SCAN ME

2. FONDOS NEXTGEN



27 DE MAYO 2021

FORMATO
ONLINE



Fondos NextGen: El papel clave de la Industria

Encuentro digital cuyo objetivo es profundizar en el papel clave de la Industria en la recuperación económica post COVID19, y cómo estos Fondos europeos NextGen pueden suponer un factor de apoyo en las estrategias de las empresas españolas. Seis empresas industriales españolas han compartido la relevancia que tiene realizar un buen uso de estos fondos, puesto que podrían suponer un recurso económico que tenga un efecto multiplicador en la recuperación económica de nuestro país, si estos se utilizan para que toda la cadena de valor de los diferentes sectores industriales contribuya en la mejora de la competitividad española.



Galo Gutiérrez Monzonís
Director general de industria y PYME
Ministerio de Industria, Comercio y Turismo



Alfredo Martínez Menéndez
Responsable de Financiación Pública y Soporte de Negocio
Dirección de Relaciones Institucionales
AIRBUS en España



Javier Villacampa

Innovation Corporate Director
Grupo Antolin



Macame Dopazo

Directora de Sistemas de Información
Hijos de Rivera (Estrella Galicia)



Antonio Cases Gámez

Head of Public Affairs - Spain
Dirección de Asuntos Públicos y Relaciones
Institucionales
CEMEX



Iñigo Guinea

CEO
GHI Hornos Industriales



Joan Carles Casas

Gerente de Sostenibilidad en Producción y
Logística
SEAT

“NextGeneration UE” es el nombre del Plan de Recuperación europeo, aprobado por el Consejo Europeo el 21 de julio, que contribuirá a reparar los daños económicos y sociales causados por la pandemia. Este Plan de Recuperación se materializa en unos fondos que ascienden a 750.000 millones de €, y pretende facilitar a los países de la Unión Europea el camino hacia la salida de la crisis, así como sentar las bases para una Europa moderna y más sostenible. El periodo de validez será del 2021-23. La mitad de los fondos serán transferencias y la otra mitad préstamos. España recibirá 140.000 millones de €.

Los fondos “NextGeneration EU” tienen 2 componentes diferenciados. “React you”, dirigidos a las CCAA, a los que a España le corresponden unos 12 mil millones de €. Y el “Mecanismo de Recuperación y Resiliencia”, de 70 mil millones de €. Es importante destacar que a España le corresponden cifras más altas que otros países potentes en la UE como Alemania y Francia, por lo que debemos darles la importancia que merecen.

El Plan de Recuperación está formado por 4 vectores:

1. Transición ecológica
2. Transformación digital
3. Cohesión social y territorial
4. Avanzar en la igualdad de género

Por lo tanto, **estos fondos NextGen supondrán una oportunidad para impulsar estas estrategias y son las agrupaciones de empresas las que deben participar para llevar a cabo estos proyectos.**

Desde hace muchos años se lleva demandando una “Secretaría de Estado de Industria” puesto que en España todavía no existe. Es la Industria la que puede ofrecer a la economía de un país un empleo de calidad, producir desarrollo tecnológico y sostenibilidad financiera. La Industria es la que está impulsando la digitalización y por ese motivo se tiene que exigir a las Administraciones Europeas que se valore el papel de la Industria en las políticas actuales para la mejora de la competitividad.

La digitalización y la descarbonización, o economía circular, gracias al uso centrado de estos fondos puede hacer que cualquier PYME, por pequeña que sea, consiga ser referente mundial en su nicho de mercado, apoyándose en las nuevas tecnologías. ¡Tenemos que quitarnos el miedo a la digitalización!

La digitalización y la innovación es el ser o no ser. Lo que es realmente importante es no repetir los errores del pasado, en los que ha habido una ayuda directa, se gasta el dinero y desaparece. Hay que aplicar los fondos a proyectos que consigan con un efecto multiplicador en la economía a través de la innovación. Hay que evitar que esos fondos se apliquen en sectores que no mejoran la competitividad, puesto que vivimos en un mercado global. La innovación es la llave para la mejora de la competitividad mundial, y es donde hay que invertir los recursos para ganar en empleo y riqueza.

No podemos ir solos, es necesaria una transformación de toda la cadena de valor. Además, debería existir un marco regulado y ordenado que fomente los cambios que necesita la sociedad.

Es preocupante el peso que ha ido perdiendo la Industria en el PIB nacional. Desde el año 2000 ha perdido un 5%, pasando del 19% al 14%, muy por debajo de los niveles de la media europea, que se encuentran en el 20% PIB. Para tener una economía sana y robusta se debe trabajar en el incremento del peso de la Industria. Para ello es clave la inversión en infraestructuras, sector energético, TIC, y en la producción y desarrollo de tecnología.

La reindustrialización debe ser el pilar de la reconstrucción económica, creando empleos de calidad, desarrollo tecnológico y sostenibilidad financiera

Si te perdiste el evento puedes acceder al contenido completo en este enlace:



SCAN ME

3. CELEBRACIÓN DEL CENTENERIO DE LA ASOCIACIÓN ICAI



18, 19 Y 20 DE NOVIEMBRE 2021

FORMATO
PRESENCIAL



Un congreso histórico en los 100 años de ICAI

El Aula Magna de la Universidad Pontificia Comillas se vistió de gala para celebrar el **VII Congreso de Ingenieros de ICAI**, en el que se conmemoraron por todo lo alto los 100 años de historia de la Asociación Nacional de Ingenieros de ICAI. Fueron tres emotivas jornadas en las que se habló de historia pero, sobre todo, de futuro, con la vista puesta en los retos de la digitalización y la capacidad de los futuros profesionales de la ingeniería formados en las aulas de ICAI.

El Rector de Comillas destacó el afecto, la ayuda y la ingente colaboración entre Comillas y la Asociación y Colegio del ICAI

Al evento asistieron ingenieros de reconocido prestigio que se licenciaron en las aulas de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Comillas ICAI) como José Bogas, presidente de Endesa; Ángeles Santamaría, consejera delegada de Iberdrola, que habló de **transición energética**, o Jaime de Rábago, presidente de la Asociación Nacional de Ingenieros de ICAI. Él fue el encargado de repasar los 100 años del trabajo de la Asociación "constante y resiliente", como lo definió, "100 años de talento puesto desde el compromiso, trabajando sin descanso, siendo **reconocidos por la sociedad y la empresa**".

Por su parte, Enrique Sanz Giménez-Rico, SJ, Rector de Comillas, rememoró, acompañado por Antonio España, SJ, vice gran canciller de la universidad, los lazos de unión establecidos durante años entre Comillas y la Asociación. Agradeció "todo lo que recibimos de vosotros", y destacó "el afecto, la ayuda y la **ingente colaboración** que la Asociación Nacional de Ingenieros de ICAI y su Colegio Nacional prestan a diario a nuestra universidad". El Rector añadió que "la celebración de vuestro, de nuestro, centenario, nos permite mirar al pasado con alegría y sin nostalgia". Y continuó: "Las formulaciones de nuestros predecesores son hoy distintas; conservan, sin embargo, toda su esencia: **innovación**,

posgrado y formación para toda la vida, impacto social de nuestra actividad, **desarrollo profesional** de nuestros alumnos, nuestro PDI y nuestro PAS”.

Por su parte, Antonio España aseguró que “la huella de esta institución universitaria es profunda y nos anima a dar gracias por las personas que tuvieron la iniciativa. Nos reunimos en este congreso para continuar una labor gestada hace más de 100 años, con la conciencia de ser enviados a una misión de **avanzar juntos** en una empresa común que nos ha sido entregada y que bien vale la pena”.

También Antonio Muñoz, director de Comillas ICAI, hizo un llamamiento a que “mantengamos viva esta llama que lleva más de 100 años luciendo”. Y concluyó: “desde la universidad, y desde luego desde la Escuela, queremos ofrecer todo nuestro apoyo a la Asociación, como hermanos que somos; juntos podemos hacer grandes cosas”.

Grandes cosas como las que han hecho quienes participaron en las jornadas. Uno de ellos, Enrique Ramírez, director general de Pladur, destacó que “tenemos un **motor potente de transformación digital**” porque “el 63% de la industria española va a invertir de uno a tres años en este campo”. También Carmen Muñoz, de Repsol, que señaló los cuatro ámbitos competenciales que buscan las empresas en sus empleados: “solucionar problemas; autogestión; interacción personal, y **capacidad de desarrollar e interpretar la tecnología**”.

Todos los ponentes, entre los que se encontraban numerosos profesores e investigadores de Comillas, subrayaron el lado humano de la tecnología. “La tecnología es muy importante, pero más importante son los **valores éticos a la hora de desarrollar esa tecnología**”, coincidieron todos los participantes, que destacaron que quedan varios retos que cumplir a nivel de la industria, todos ellos enmarcados en el campo de la digitalización y la sostenibilidad.



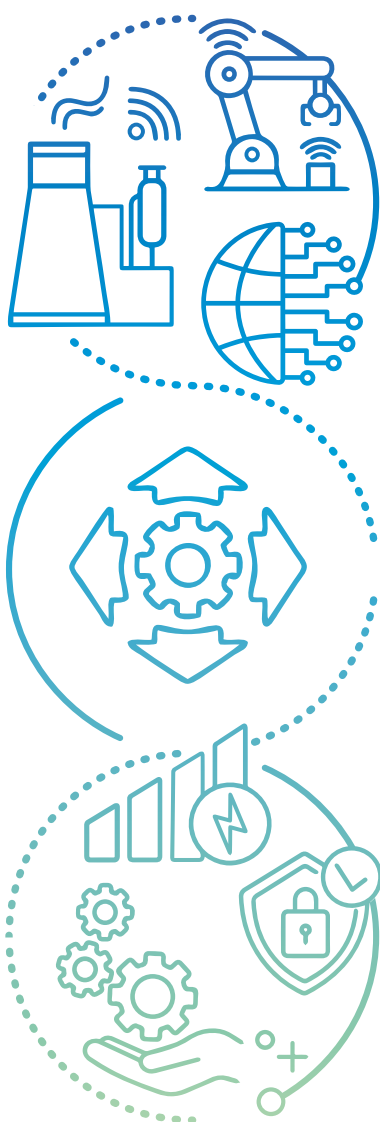
El encuentro continuó con la entrega de los Premios ICAI Asociación 2021, en un acto en el que se entregó el XXVII Premio Javier Benjumea, y en el que también se homenajeó a las promociones que celebraban sus bodas de plata y de oro.

En este enlace puedes ver los videos de las mesas celebradas en el Congreso:



SCAN ME

V HACKATHON FOR SMART INDUSTRY



A través de la organización de su tradicional **Hackathon**, la Cátedra promueve un **espacio de colaboración entre alumnos y empresa** en el que los alumnos aplican los conocimientos adquiridos en el aula para solucionar un caso real y la empresa obtiene una visión innovadora que resuelve el reto que plantea.

El formato refleja la apuesta de la Cátedra de Industria Conectada por las iniciativas docentes innovadoras, así como su vocación de acercar universidad y empresa, en este caso con un evento que puede englobarse dentro de la innovación abierta.

RETO GESTAMP



5 y 6 de NOVIEMBRE

FORMATO
PRESENCIAL



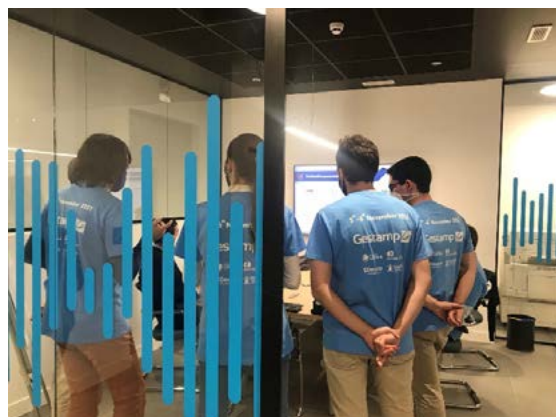
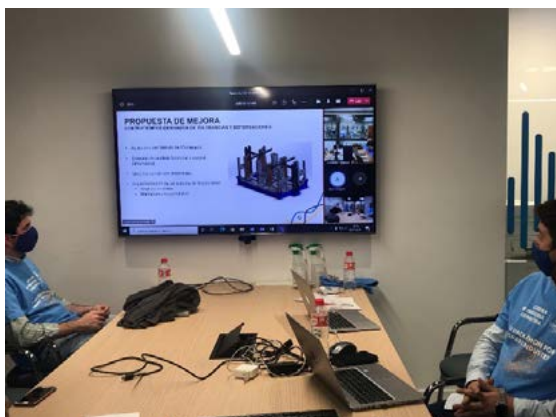
Diez equipos ofrecieron respuestas al reto propuesto por la Cátedra de Industria Conectada y Gestamp.

Esta quinta edición del *Hackathon for Smart Industry* se celebró los días 5 y 6 de noviembre. Este año, además, se abrió la convocatoria a otras universidades, por lo que por primera vez hubo equipos de alumnos de otras instituciones. Finalmente, se crearon 10 equipos formados por alumnos de las universidades Loyola, IQS School of Engineering y Universidad Pontificia Comillas, que resolvieron un reto real planteado por Gestamp, empresa patrono de la cátedra, en poco más de 48 horas.

Esta iniciativa albergó a más de 50 participantes de Grado y Máster, que propusieron diversas soluciones ante el reto planteado. Durante la celebración del hackathon, diferentes profesionales de Gestamp les acompañaron para resolver todas sus dudas.



Finalizado el tiempo establecido de trabajo, expusieron sus soluciones ante el jurado, que evaluó todas las propuestas seleccionando las mejores.



El jurado estuvo formado por formado por Mikel Fernández, Diego Mallada, Isabel Caviedes, Bruno Lameiro, Gonzalo Civeira, expertos de Gestamp, junto a Carlos Nieva y Eduardo Rodríguez, miembros de la junta directiva del Observatorio Industria 4.0. y profesores colaboradores de varios programas de formación en ICAI.

Tras un largo debate, al finalizar la jornada del segundo día, se dio a conocer quiénes eran los equipos ganadores:



Primer puesto para el equipo de 5 alumnos de la de la Universidad IQS, formado por: Marta Martínez, Albert Forés, Josep Font, Ricard Lado y Alexandre Martinel.lo.



Segundo puesto para el equipo de 5 alumnos de la Universidad Pontificia Comillas, compuesto por: Lucía Gómez, José Gil, Marina Beatriz Lettieri, Lionel Güitta y Daniel Ortega.



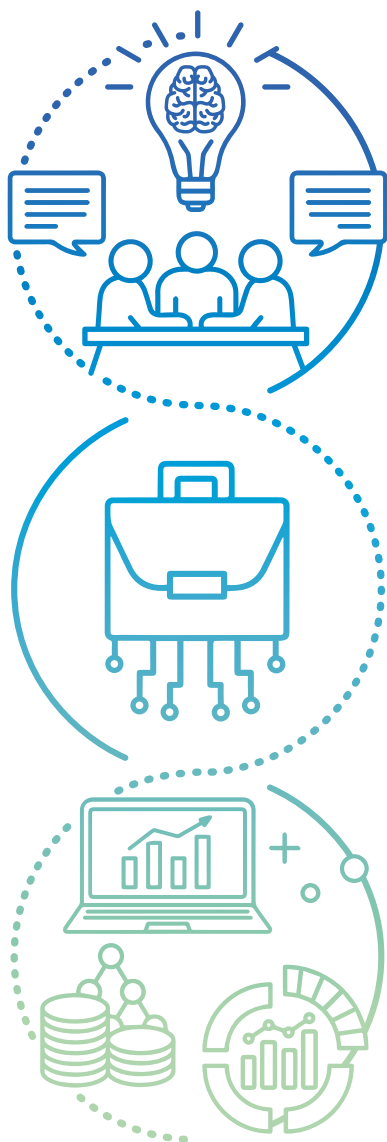
Tercer puesto para el equipo 4 alumnos de la Universidad Loyola, formado por: Cristina de Lemos, Francisco Flores, Juan José Soler y Jesús Gómez.

Puedes ver aquí un vídeo resumen del V Hackathon for Smart Industry:



SCAN ME

DESAYUNOS CON CEO



Como ya es tradicional en la cátedra, se organiza un ciclo de desayunos con CEO, con el objetivo de servir de foro de reflexión, debate y puesta en común de buenas prácticas, casos de éxito, así como para analizar las tendencias de un sector. En ellos, el Presidente/CEO de una empresa expone, ante destacados representantes de empresas industriales y otros directivos relevantes de las empresas patrono, la situación de su sector, las tendencias actuales, así como el peso de la tecnología en el proceso de digitalización de sus compañías.

Este año se han organizado cinco **Desayunos con CEO** y los protagonistas invitados han sido, categorizados por orden cronológico: **Ramón Gómez de Olea**, CEO de Russell Reynolds; **Manuel de la Rocha**, Secretario General de Asuntos Económicos y G20 de la Presidencia del Gobierno; **Manuel Muñiz**, Secretario de España Global; **Luis de Guindos**, Vicepresidente del Banco Central Europeo (BCE); y **Fuencisla Clemares**, Directora de Google para España y Portugal.

Este año ha seguido marcado por los protocolos de la pandemia, lo que ha requerido que el aforo presencial fuese muy limitado, aunque han tenido una gran acogida en el formato virtual. Se ha tratado de fomentar la interacción entre los asistentes y los ponentes a través del chat disponible en cada sesión.

Visita el canal de Youtube de la Cátedra de Industria Conectada:



SCAN ME

1. ENCUENTRO CON PATRONOS - Emprendimiento e Intraemprendimiento



18 DE MARZO 2021

FORMATO
ONLINE



ABB



endesa

Gestamp

IBM

indra



PROSEGUR



La jornada virtual, en la que participaron responsables de todas las **empresas patrono de la Cátedra de Industria Conectada**, tuvo como objetivo reflexionar sobre las prácticas que cada una de las empresas está actualmente implementando para mejorar las oportunidades del emprendimiento y la innovación. Este foro se diseñó como una sesión de trabajo en la que todos los participantes pudieran aportar distintos puntos de vista del estado de maduración y desarrollo de los proyectos de intraemprendimiento. También sirvió para poner en común las mayores preocupaciones y los retos de emprendimiento que cada uno tiene en sus organizaciones, así como conocer diversos ejemplos que cada profesional expuso en la sesión.

Las áreas que más se trataron en la reunión fueron: economía circular, procesos industriales transformadores en la búsqueda de reducción de emisiones de carbono, movilidad sostenible, nuevas tecnologías digitales orientadas a la optimización de los activos empresariales y la búsqueda del valor añadido en los negocios de las nuevas tecnologías disruptivas.

Se reflexionó mucho sobre la inversión en *startups*, la participación en proyectos sectoriales incluso los que cuentan con la colaboración de empresas de la competencia para desarrollar pruebas de concepto, aunar esfuerzos en el desarrollo de tecnologías o intangibles necesarios para la transformación de los negocios, etc.

Finalmente, se debatió sobre los métodos de búsqueda de financiación, sobre la forma de crear ecosistemas de innovación y transferir los aprendizajes y resultados a los modelos de negocio actuales.

2. RAMÓN GÓMEZ DE OLEA, CEO de Russell Reynolds



22 DE ABRIL 2021

FORMATO
ONLINE

El primer desayuno virtual se realizó con Ramón Gómez de Olea, Director General de Russell Reynolds en España, con el objetivo de abordar el impacto de la transformación digital en el talento ejecutivo de las empresas industriales.

La introducción fue realizada por el Rector Don Julio L. Martínez Martínez, S. J., que presentó al invitado e hizo referencia a la importancia de juntar fuerzas entre los diferentes actores del mercado y de que no perdamos el sentido real, que es el de aportación a la sociedad, abriendo brechas de servicio y empleo, construyendo prosperidad sostenible e inclusiva.

Las ideas fundamentales sobre el talento y la transformación digital se podrían resumir en 2 temas centrales: El primero es cómo se gobierna la transformación digital y quién la ejecuta, y el segundo, cuáles son los perfiles y cuáles deberían ser.

Ya hay evidencia de que la presencia de perfiles con conocimiento tecnológico y del mundo digital en los Consejos de Administración, especialmente la figura del consejero delegado del primer ejecutivo. Es imprescindible que se genere impacto en la organización y en la cultura que permitan acelerar la digitalización. **Se hizo énfasis en la importancia de que las organizaciones se hagan la pregunta de si la composición de su Consejo de Administración está mirando al pasado o al futuro. Es decir, si está representando lo que la compañía ha sabido hacer hasta ahora, o si está representando lo que debería saber hacer en el medio y largo plazo.** También si tienen la diversidad suficiente desde el punto de vista de la experiencia, para abordar los retos estratégicos.

Todo tiene que empezar en la centralidad en el cliente, puesto que es vital que todo lo que se haga se realice pensando en quién es el objetivo de la transformación del modelo de negocio. Esto pasa por un buen control del dato, previo a la toma de decisiones.

Los perfiles digitales son una mezcla de las dos características siguientes:

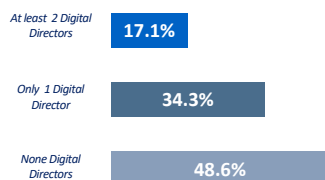
- La experiencia y conocimientos tecnológicos, modelos ágiles de gestión y utilización de los nuevos canales de comunicación, que se van desarrollando. No se nace con ellas.
- Las competencias analíticas y las transformacionales, que sí se nace con ellas.

Un perfil digital tiene que ser digital, analítico y transformador. El perfil de transformación es uno mucho más tradicional, que es un perfil de competencias relacionadas con entender la estrategia, saber ejecutar la transformación, accionar el cambio y liderar los equipos de una manera que incluya a todos los miembros de la organización y que sepa relacionarse.

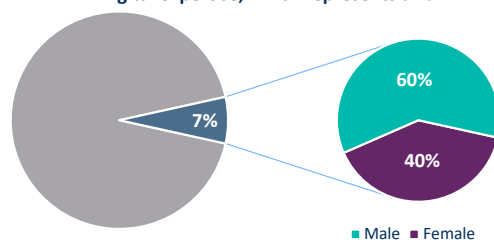
Spain

Digital expertise in IBEX 35 Boards

% of IBEX 35 Boards that have Digital Directors



Out of 456 Directors, there're 30 that have Digital expertise, which represents a 7%



A recent MIT study surveying 40,000 board directors in the US found a material correlation of digital board savviness to financial performance of their organizations: with boards with at least 3 directors with digital backgrounds there was a 17% higher profit margin than those with two or fewer, 38% higher revenue growth, 34% higher return on assets, and 34% higher market cap growth.⁽¹⁾

3. MANUEL DE LA ROCHA, Club Empresarial ICADE



25 DE MAYO 2021

FORMATO
ONLINE

El Secretario General de Asuntos Económicos y G20 de la Presidencia del Gobierno, Manuel de la Rocha, con la gran autoridad que le da su competencia directa sobre el tema, describió los dos instrumentos financieros creados para la gestión de los fondos, profundizando en el análisis del Mecanismo Europeo de Recuperación y Resiliencia (MRR) y de los 4 ejes que definen su propósito: la transición ecológica, la transición digital, la cohesión social y territorial y la igualdad de género. Puso de relieve el altísimo nivel de rigor y exigencia que la UE está poniendo tanto en la negociación su destino como en el control de su aplicación efectiva.

El plan presentado por España contiene 10 políticas públicas y 30 grandes líneas de acción. Es un plan coherente que entronca con las prioridades del Gobierno, completo y ambicioso en su extensión, cubriendo diversos sectores. Mantiene un equilibrio entre realización de reformas (112) y líneas de inversión (110). Se apoya en su desarrollo en la colaboración público-privada y prevé un impacto de un crecimiento adicional en el PIB a medio y largo plazo del 2% y la creación adicional de unos 800.000 puestos de trabajo.

El gran desafío es su ejecución. El Reglamento Europeo impone un nivel de control y auditoría brutal, llegando a retener la entrega de fondos de un semestre si no se han cumplido los objetivos del anterior.

Los fondos se van a ir adjudicando mediante convocatorias puntuales y en su gestión participarán tanto las comunidades autónomas como las entidades locales.

Las preguntas del coloquio versaron sobre: "Aprovechamiento de los fondos para la mejora de la formación de los trabajadores", "Impacto en las pensiones y en lo laboral" y "Valor efectivo de las manifestaciones de interés en las adjudicaciones".

4. MANUEL MUÑIZ, Secretario de España Global



5 DE JULIO 2021

FORMATO
HÍBRIDO



Manuel Muñiz nos trasladó que actualmente travesamos un momento muy particular en las relaciones internacionales y antes de la pandemia ya estaba cambiando el orden internacional por el ascenso de nuevos poderes desde la Guerra Fría.

Se acaba de aprobar la Estrategia de Acción Exterior española, 2021-24 elaborado por el Ministerio de Asuntos Exteriores, aunque es el consenso de todos los Ministerios de España.

El hecho más importante de los últimos 20-30 años en las relaciones internacionales es la erosión y debilitamiento del orden político.

Las 2 grandes fuerzas de este proceso serían las siguientes:

1. **Exógena:** El ascenso de países antiliberales, o antidemocráticas, como China (y alguno más) que se limitan múltiples derechos por el modelo político; procesos de democratización de las primaveras árabes; Rusia y su política exterior, contra la democracia y libertad. Todo esto supone un cambio al avance internacional de la libertad.
2. **Endógena:** Pérdida de fortaleza y apoyo a valores, principios e instituciones de naturaleza liberal y demócrata. Se ha producido un ascenso del populismo y del nacional-populismo, una pérdida de valores y de legitimidad institucional, especialmente por la parte más joven de la población, que ha perdido su credibilidad.

¿Por qué se produce esta implosión?:

- Naturaleza económica: Precarización de las clases medias en la mayor parte de las economías avanzadas. **El vaciado del centro de nuestra distribución de rentas, produce el vaciado del centro de nuestro espectro político.**
- **Falta de vertebración del debate público:** Por un lado, está el auge de las redes sociales, puesto que los actores no son responsables de los contenidos que se publican. Además, se suma un segundo factor, que es que el modo de financiarse es el mismo que el de los medios de comunicación tradicionales, que los va debilitando puesto que no se mantiene la misma calidad en la producción editorial.

Sin embargo, hay 4 aspectos positivos de la pandemia:

- **La respuesta sanitaria y el despliegue de las vacunas.** El tiempo medio de desarrollo de las vacunas era de 10 años. El proceso de compras conjuntas ha sido un éxito ya que en menos de 1 año se está inmunizando a gran parte de la población. La gestión sanitaria tenía desde el inicio el principio de equidad.
- **La respuesta de Política Económica europea ha sido muy buena.** Se ha aprobado un marco financiero plurianual expansivo; se han generado unos fondos específicos para fomentar la recuperación económica, y lo más importante es su escala. Los fondos next gen suponen más del doble del presupuesto plurianual. **Es por lo tanto un acuerdo histórico, porque no hay precedentes a la inyección de fondos comunitarios que va a haber durante estos años. Se ha ampliado la Política Monetaria del Banco Central Europeo (BCE), que ha permitido a todos los países europeos implementar paquetes fiscales beneficiosos para la sociedad.**
- **La negociación del BREXIT,** puesto que había que evitar a toda costa un cierre duro, ya que España tiene mucha exposición económica con Reino Unido.
- **Cambio de administración de EEUU.** La llegada de la Administración de Biden

Como conclusión veníamos de una fractura internacional – COVID como acelerador – en el que se estaba produciendo un desplazamiento hacia un mundo donde nuestros intereses estaban peor protegidos. Sin embargo, la gestión realizada está resolviendo problemas coyunturales que parece que podrán resolver algunos de los principales problemas estructurales.

5. LUIS DE GUINDOS, Vicepresidente del Banco Central Europeo (BCE)



4 DE OCTUBRE 2021

FORMATO
ONLINE



Realizado conjuntamente con el Club Empresarial ICADE, se organizó un encuentro con Luis de Guindos, actual vicepresidente del Banco Central Europeo (BCE), en los que se contó con la asistencia del Magnífico Rector, Enrique Sanz, SJ., Jaime Pérez Renovaes, presidente del Club Empresarial ICADE, Miguel Temboury, vocal en el Comité Ejecutivo del Club Empresarial ICADE.

Los puntos centrales sobre los que ha versado la conferencia han sido la evolución económica, la inflación y la situación del sistema financiero en Europa. De Guindos ha trasladado a la audiencia que su intención era dar claves que puedan ser diferentes desde el punto de vista de lo que es la interpretación tradicional de lo que hace el BCE, y de la situación económica actual.

De Guindos comentó que el crecimiento del segundo trimestre de 2021 ha sido fuerte y las previsiones son que el tercero será similar. La razón fundamental es la evolución de la vacunación, puesto que ya son altos porcentajes de poblaciones adultas las que ya están vacunadas en Europa y nos vamos acercando a una situación generalizada de inmunidad. Sin embargo, aunque estemos en una situación de expansión, la aceleración que se veía en los meses de verano ha ido perdiendo fuerza, puesto que nos estamos encontrando con restricciones de Oferta. Actualmente nos enfrentamos a problemas de "cuellos de botella" en el sector de manufacturas, incrementos en el coste del transporte, coste de la energía en alza, etc., que están empezando a afectar en la economía.

Se espera un crecimiento del 5%, alcanzando un nivel de renta pre-pandemia en el último trimestre de este año. Para el año 2022 también se espera un crecimiento por encima del 4,5%. El objetivo del BCE es la estabilidad de precios y mantener un objetivo de inflación del 2% simétrico a medio plazo.

El planteamiento fundamental del BCE es que la inflación que se ha visto a comienzos de 2021 tiene como origen factores temporales, técnicos y de comparación que cuando lleguemos a 2022 se darán la vuelta y empezarán a jugar a favor. La previsión es que en el año 2022 la inflación media baje por debajo de ese 2%, y llegue al 1,7%.

También hay que tener en consideración que este incremento de la inflación ya no solamente obedece únicamente a los “factores base”, sino que también hay otros componentes que tienen un impacto en el nivel de la inflación más estructural. Esto tiene que ver con los cuellos de botella, las distorsiones que se están produciendo en los mercados de bienes y servicios, escasez e incremento del precio de las materias primas, etc., son los que están influyendo en la inflación.

El escenario base del BCE es que se estabilicen los precios y haya una reversión de los factores coyunturales que han causado el incremento de la inflación. La recuperación está en marcha, el nivel pre-pandemia lo lograremos en Europa de media a finales de este año, aunque existe divergencia en cuanto a cada país, que es lógico dado la estructura económica de cada país y las políticas económicas y de gobernanza. La razón fundamental es la mejora de la vacunación, el impacto más limitado de lo esperado de la variante Delta, aunque todavía se esperan distorsiones en los mercados de bienes y servicios, en las cadenas de suministro de oferta globales, etc., tanto para la economía europea, como para la mundial. Esto puede afectar tanto al crecimiento económico, limitándolo, como a las tensiones inflacionistas si se mantienen en el tiempo. Sin embargo, se espera que estos cuellos de botella se vayan difuminando a medida que la economía mundial se vaya ajustando otra vez al comportamiento habitual, después de una distorsión tan brutal como la que ha supuesto la pandemia.

Enlace a Flickr, con las fotos del encuentro:



SCAN ME

Enlace al álbum con las fotos del desayuno:



SCAN ME

6. FUENCISLA CLEMARES, Directora de Google para España y Portugal



19 DE OCTUBRE 2021

FORMATO
ONLINE



Fuencisla Clemares, Directora General de Google España y Portugal, ha sido la invitada en este desayuno inaugural del curso 2021-22. La presentación y bienvenida se realizó a cargo del Magnífico Rector, Enrique Sanz, SJ, que reconoció la labor de la invitada como docente y directiva. "Su éxito se basa en la atención a las personas, un valor que compartimos en Comillas".

Fuencisla Clemares compartió la visión de Google sobre la tecnología y los negocios e hizo hincapié en la revolución tecnológica que ha generado el móvil: "una disrupción brutal, que genera datos a escala".

La charla se centró en 3 ejes:

- La tecnología, que nos ofrece la oportunidad de poder personalizar a escala.
- El cliente como centro verdadero, sobre el que las organizaciones deberían estar orientados.
- La eficiencia en operaciones, junto al cambio cultural para poder ofrecer un mejor servicio.

Para la directora general de Google España y Portugal, la tecnología es el nuevo inglés. "Da igual lo que hagas, la tecnología va a ser trascendental en cualquier profesión. No hace falta que todos seamos expertos programadores, pero sí que tengamos una noción básica de la tecnología". El manejo de la tecnología es cada vez más trascendental y debe de ser un factor clave cuando se diseñan los programas formativos en cualquier tipo de institución educativa, desde la educación básica hasta en el ámbito universitario.

Durante su intervención, Clemares también destacó que faltan especialistas en cuestiones como Big Data o Cloud. “Va a haber una lucha por el talento muy fuerte, porque los perfiles más especializados son los que escasean”, pronosticó.

Concluyó su charla trasladando a la audiencia **cuáles son los retos más importantes a los que nos enfrentamos** actualmente en las organizaciones:

- **Desconexión tecnológica y ayuda en adicciones a la tecnología:** Hay que luchar por un mejor uso de ella.
- **Fake news:** Cómo detectar noticias y contenido falso y eliminarlas a tiempo. Tiene que haber una regulación detrás, pero también tiene que haber un sistema tecnológico que permita realizarlo de forma rápida y eficazmente.
- **Educación:** Tenemos que reflexionar sobre cómo se educa a los niños, y cómo nos comportamos los adultos, ya que al final somos el reflejo en el que se miran las generaciones futuras.
- **Formación en pensamiento crítico:** Ayudar a evitar contenidos tóxicos y que todas las personas podamos ser capaces de tener las herramientas y habilidades necesarias para que el contenido que nos llega se utilice de una forma lógica.

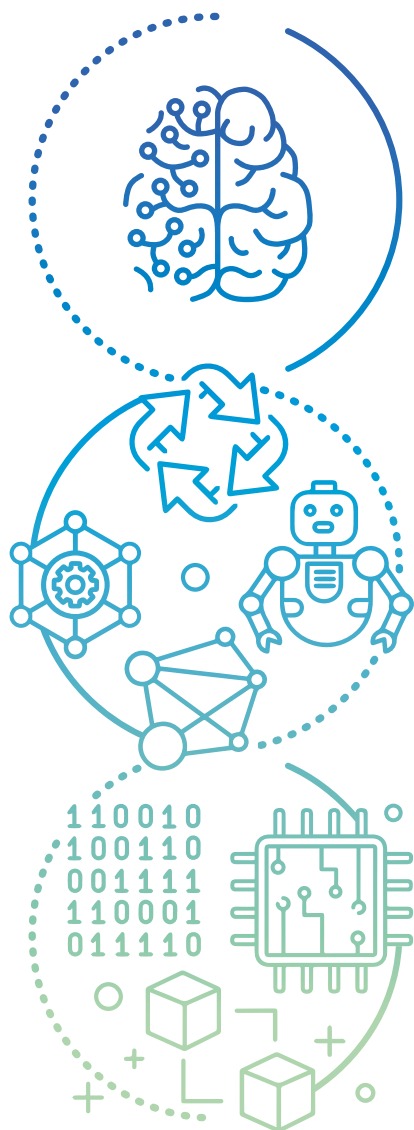
Tras su ponencia, se dio paso a un debate con los asistentes en los que los diferentes profesionales que acudieron a este encuentro, pudieron compartir sus reflexiones, preocupaciones y visión de sus negocios respecto al uso de la tecnología y cómo mejorar el nivel de digitalización y optimización de sus procesos internos.

Enlace a Flickr, con las fotos del encuentro:



SCAN ME

INVESTIGACIÓN



El CIC LAB es el laboratorio de investigación de la Cátedra de Industria Conectada, que comenzó en el verano de 2019. El objetivo del CIC LAB es **canalizar todo el talento que hay en la escuela (ETSI-ICAI) hacia retos reales de la industria**, que nos proponen las empresas patrono de la cátedra. Los alumnos comienzan por tanto a aportar valor antes de finalizar sus estudios, y se establece un mecanismo de acercamiento entre universidad y empresa.

Por lo tanto, el CIC LAB se podría definir como un punto de encuentro entre universidad, industria y estudiantes, en el que se consigue:

- Canalizar el talento estudiantil de la universidad hacia la creación de valor para la industria.
- Proveer a los alumnos con formación en la vanguardia de las técnicas y tecnologías que están revolucionando la sociedad.
- Importar/ampliar conocimiento para transferirlo mediante programas de formación o proyectos aplicados.



1. LA EDICIÓN DEL CIC LAB DE 2021



El **CIC LAB** es una iniciativa que se desarrolla a lo largo de todo el curso académico, aunque en verano se desarrolla de forma más intensa, ya que los estudiantes becados dedican aproximadamente 25 horas semanales, lo que permite acelerar el ritmo de los proyectos. Hay una gran variedad de proyectos, aunque suelen estar relacionados con visión artificial, *deep learning*, aprendizaje por refuerzo profundo, analítica avanzada, diseño de útiles de robótica, etc.



Algo sin duda destacable, es que desde el **Observatorio de Industria 4.0**, se le ha otorgado a Álvaro López López la mención de honor correspondiente a la convocatoria "VI Premio Impulso de la Industria Conectada" por su trabajo "CIC LAB, el laboratorio de investigación de la Cátedra de Industria Conectada".

La ceremonia de entrega de premios tuvo lugar el 25 de noviembre de 2021, en el "Encuentro Anual del Observatorio de la Industria 4.0". El Jurado estuvo compuesto por Carlos Bravo, Director de Consultoría e Innovación de Grupo IPS; José Ignacio Gallego, Country Senior Officer, NOKIA; Juan Antonio Gómez Pintado, Presidente de Vía Ágora-Asociación de Promotores; David González, Head of Midmarket and Channels-SAP; Toni Medianero, Head of Private Sector-Fujitsu; y Bernardo Villazán, Miembro de Honor.



Con esta Mención de Honor, el Observatorio de la Industria 4.0 reconoce la labor del CIC LAB de la Cátedra de Industria Conectada como elemento cohesor entre universidad y empresa. El jurado del VI Premio Impulso de la Industria Conectada valoró la labor del laboratorio, que permite a los estudiantes formarse en técnicas de vanguardia con problemas reales, creando por tanto un gran valor para la empresa no sólo por proveerla de una fuente de talento joven, sino también ayudando a resolver dichos problemas.

Durante la edición de verano, para mejorar la comprensión de los problemas abordados y poder así acelerar los proyectos, se realizaron visitas a Pladur y Saargummi. Dichas visitas no se restringieron a los alumnos participantes en los retos asociados a cada empresa, sino que se abrieron a todos los participantes en el CIC LAB, reconociendo también la dimensión de formación y motivación que tiene para los estudiantes el hecho de conocer un entorno productivo real enseñado por los ingenieros que lo operan.

Profesores e investigadores de la ETSI-ICAI y expertos externos que colaboraron en el CIC LAB del verano 2021:

- Jaime Boal Martín-Larrauri.
- Lucía Güitta López.
- Javier Jarauta Sánchez.
- Mariano Jiménez Calzado.
- Gregorio López López.
- Álvaro López López.
- Luis Manuel Mochón Castro.
- Eva Paz Jiménez.
- José Portela González.
- Ignacio de Rodrigo Tobías.

Profesionales de las empresas patrono que colaboraron en el CIC LAB del verano 2021:

- ABB: David Español.
- Endesa: Manuel Rodríguez del Castillo, Alicia Mateo, Carlos Gaitán y Marta Fernández.
- Grupo Antolín: Javier Villacampa y Juan Antonio Santamaría.
- IBM: Carlos Creus y Jaime Requejo.
- Pladur: David Linares, Hussein Abdulkarim, Israel Morillas y Félix Pérez.
- Prosegur: Daniel García Espinel, Ignacio San Román, Roberto Frías, Isabel Burillo y Álvaro Zornoza.
- Saargummi: Álvaro Jiménez, Diego Marqués y Boris Miranzo.

El diseño del CIC LAB se estructura en equipos de trabajo para favorecer la creatividad que suele generarse cuando se trabaja en resolver un reto desde el punto de vista grupal y no de forma individual.

Tras la edición de verano, algunos retos han tenido continuidad, y de hecho cuatro estudiantes del MIC están realizando sus Trabajos de Fin de Máster dentro del CIC LAB.

A continuación, se detallan los proyectos en los que trabajamos en verano de 2021 y las líneas de trabajo que han quedado activas.

IBM

▶

GESTOR DE CONOCIMIENTO

Alumnos:
Lionel Güitta López
María Luz Castilla Mena
Patricia Astobieta González

◀

1. INTRODUCCIÓN

Los gestores de conocimiento son, hoy en día, una de las herramientas más útiles en el mundo empresarial. Si bien todavía no están lo suficientemente desarrollados como para ofrecer una atención tan personal como la que ofrecería un humano, sí son capaces de cubrir la gran mayoría de preguntas que se le plantean.

Tanmay Bakshi es un joven prometedor experto en Inteligencia Artificial y *Deep Learning*, y además es asesor y desarrollador para Watson & Cognitive en IBM. En una de sus entrevistas en Coursera, afirma que los *ChatBots* son el futuro para las empresas. La utilización de esta herramienta en las atenciones al cliente y a los empleados, puede dar lugar al ahorro de grandes cantidades de dinero debido a la reducción de personal que esto conllevaría.

El proyecto de Gestor de Conocimiento está dividido en dos partes. En primer lugar, se ha actualizado el *ChatBot* de la web de la Cátedra de Industria Conectada que había desarrollado IBM para la universidad, y, en segundo lugar, se ha creado un repositorio de documentos para facilitar la búsqueda de información en proyectos de investigación. IBM proporciona dos herramientas relacionadas con la gestión de la información, que son Watson Assistant y Watson Discovery. Ambas herramientas han sido utilizadas para el desarrollo de la primera parte del proyecto, el *ChatBot*, pero sin embargo para el repositorio solo ha sido necesario la utilización de Watson Discovery, como se explicará más adelante.

Para la optimización del *ChatBot* ha sido necesaria la utilización de Watson Assistant, una herramienta que permite programar las respuestas a un grupo de preguntas predeterminadas. Pero ¿qué pasa si la pregunta que realiza el usuario, no se encuentra en la lista de preguntas predeterminadas? Aquí es donde entra en juego Watson Discovery, que se encarga de la búsqueda de la información pedida en una colección de documentos previamente entrenados para clasificar la información y asociarla a lo que pregunta el usuario, y así poder dar la respuesta más acertada.

Por otro lado, el asistente creado para facilitar la investigación de proyectos contiene documentos específicos para un proyecto determinado. En este caso, los documentos están relacionados con el aprendizaje por refuerzo, para ayudar a Lucía Güitta López, investigadora en formación en la Cátedra de Industria Conectada y departamento de Sistemas Inteligentes, en su proyecto.

2. EVOLUCIÓN DEL PROYECTO

A continuación, se resumirá brevemente los pasos que se han realizado para la formación en ambas herramientas. Durante la primera semana, se realizaron dos cursos de Coursera impartidos por IBM:

"Building AI Powered Chatbots Without Programming" y "Building AI Applications with Watson APIs by IBM". Durante la formación, se realizó un *ChatBot* de prueba el cual estaba enfocado a ser utilizado en la web de una floristería, lo que sirvió de base para optimizar el que ya estaba creado para la Cátedra.

Durante la segunda semana tuvo lugar la primera reunión con IBM, donde fueron proporcionados los archivos que contenía la versión en desarrollo del *ChatBot* de la Cátedra además de una herramienta para poder implementar el *ChatBot* a una aplicación y poder acceder directamente desde ahí. En la primera versión del *ChatBot* no estaba en funcionamiento la búsqueda de información en los documentos utilizando Watson Discovery, por lo que tuvo que ser añadida. Además, los enlaces que se devolvían en alguna de las respuestas estaban desactualizados. Por lo tanto, el objetivo durante las siguientes semanas fue conectar Watson Assistant a un repositorio con documentos extraídos de la página web de la Cátedra, los cuales contenían información sobre cada uno de los patronos y sus respectivos CEOs. Esta conexión se realizó con Watson Discovery. Sin embargo, se descubrió que Watson Discovery no es la herramienta más adecuada si el usuario necesita información actualizada a día de hoy, porque los documentos que hay subidos pueden ser más antiguos. Es por ello que el asistente solamente deberá recurrir a esta herramienta para proporcionar al usuario información genérica que siempre sea veraz y que responda a una amplia gama de preguntas, para satisfacer al usuario con la respuesta acertada con mayor facilidad.

Además, se utilizó una nueva herramienta, Watson Knowledge, con la que fue posible entrenar cada uno de los documentos identificando entidades y relaciones entre las entidades. Esta herramienta ha facilitado la extracción de la información pedida, devolviendo una respuesta más ajustada a la petición del usuario.

Una vez conectado el asistente y actualizado los enlaces, se recurrió a la ayuda de los compañeros del CIC LAB para que propusieran preguntas comunes que ellos harían al *ChatBot*, para meterlas como predeterminadas y también para comprobar las respuestas que daba el *ChatBot* a estas preguntas y mejorar el asistente para que fuera una herramienta más inteligente y útil.

Para la segunda parte del proyecto, se utilizó únicamente Watson Discovery, siendo el número de documentos dentro del repositorio bastante mayor que los usados en el *ChatBot*. Se realizó una descarga masiva de documentos relacionados con la información necesaria, en este caso, el aprendizaje por refuerzo. Además, para la utilización del asistente, se ha realizado una actualización de la aplicación proporcionada por IBM.

3. OPTIMIZACIÓN DEL CHATBOT IMPLEMENTADO EN LA CÁTEDRA DE INDUSTRIA CONECTADA

Watson Assistant

Tal y como se ha mencionado en los apartados anteriores, tras la primera reunión de IBM, se tuvo acceso a los archivos desactualizados de la primera versión del *ChatBot* de la Cátedra de Industria Conectada, vinculada a una aplicación para conectar el asistente a Watson Discovery.

En primer lugar, gracias a los conocimientos adquiridos por la primera semana de preparación de los cursos de Coursera acerca de las herramientas de IBM, el grupo empezó a mejorar el *ChatBot* desde Watson Assistant, actualizando los enlaces a las páginas web de la Cátedra y creando nuevos nodos asociados a otro tipo de preguntas que no habían sido tenido en cuentas en la primera versión del *ChatBot*.

En la primera versión del *ChatBot* de IBM, el asistente era capaz de contestar a preguntas relacionadas con:

- Los patronos que tienen acuerdo con la Cátedra de Industria Conectada (en adelante, CIC).
- Los eventos que tienen lugar en la Cátedra y en el Observatorio 4.0.
- Las últimas noticias acerca de CIC.
- Las ofertas de trabajo que ofrece el CIC en colaboración con el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT).
- Los objetivos de CIC.
- Una serie de definiciones relacionadas con el CIC: qué es la Cátedra, qué es el Observatorio, qué es la Industria 4.0, etc.
- También es capaz de reaccionar ante las emociones de las personas (saludos, agradecimientos, despedidas, insultos...).

Sin embargo, tras las mejoras aportadas por el equipo y las preguntas de nuestros compañeros del CIC LAB, se añadieron las siguientes modificaciones, con las cuales el *ChatBot* actualmente puede responder adicionalmente a:

- Preguntas muy específicas sobre los patronos, redirigiendo al usuario al enlace de la página web del respectivo patrono.
- Cuando le preguntas por un patrono en general, en primer lugar, el usuario recibe una definición más genérica y va realizando más preguntas al usuario por si desea saber algo más específico.
- Puede responder con información actualizada sobre los CEOs de los patronos.
- También puede responder a preguntas relacionadas acerca de cuándo se fundó la Cátedra, ICAI o el IIT, sus respectivas definiciones y localizaciones, y el equipo directivo de estas tres instituciones.
- Da información sobre cómo ponerse en contacto con la Cátedra.
- Da información sobre temas relacionados con los estudios en ICAI.
- Explica qué es el CIC LAB, cómo surgió, y los proyectos que se están llevando a cabo actualmente en la edición de verano de 2021, junto con una pequeña descripción y los participantes de los respectivos proyectos.
- Da información acerca de ofertas de trabajo, relacionadas tanto con el CIC LAB como con el IIT.
- También tiene información acerca del impacto del COVID en la universidad y en CIC.
- Por último, si detecta alguna temática relacionada con la tecnología o temas más genéricos relacionados con la cátedra, el asistente acude directamente al repositorio de documentos en Watson Discovery para dar una respuesta acertada al usuario.

Como se puede observar, no se ha limitado solamente a responder preguntas relacionadas con la cátedra, sino que se ha incluido un gran abanico de preguntas que abarcan también ICAI y el IIT, así se ha garantizado que haya más probabilidades de que el usuario reciba una respuesta acertada a lo que pregunte.

En el siguiente [enlace](#) se puede acceder a la versión final del *ChatBot* desarrollado para la página web de la Cátedra.

Knowledge Studio

Knowledge Studio es otra de las herramientas que ofrece IBM para la gestión del conocimiento. Esta herramienta es una versión avanzada de entrenamiento de los documentos. A diferencia de Watson Discovery, en el cual se entrenan los campos que dan formato a un documento (título, texto, pie de página), con KS se entrena el contenido del documento.

En primer lugar, es necesario definir las posibles entidades que se encuentren en un documento. A medida que se vaya entrenando los documentos se irán actualizando las entidades ya que es posible que surjan nuevas entidades. Además, también es necesario definir la relación que existe entre entidades. A continuación, se muestran las entidades y las relaciones que se han utilizado para el entrenamiento.

Tal y como se puede ver, cada entidad tiene roles asociados, como, por ejemplo, Empleabilidad → Empleabilidad y Economía.

☐	Entity Type Name	Roles	Subtypes		Action
☐	energias	energias			Edit Delete
☐	sostenibilidad	sostenibilidad			Edit Delete
☐	cyberseguridad	cyberseguridad			Edit Delete
☐	electrificacion	electrificacion			Edit Delete
☐	automocion	automocion			Edit Delete
☒	Empleabilidad	Empleabilidad Economia			Edit Delete
☐	Economia	Economia Empleabilidad			Edit Delete

Items per page: 10 1-10 of 27 items 1 of 3 pages

Figura 1. Entidades Watson Knowledge

Por otro lado, es importante identificar la relación que existe entre entidades para entender la información del texto. En este caso tenemos dos entidades y la relación que las une. Por ejemplo, una empresa determinada (primera entidad) es patrono (relación) de la CIC/Universidad (segunda entidad).

Relation Type	First Entity Type / Role	Second Entity Type / Role	Action
Posicion	Persona	Posicion	Edit Delete
Pertenencia	CIC	Universidad	Edit Delete
Directivo	Persona , Empresa	Persona , Empresa	Edit Delete
Presidente	Empresa , Persona	Persona , Empresa	Edit Delete
Ceo	Empresa , Persona	Persona , Empresa	Edit Delete
Patrono	Empresa	CIC , Universidad	Edit Delete

Items per page: 10 1-6 of 6 items 1 of 1 pages

Figura 2. Relaciones Watson Knowledge

Esta última herramienta ayuda a WD a extraer la información pedida. Una vez definidos estos campos, se procede a la realización de un modelo de *Machine Learning* para anotar en cada documento, las entidades definidas. Un ejemplo quedaría de la siguiente manera:



Figura 3. Ejemplo Watson Knowledge

En la Figura 3 se puede observar cómo cada entidad en el documento ha sido definida con las entidades predefinidas.

4. CREACIÓN DE UN ASISTENTE PARA LA INVESTIGACIÓN

El objetivo del desarrollo de la asistencia es la simplificación y ahorro de tiempo a la hora de la redacción e investigación de proyectos. Tal y como se ha explicado anteriormente, para la creación de este asistente, ha sido necesario utilizar Watson Discovery y una aplicación.

A continuación, se explicará brevemente el funcionamiento de Watson Discovery. Esta herramienta, en su plan gratuito, permite subir archivos de hasta 50.000 caracteres, lo que es aproximadamente documentos de 8-10 páginas, dependiendo del documento.

Una vez seleccionados y subidos los documentos, se procede al entrenamiento de estos. El plan gratuito de la herramienta permite entrenar hasta 20 documentos. Este entrenamiento consiste en “enseñar” al programa lo que es un título, texto, pies de página, imágenes, tablas, etc. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de cómo se han entrenado los documentos.

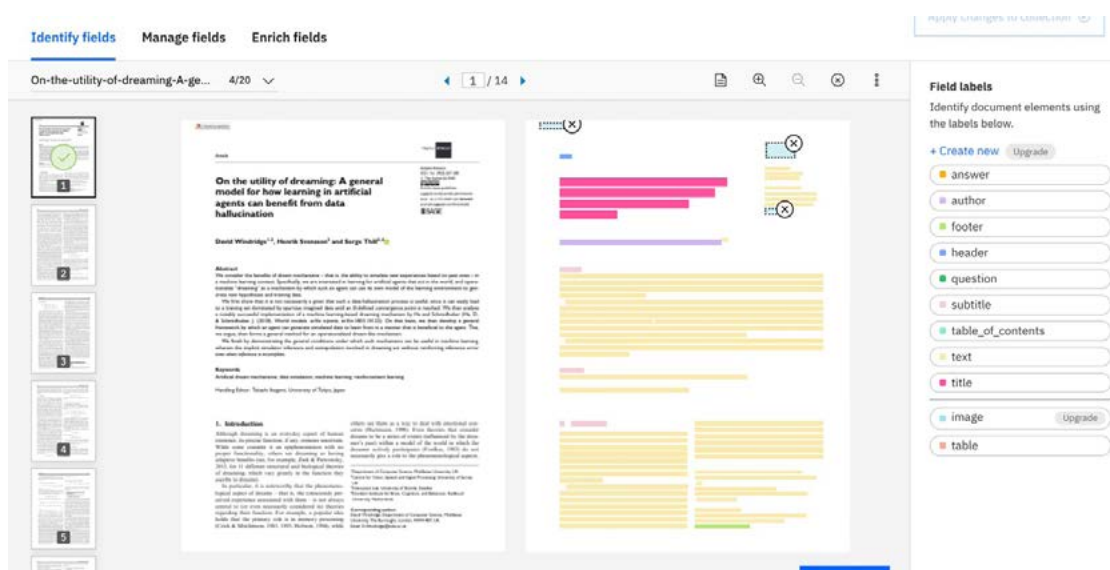


Figura 4. Entrenamiento de los documentos

Una vez entrenados los documentos, Watson Discovery es capaz de identificar los campos en los demás documentos que han sido subidos. Tal y como ha sido mencionado anteriormente, uno de los problemas que se tuvo que afrontar durante el desarrollo de este proyecto fue la limitación de caracteres por documento que la herramienta permitía subir. En este caso, la limitación estaba en 50.000 caracteres por documento, lo que son aproximadamente 8-10 páginas. Para solucionar este problema, aquellos documentos que sobrepasasen el límite de caracteres fueron divididos en dos o incluso hasta tres documentos para poder ajustarlos.

La aplicación desarrollada, en este caso, no tiene la capacidad de devolver respuestas rápidas, partiendo de la aplicación del *ChatBot* se eliminó la parte correspondiente a las preguntas rápidas (es decir, la parte de Watson Assistant), de manera que todo mensaje que se escriba será procesado como una consulta a Watson Discovery.

Se configuró la obtención de respuestas de un modo diferente a la otra aplicación. La función de consulta en el código (*discovery.query*) devuelve por defecto diez fragmentos destacados de los resultados, en este caso se configuró para que obtuviese 100 resultados completos y extrajese 100 fragmentos distintos de los mismos, con aproximadamente 500 caracteres por cada fragmento. De todos los pasajes obtenidos se mostrarán al usuario los 20 más relevantes tras su respectivo procesado.

Una vez obtenidos los fragmentos, el primer paso es la agrupación de pasajes que provengan de un mismo documento en uno solo y la eliminación de los restantes. Con ello evitamos que salga un mismo documento repetido.

Cada fragmento se expondrá en un mensaje, este debe ir encabezado por el título del documento al que pertenece el fragmento, información que se obtiene de los resultados del archivo extraídos por Watson Discovery. Para los documentos divididos se obtuvo el título del documento que corresponde a la primera división, donde se encontraría la primera página del documento con dicha información.

Cada fragmento expuesto en un mensaje va acompañado de un acceso al documento completo. Para los documentos no divididos se asociaron los pasajes directamente al documento de origen. En cambio, para los archivos divididos, se asociaron los fragmentos a los documentos originales sin dividir. Para conseguir esto, se partió del nombre del archivo dividido al que pertenecían los fragmentos y se eliminó la parte correspondiente a la división para obtener el nombre del archivo original completo.

Nombre archivo dividido

Grounded-action-transformation-for-simto-real-reinforcement-learningMachine-Learning-21-31.pdf

Nombre archivo original

Grounded-action-transformation-for-simto-real-reinforcement-learningMachine-Learning.pdf

17. Parametric inverse impulse response based on reduced order modeling and randomized excitations

Bordeaux, Estia Institute of Technology, I2M UMR 5295, F-64210 Bidart, France ¹(b)ICL, Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noe, BP 92101, F-44321 Nantes cedex 3, France ²(c)Arts et Métiers ParisTech, ESI Chair, UMR 8006 CNRS-ENSAM, F-75013 Paris, France Article history: Received 26 February 2019 Received in revised form 10 September 2019 Accepted 22 September 2019 Keywords: Structural dynamics Reduced order modeling Parametric solutions Inverse problem Randomization This paper is concerned with the computation of the inverse impulse response of a parametrized structural dynamics problem using reduced-order modeling and randomized excitations. A two-stages approach is proposed, involving the solution of both direct and inverse problems. In the first stage, the parametrized structural dynamics problem is formulated in the frequency domain, and solved using a reduced-order modeling approach. As a result, the parametric transfer function of the structure is obtained. As a result, the parametric transfer function of the structure is obtained, and then readily transformed into a parametric direct impulse response (DIR). In the second stage, the parametric inverse impulse response (IIR) is computed. We use randomized excitations to generate synthetic samples inexpensively from the parametric DIR. Based on these, the parametric IIR is computed by minimizing the mean square error between the estimate and the samples. Most importantly, we show that the randomized excitations can be generated by sampling the frequency domain only. Hence, the parametric domain does not need to be sampled, which makes the computation of the parametric IIR very efficient. In addition, the parametric DIR offers a simple procedure to obtain a real-time feedback of the displacements via its convolution with the excitation force. In the second stage, we use randomized excitations to generate synthetic samples inexpensively from the parametric DIR. Then, the parametric inverse impulse response (IIR) is computed by minimizing the mean square error between the estimate and the samples using PGD. Most importantly, we show that the randomized excitations can be generated by sampling the frequency domain only. Hence, the parametric domain does not need to be sampled, which makes the computation of the parametric IIR very efficient.

Figura 5: Ejemplo de respuesta al usuario

5. CONCLUSIÓN

Gracias a este proyecto en colaboración con IBM, no solo se han desarrollado habilidades de programación, sino que también se han aprendido nuevas herramientas de IBM para actualizar el *ChatBot* de la Cátedra de Industria Conectada y poder implementarlo en la página web. Además, se han aprovechado las ventajas de una de estas herramientas para crear un repositorio de documentos científicos que faciliten la búsqueda de información a los investigadores.

Este proyecto tendrá un gran impacto en la facilitación de información. En el caso del desarrollo del *ChatBot* de la Cátedra de Industria Conectada, este asistente puede ser una herramienta muy potente si el usuario tiene preguntas específicas acerca de la Cátedra, los patronos, el IIT o incluso más genéricas sobre la Cátedra o la universidad, porque es capaz de responder con gran certeza a todas ellas. Así se podrá ahorrarle una gran cantidad de tiempo al usuario, ya que no le hará falta que pierda su valioso tiempo a investigar la página web para encontrar su respuesta, sino que el asistente se la podrá facilitar al instante.

Hay que tener en cuenta que las respuestas rápidas han sido programadas manualmente, por lo que solamente con esta herramienta no se van a conseguir abarcar todos los temas que pueda preguntar el usuario. Aquí es donde entra en acción Watson Discovery, que accede a su repositorio de documentos relacionados con la Cátedra y los patronos para dar una respuesta más genérica al usuario.

Aprovechando el potencial que posee la herramienta Watson Discovery, para la segunda parte del proyecto se desarrolló un repositorio con documentos científicos con el fin de ayudar a estudiantes de investigación en sus proyectos. En principio este repositorio está limitado porque contiene documentos relacionados únicamente con el aprendizaje por refuerzo y por las características de la herramienta. Sin embargo, el repositorio funciona como se esperaba y al introducir una serie de palabras clave en el asistente, este te devuelve aquellos párrafos relacionados con tu búsqueda, y un link hacia dicho archivo, para que el usuario pueda acceder a la información que le interesa sin tener que leerse con detalle todos los documentos. Una vez más, se demuestra que esta herramienta es realmente eficaz a la hora de encontrar información relacionada con lo que pide el usuario.

Finalmente, a pesar de la gran utilidad que estos asistentes suponen para el futuro, la idea todavía no está demasiado integrada en la sociedad, ya que mucha gente no tiene muy claro cuál es su función ni cómo utilizarlo, y sigue prefiriendo la asistencia humana para resolver sus dudas. Con este proyecto se pretende incentivar el uso de estos asistentes, porque, de las miles de llamadas de asistencia que puede recibir una empresa al día, con esta herramienta se podrían reducir en gran parte, al ser capaz de resolver las dudas más comunes de los usuarios sin necesidad de tener que contactar con alguien personalmente, y ahorrando así mucho tiempo tanto al usuario como a la empresa, y optimizando el servicio de asistencia y dando agilidad a la hora de solucionar los problemas de los usuarios.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

PLADUR**PLANIFICACIÓN DE CUBICAJE****Alumnos:**

Jaime Díez-Cascón Martínez

Javier Jarauta Gastelu

Marta Urretavizcaya Tato

1. INTRODUCCIÓN, MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

El reto de Pladur para el CIC LAB de verano de 2021, consiste en la creación de una herramienta de visualización 3D en Unity, que permita representar la solución de llenado de los contenedores con los pedidos que realicen los clientes de Pladur.

La motivación del proyecto completo viene dada por la necesidad de Pladur de tener una herramienta que permita tanto a comerciales como a personal del almacén poder realizar la planificación de un pedido y el cálculo del número de contenedores necesarios para completarlo. De esta manera, un proceso que antes se realizaba de manera manual, se puede automatizar para el ahorro de tiempo y dinero. Así, se parte de la base que esta herramienta puede aportar mejoras tangibles en el proceso de producción y logística de pladur.

Actualmente, cuando se realiza un pedido, este se introduce en una hoja Excel que calcula la solución óptima de llenado de los contenedores marítimos. Esta solución es necesario representarla en tres dimensiones para que los trabajadores puedan visualizar la posición de cada objeto. Para ello se utiliza el programa Matlab. Sin embargo, al utilizar esta herramienta no es posible realizar cambios en cuanto a la posición de los objetos o al contenido del contenedor, la única posibilidad es realizar el pedido de nuevo.

En cambio, con la nueva herramienta realizada en el motor de físicas Unity, se pueden realizar estos cambios con la facilidad de que el *software* comprueba continuamente la posibilidad del cambio propuesto. Es decir, se conoce la posición del centro de masas del material transportado en tiempo real, se comprueba si hay espacio para mover o voltear los paquetes o incluso se le indica al usuario cuando hay un objeto fuera de los límites.

Unity permite utilizar tanto el ratón como las teclas del teclado para desplazar los paquetes e incluso cambiar la posición de la cámara para mejorar la vista. También tiene una vista en planta donde se puede ver la posición del centro de masas y un botón de guardar por si queremos dejar como definitivas las posiciones que se hayan editado.

2. HERRAMIENTA Y METODOLOGÍA

La herramienta utilizada para el desarrollo de este proyecto es Unity. Unity es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies. Se utiliza en la actualidad para crear juegos y aplicaciones en 2D, 3D y realidad virtual. Cuenta con un potente motor de físicas, lo que hace que sea la herramienta idónea para el problema propuesto, ya que simula una interacción realista de los diferentes

pallets y productos en el interior del contenedor. Se utiliza C# como lenguaje de programación para el desarrollo de la lógica de creación de objetos y movimientos.

Unity Collab es una herramienta de colaboración incorporada en Unity para guardar el programa en la nube y facilitar la sincronización. Esta herramienta, de una manera muy similar a GitHub, permite la sincronización de cambios entre los diferentes miembros del equipo, y faculta el desarrollo en paralelo de funcionalidades y componentes. Sin embargo, a diferencia de otras herramientas de Control de Versiones, en ocasiones la sincronización de cambios supone la eliminación de alguna configuración local, lo que daba lugar a errores inesperados. Aun así, una vez conocidas sus deficiencias y ventajas, la colaboración a través de esta herramienta es imprescindible.

Durante el desarrollo del código, se tuvo en consideración la limpieza y organización de este. A lo largo de todo el desarrollo, se designaron ciertos días de “limpieza de código” para mejorar el código de la herramienta, tanto para mejorar su legibilidad como para depurar y limpiar funciones y líneas innecesarias. Dicha limpieza de código se realizó hasta el último de los días, ya que es de vital importancia para los futuros desarrollos de la herramienta.

3. ESTADO INICIAL DE LA HERRAMIENTA

La herramienta de visualización de Unity realizada durante el CIC LAB, parte un desarrollo llevado a cabo a lo largo del curso académico 2020-2021 por uno de los miembros del equipo. Por tanto, antes de comenzar el desarrollo de verano, el visualizador se encontraba en un estado muy temprano, en el que la funcionalidad estaba limitada, pero se encontraban sentadas las bases, para la futura evolución de la aplicación.

En esta versión inicial, simplemente existía la funcionalidad de la lectura de datos a partir de los archivos .csv proporcionados por la herramienta de cálculo y, a través de dicho visualizador, se permitía la representación de uno o varios contenedores de la solución propuesta. Sin embargo, en dicha herramienta, no existía ninguna funcionalidad destacable, excepto la posibilidad de rotar la cámara y cambiar de contenedor. Se partía así, de una base que, aunque sólida, necesitaba de una gran evolución para llegar a cumplir los objetivos propuestos para el CIC LAB de verano de 2021.

4. PROCESO DE DESARROLLO

El subsecuente diseño de la herramienta se ha realizado durante las 8 semanas de duración del CIC LAB. En cada una de estas semanas, se establecían unos objetivos a cumplir para el grupo, que se dividían entre los miembros de acuerdo con las capacidades y preferencias de cada uno. Además, estos objetivos dependían en gran parte de las mejoras y sugerencias propuestas por el equipo de Pladur, que perfeccionaban considerablemente el desarrollo y evolución de la funcionalidad de la herramienta.

4.1. Semana 1 - Del 31/5 al 4/6:

La primera semana del Lab, se dedicó al aprendizaje y la exploración del motor de videojuegos Unity, se aprendió sobre la herramienta y el lenguaje de programación necesario. A lo largo de esta semana, se pudieron desarrollar algunas funciones y códigos sencillos que sirvieron de aprendizaje para más tarde poder dar funcionalidades más complejas a la herramienta.

El cambio más notorio que se realizó durante la primera semana fue la modificación de la vista principal, generando una pestaña desplegable (*dropdown*) para cada contenedor utilizado. Antes de esto, los tres contenedores se encontraban en el mismo espacio, y para realizar la visualización entre ellos se utilizaban unos botones en la interfaz de “anterior” y “siguiente”.

En la Figura 1 se muestra una vista general de la herramienta al finalizar esta primera semana. Se puede apreciar que todos los bloques están en su posición, pero cada uno con un color diferente. También se observa el *dropdown*, que permite elegir el contenedor a mostrar en pantalla.

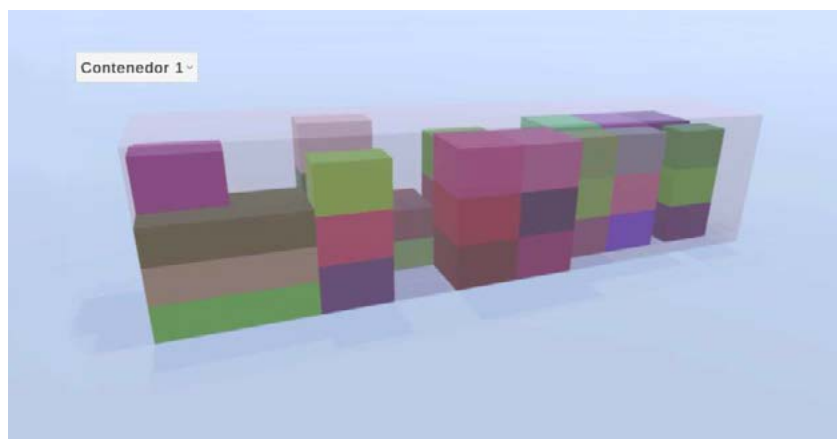


Figura 1: ejemplo del estado de la herramienta el 4/6

4.2. Semana 2 - Del 7/6 al 18/6:

Durante este segundo periodo, se propusieron como objetivos el seleccionar objetos y moverlos con las teclas del ordenador y crear un minimapa que permitiese observar la visualización en planta del contenedor. En este último se añadió la posibilidad de ver la posición en tiempo real y actualizada del centro de gravedad según fuesen desplazándose los objetos. También se muestra el punto medio del contenedor, el cual es la posición idílica del centro de masas.

Al mismo tiempo, se desarrollaron los primeros pasos para poder guardar los cambios realizados a través del visualizador, en las *Packing List*. Esto implica que no se perdiesen los datos al cambiar de contenedor mediante el *dropdown*, de manera que existiera una persistencia de datos.

Hasta el momento, los colores de cada objeto eran aleatorios, pero, para mejorar la experiencia de usuario, se decidió pintar todos los objetos iguales del mismo color y añadir una leyenda que facilitase la identificación de cada uno. Esto generó otro problema, ya que, al estar juntos dos objetos iguales con el mismo color, era difícil diferenciar uno de otro, por lo que se añadieron unas líneas de contorno que permitían delimitar cada objeto. Estos tuvieron que ser mejorados en posteriores desarrollos ya que en ocasiones desaparecían en función de la posición de la cámara.

Finalmente, se añadió la funcionalidad del volteado de objetos, que permite optimizar el espacio y reducir el coste de llenado del contenedor, y facilita a los usuarios de la herramienta el ajuste fino de los componentes.

4.3. Semana 3: Del 21/6 al 2/7:

Como consecuencia de los cambios realizados hasta el momento, surgió la necesidad de realizar algunas mejoras, como, por ejemplo, cambiar los colores de los bordes de cada objeto a color blanco, ya que, hasta el momento, eran de un color muy similar al objeto, y en ocasiones quedaban prácticamente inapreciables.

Además, la posibilidad de voltear y mover objetos conducía a situaciones en las que unos objetos chocaban con otros o incluso que alguno podía quedar fuera del contenedor, pero era casi inapreciable.

Por ello, se introdujo en la interfaz un cuadro de errores que notifica si los objetos se están intersecando entre ellos, si están fuera del contenedor, si se ha superado la masa útil como consecuencia de hacer varios volteos o si un objeto ha sido colocado en la zona muerta del contenedor.

Durante estos cambios, surgió la oportunidad de generar un botón de guardado que permite actualizar los cambios a las hojas Excel, para más tarde actualizar la *Packing List* desde Excel.

Una vez que estos cambios habían sido probados y funcionaban, se decidió realizar una primera compilación completa de la aplicación, es decir, un archivo ejecutable para que los trabajadores y usuarios de Pladur pudieran probar la herramienta y proporcionar realimentación para el futuro desarrollo y evolución.

Al generar el primer archivo ejecutable de la herramienta, se apreció que no se estaban instanciando bien los objetos, es decir, unos quedaban sobre otros y surgían errores desde el inicio. Pudimos solventarlo cambiando el método de comprobación de las posiciones y generando así un nuevo archivo ejecutable.

En la Figura 2 se muestra una vista general de la herramienta al finalizar la quinta semana.

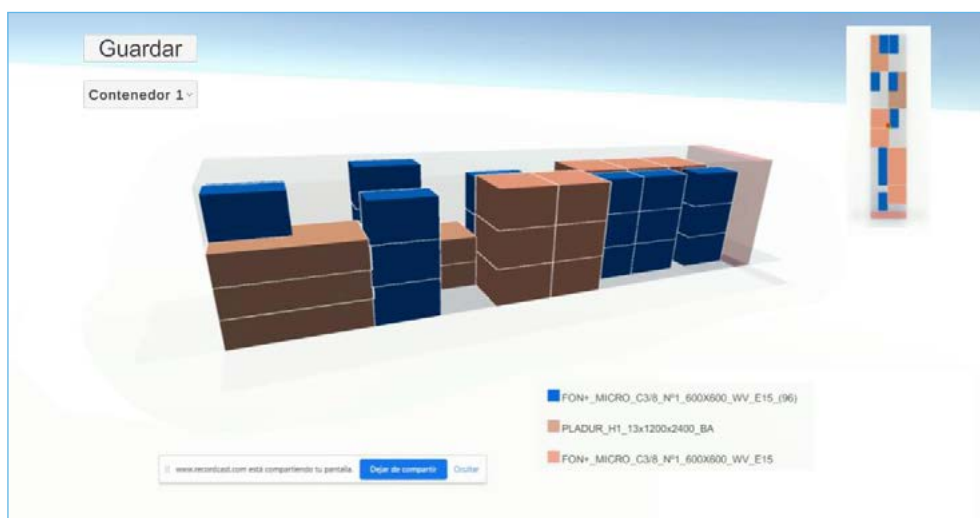


Figura 2: ejemplo del estado de la herramienta el 2/7

4.4. Semana 4 - Del 5/7 al 21/7:

En esta última semana, el desarrollo se centró en los comentarios y mejoras proporcionados por el equipo de Pladur. Así, el primer *feedback* que nos proporcionaron fue sobre la dificultad de saber cuál era el objeto que estaba provocando que existiese un mensaje de error, por lo que se cambió el color del borde del objeto a rojo en los casos en que existiese un error para mejorar la visibilidad y la experiencia del usuario.

También nos hicieron llegar su deseo de utilizar el ratón en lugar de las teclas del teclado para mover el objeto. Esta posibilidad se implementó correctamente, y se encuentra incluida en la última versión, pero provoca a su vez que en ocasiones se pueda perder algo de precisión durante el movimiento de los objetos. Además, también se implementó el mover varios objetos a la vez utilizando el ratón.

En cuanto al asunto de los colores, todos aquellos objetos que son diferentes tienen colores diferentes,

considerando como diferentes los objetos volteados, esto en ocasiones hace que sea complicado diferenciar que existen objetos volteados en la solución planteada, por lo que, en la siguiente versión, los colores de los objetos no volteados son más claros y los volteados tienen el mismo color, pero más oscuro.

Finalmente, se añadió un mensaje de alerta al pulsar el botón de guardar, ya que daba una falsa seguridad si se pulsaba y no se apreciaba ningún cambio o confirmación de que la acción hubiese sido realizada.

En la Figura 3 se puede observar la versión final de la herramienta desarrollada, con todos los cambios incluidos.

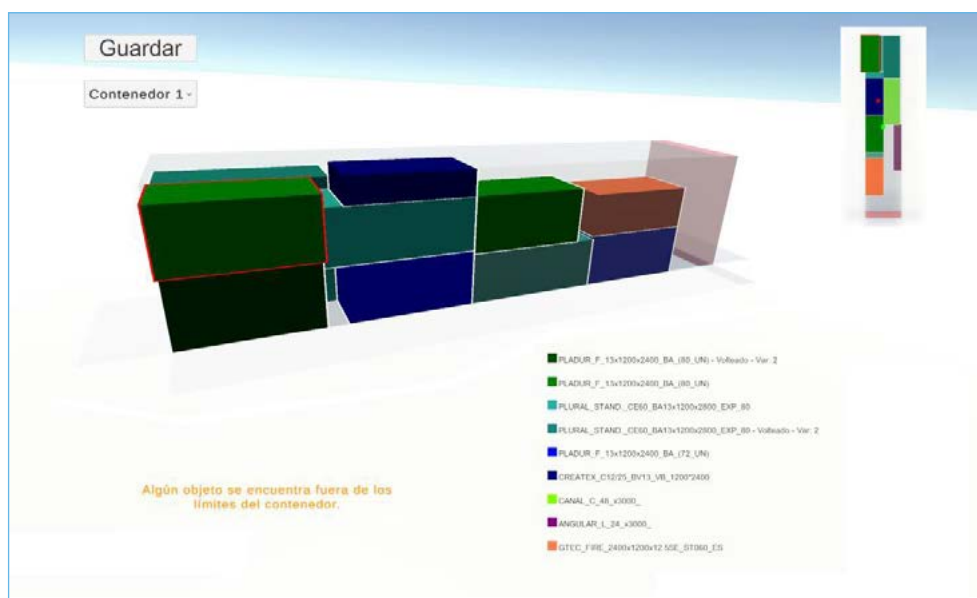


Figura 3: ejemplo del estado final de la herramienta

5. RETOS Y PROBLEMAS

A la hora de realizar este proyecto se ha hecho frente a varios retos, algunos esperados y otros no. Lo primero que merece la pena destacar es la dificultad que supone el estar tres personas programando lo mismo. Es necesario tener un control de versiones bastante riguroso y tener claro lo que está haciendo cada persona para que no se solapen códigos. De esta forma se consiguen ir aumentando las funcionalidades de la herramienta sin perder las ya existentes.

Para resolver este problema se ha utilizado el *Collaborate* de Unity, el cual permite guardar las diferentes versiones del proyecto, e ir actualizando los cambios que realiza cada persona. También es necesario parar de vez en cuando y dedicar un tiempo a limpiar, depurar y explicar el código, de manera que todas las partes de este sean entendibles por todos los integrantes del equipo.

Otro de los grandes retos del proyecto ha sido el programar en un lenguaje de programación nuevo. Ninguno de nosotros había trabajado previamente con C#, por lo que esto ha supuesto una dificultad extra. Afortunadamente, Unity es un programa ampliamente usado y hay mucha información en internet útil para resolver los diferentes problemas que han ido surgiendo. También hay tutoriales que abarcan desde lo más básico de la herramienta hasta temas muy concretos.

6. LECCIONES APRENDIDAS

A lo largo de la elaboración de este proyecto se han encontrado varios obstáculos, como puede ser la sincronización del trabajo de todos los integrantes, ya que, al modificar los mismos códigos a la vez desde diferentes ordenadores, se crean conflictos en la sincronización de estos. Gracias a ello se ha aprendido la importancia de ser ordenado cuando se trabaja sobre el mismo proyecto con más gente, de manera que no se pierda en ningún momento el trabajo realizado.

También se ha podido destacar la importancia de comentar todos los códigos desarrollados. Cuando se necesita modificar código y no está especificado a qué hace referencia cada línea, realizar cualquier cambio se convierte en una actividad caótica, especialmente cuando el código no ha sido realizado por la misma persona.

Además, la organización de los códigos es de vital importancia, ya que nada tiene que ver, colocar una función en un *script* u otro, puede que funcione en ambos, pero la optimización de la ejecución del programa es vital.

7. FUTUROS PASOS

El proyecto de representación en 3D del cubicaje de los contenedores de Pladur, está prácticamente finalizado, solo falta incluir aquellos cambios que los trabajadores de Pladur consideren necesarios. En cambio, este proyecto realizado durante el CIC LAB 2021 pertenece a un proyecto más grande que incluye un motor de cálculo de soluciones óptimas para llenar el contenedor, el cual funciona con parámetros puramente físicos y puede ser mejorado con una componente económica, dando un valor real del coste de llenado.

Además, existe la posibilidad de crear con ayuda de la herramienta Unity un programa en Python de aprendizaje por refuerzo que optimice el llenado de los contenedores de forma más simple y rápida de lo que se ha conseguido hasta el momento con el actual motor de cálculo.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

ENDESA-OCR**DIGITALIZACIÓN DE SOLICITUDES CON OCR****Alumnos:**

Pablo Menéndez Ruiz de Azúa
 Ignacio Núñez Gómez
 Antonio Pardo de Santayana Navarro

1. INTRODUCCIÓN

El CIC LAB es el laboratorio de innovación de ICAI destinado a la investigación de temas relacionados con la industria 4.0 por parte de los alumnos de la Cátedra de Industria Conectada. En este espacio se organizan proyectos propuestos por las empresas patrono de la cátedra. A lo largo de estos dos meses se han realizado una serie de proyectos de gran importancia entre los que se incluye el que se presenta a continuación.

El proyecto de la herramienta del OCR viene de la mano de Endesa. Endesa es la empresa líder del sector eléctrico español y el segundo operador del mercado eléctrico en Portugal con influencia en otros mercados europeos. Cuenta con cerca de 10 mil empleados distribuidos en sus diversos departamentos. Uno de los objetivos de Endesa es el liderazgo de la transformación tecnológica del sector y para ello forma parte del grupo Enel. El grupo Enel comenzó como una utilizad energética, pero tras tomar contacto con la transformación tecnológica decidió enfocarse en el cambio, desde el análisis de las fuentes alternativas de energía como el hidrógeno verde hasta el uso de IA como herramienta del cambio en los negocios.

De la mentalidad de cambio de Endesa nace la búsqueda de nuevas tecnologías que puedan ser empleadas en la implementación de sistemas innovadores que los pongan al frente de la transformación hacia la industria 4.0. En esta búsqueda es donde nace el proyecto de la herramienta de Endesa-OCR encargado al CIC LAB.

El proyecto tiene como objetivo el diseño de una herramienta funcional para la digitalización de solicitudes basados en la introducción de información en contornos como los mostrados a continuación en la Ilustración 1. La herramienta se ha diseñado con el objetivo de poder digitalizar y agrupar los formularios referentes a uno de los servicios de Endesa.

DATOS DEL TITULAR	
Apellido1:	
Apellido 2:	
Nombre:	
N.I.F. o N.I.E.:	

Ilustración 1: Ejemplo de formulario

Para la extracción de la información de los formularios se ha optado por el uso de un OCR (reconocimiento óptico de caracteres) que se trata de un proceso dirigido a la digitalización de textos, los cuales identifican automáticamente símbolos o caracteres a partir de una imagen.

La herramienta se divide en cuatro grandes pasos realizados por dos equipos cuyo trabajo se realiza en paralelo. En primer lugar, se realiza el pre-procesado de la información obtenida del formulario puesto que este se recibe en formato pdf de un número específico de páginas. Se ha de pasar dicho pdf a formato png y tratar los contornos para maximizar la precisión de la herramienta del OCR. El segundo paso se trata de la utilización del algoritmo del OCR para la extracción de la información del texto de la imagen. Tras la extracción de la información se pasará al post-procesado. Este paso se encarga de intentar corregir los fallos de la lectura del OCR. Ejemplos claros del post-procesado es la corrección de caracteres reconocidos como números, como la lectura de 4NTONIO en vez de Antonio en campos de nombre o 6ZB2 en vez de 6782 en campos numéricos. En último lugar se ha desarrollado una herramienta de comprobación de la Información extraída por el OCR. El objetivo se trata de disponer de un operario que se encargue de verificar la información extraída.

Este proceso pretende minimizar el número de operarios destinados a la digitalización de documentos puesto que la mayor parte del trabajo se realizará por parte del OCR.

El proyecto de Endesa-OCR se separa en dos grupos. El primer grupo es el encargado del OCR y el segundo el encargado del diseño de la herramienta Web encargada del apartado de la revisión de la información extraída. Esta memoria hace referencia a la parte del OCR.

Esta memoria va a estar dividida en 4 partes. En primer lugar, hablaremos de los recursos utilizados para la realización de este proyecto. Seguidamente, hablaremos del pre-procesado de las páginas para que la lectura (el tercer apartado) sea más cómoda para nuestro OCR. Por último, hablaremos del procesado por el que pasa la información una vez ha sido leída.

Además, cada parte será diferente en función de la página con la que tratemos. Podemos diferenciar 3 tipos de página: la página 1, en la que se encuentran la mayoría de los datos personales; las páginas 2 y 4 en la que únicamente hay cajas en las que el usuario marca con una x y la página 5 que a la hora de extraer información es parecida a la 1 pero tiene diferentes matices.

DATOS DEL TITULAR DEL SUMINISTRO	
Apellido1:	
Apellido 2:	
Nombre:	
N.I.F. o N.I.E.:	
DATOS DEL PUNTO DE SUMINISTRO	
Dirección:	
Municipio:	
C.P.:	Provincia:
Código Universal de Punto de Suministro, CUPS (dato que figura en la factura o que puede ser solicitado al distribuidor) Si le resulta más cómodo, en lugar de indicar el CUPS puede enviarnos copia de una factura de electricidad del punto de suministro, en la que figure con claridad el dato del CUPS.	
CUPS:	
DATOS DE CONTACTO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN	
Nº teléfono 1:	Nº teléfono 2:
Correo electrónico:	
DIRECCIÓN POSTAL A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN	
Completar solo en caso de que sea diferente a la dirección del punto de suministro.	
Dirección:	
Municipio:	
C.P.:	Provincia:

Ilustración 2: Página 1 vacía

- ☐ Que el titular es una persona que NO forma parte de una unidad familiar². El nombre, apellidos y NIF/NIE se indican en la pág. nº 5 del presente documento.
- ☐ Que el titular forma parte de una unidad familiar². El nombre, apellidos y NIF/NIE de los miembros que componen la unidad familiar se indican en la pág. nº 5 del presente documento.

Ilustración 3: Cajas Página 2

Datos del titular/solicitante y de los miembros de la unidad familiar		N.I.F. o N.I.E.	Firma
Nombre			
Apellidos			
Nombre			
Apellidos			
Nombre			
Apellidos			
Nombre			
Apellidos			
Nombre			
Apellidos			
Nombre			
Apellidos			
Nombre			
Apellidos			
Nombre			
Apellidos			
Nombre			
Apellidos			

Ilustración 4: Página 5 vacía

2. RECURSOS

2.1. GitHub

Para el desarrollo de todo proyecto de *software* con cierta complejidad se requiere de una herramienta de control de versiones apropiada, se va a utilizar GitHub siendo la opción más popular y al contar ya con ciertos conocimientos y experiencia de la misma.

Permite la fácil creación de ramas, control de versiones de la principal, unión de ramas y control de acceso al repositorio por colaboradores. Facilitando así el desarrollo de la herramienta por los miembros del equipo y asegurando la seguridad e integridad de todo el código desarrollado.

2.2. Visual Studio Code

Como editor de código se utilizará también una opción muy popular: Visual Studio Code.

Se trata de una herramienta de edición de código fuente con multitud de integraciones y extensiones

que permiten su compatibilidad con cualquier lenguaje de programación y aplicaciones como GitHub. De esta última existe la opción de ver los cambios y realizar los comandos de Git pertinentes (fetch automático, add, commit, pull, push, merge...) desde la propia interfaz y terminal.

Además de por su integración con Git se ha escogido por sus características de editor como: capacidad de *debugging*, resaltador de sintaxis, detector de errores de sintaxis en tiempo real, instalación multiplataforma...

2.3. Python

La herramienta se va a diseñar en Python, el lenguaje de programación más popular en el mundo.

La mayor parte de proyectos de programación en CIC LAB lo han utilizado debido, no solo a su popularidad y código abierto, que permiten una gran cantidad de documentación disponible, sino también debido a su sintaxis sencilla, gran cantidad de librerías y versatilidad.

Para este proyecto hemos usado las siguientes librerías (además de los módulos de y dependencias de la herramienta de visualización):

- `os (os_sys)`: para selección de directorios, carpetas y/o archivos.
- `cv2 (opencv-python)`: para la manipulación de imágenes.
- `pdf2image`: para convertir los pdfs a imágenes.
- `numpy`: para crear vectores y matrices grandes multidimensionales, junto con una gran colección de funciones matemáticas de alto nivel.
- `pandas`: para la obtención de datos y manejo de los mismos en *datasets*.
- `pytesseract`: modulo principal del OCR que se explicará posteriormente. Esta librería nos permite utilizar la herramienta principal del proyecto (Tesseract) desde Python.

Todas estas librerías requieren de instalación en cualquier terminal de *conda* con el comando `pip`:

```
pip install os_sys
pip install opencv-python
pip install pdf2image
pip install numpy
pip install pandas
pip install pytesseract
```

2.4. Tesseract

Tesseract es la herramienta central de nuestro OCR. Tesseract es un motor de OCR con soporte para Unicode y la capacidad de reconocer más de 100 idiomas listos para usar. Se le puede enseñar a reconocer otros idiomas y es *software* libre. Esta herramienta nos permite leer caracteres de una imagen y pasarlo a formato "*string*" para que podamos manipular ese texto muy fácilmente.

La dificultad para instalar Tesseract depende del sistema operativo que tengas, en Linux es muy fácil mientras que en Windows es un poco más complicado. De todas formas, aquí os dejamos los links para instalarlo en cualquier sistema operativo:

- Linux: <https://parzibyte.me/blog/2019/05/18/instalar-tesseract-ocr-idioma-espanol-ubuntu/>
- Windows y Mac: <https://guides.library.illinois.edu/c.php?g=347520&p=4121425>
Además, en Windows o en Mac suele haber problemas con el Poppler, para solucionarlo instalar Poppler en vuestro ordenador:
 - o Link de descarga Windows: <https://blog.alivate.com.au/poppler-windows/>
 - o Link de descarga Mac: <https://brewinstall.org/install-poppler-on-mac-with-brew/>

Una vez que ya tenemos Tesseract instalado y en el Path, lo único que hay que hacer para utilizarlo en Python es instalarse la librería pytesseract, previamente mencionada, importarla y ya puedes ejecutar la herramienta de Tesseract desde Python.

2.5. Google Vision

El OCR de Tesseract funciona bien para documentos en los que la información se ve de forma nítida. Sin embargo, para documentos más complicados su rendimiento bajaba. Por este motivo, buscamos otras opciones de herramientas OCR y descubrimos la API de visión de Google.

La funcionalidad de esta herramienta es la misma que Tesseract, leer información de imágenes y pasarla a formato "string" para que sea más fácil de manipular. A diferencia de Tesseract, esta herramienta lee mucho mejor los documentos difíciles y tiene muchas más opciones como leer directamente un pdf que es algo que Tesseract no podía hacer. El único problema que tiene es que es de pago y por este motivo hicimos algunas pruebas con esta herramienta, pero dejamos parada esta vía.

Para poder utilizar la API desde el ordenador, únicamente hay que seguir los pasos que marcan en el siguiente enlace: <https://cloud.google.com/vision/docs/setup?hl=es-419>

Por último, para poder utilizarla desde Python hay que instalarse la librería de Google-vision.

```
pip install --upgrade google-cloud-vision
```

3. PRE-PROCESADO

Antes de leer la información del documento, debe pasar por una serie de procesos para facilitar el trabajo de lectura al OCR.

3.1. Convertir PDF a imagen

En primer lugar, utilizando la librería de pdf2image convertimos cada página de nuestro PDF de 6 páginas en una imagen para poder manipularla posteriormente. (función `convert_pdf_png` en `funciones.py`)

3.2. Ajustar imagen

Al analizar varios documentos, nos dimos cuenta de que no todos tenían la misma dimensión de píxeles debido a que algunos eran fotos. Al ser fotos la cantidad de píxeles es mucho mayor que un escaneo. Por lo tanto, decidimos poner todas las dimensiones de las imágenes iguales tomando como referencia el documento vacío. De esta manera, optimizamos el tiempo de ejecución y podemos trabajar mejor de manera aproximada ya que todas las imágenes tienen la misma dimensión. (función `ajusta_imagen` en `ajustar.py`)

3.3. Girar imagen

Después de analizar bastantes documentos nos encontramos con un pequeño problema que hacía que nuestras métricas bajaran bastante y era que había documentos que venían girados. Para ello, diseñamos una función (enderezar en girar.py) que nos permite centrar con bastante precisión los documentos que han sido girados.

3.4. Extraer los contornos

Una vez que tenemos la imagen centrada, nuestro objetivo es aislar la información para que el OCR lo pueda leer más fácil y nosotros podamos extraer la información campo a campo. Para ello, diseñamos una función que, prácticamente en todos los casos, nos selecciona los contornos en los que se encuentra la información. Esto lo hacemos basándonos en las líneas verticales y horizontales creando automáticamente rectángulos cerrados por campos. Es decir, habrá un rectángulo que será el nombre, otro el apellido y así sucesivamente.

Para la creación o extracción de contornos utilizamos dos funciones. La primera que es la de extraer contornos es la principal. Si esta funciona, es decir que coge el número de contornos esperado, no hay problema, y la herramienta sigue. Sin embargo, si por lo que sea no ha cogido el número de contornos esperado se pasa a otra función (mejora_contornos), que, jugando con las dimensiones de la hoja y con los contornos previamente seleccionados, extrae el número de contornos esperado.

Por favor, complete los datos en letras mayúsculas.

DATOS DEL TITULAR DEL SUMINISTRO

Apellido1:

Apellido 2:

Nombre:

N.I.F. o N.I.E.:

DATOS DEL PUNTO DE SUMINISTRO

Dirección:

Municipio:

C.P.: Provincia:

Código Universal de Punto de Suministro, CUPS (dato que figura en la factura o que puede ser solicitado al distribuidor) Si le resulta más cómodo, en lugar de indicar el CUPS puede enviarnos copia de una factura de electricidad del punto de suministro, en la que figure con claridad el dato del CUPS.

CUPS:

DATOS DE CONTACTO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN

Nº teléfono 1: Nº teléfono 2:

Correo electrónico:

DIRECCIÓN POSTAL A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN

Completar solo en caso de que sea diferente a la dirección del punto de suministro.

Dirección:

Municipio:

C.P.: Provincia:

Ilustración 5: Detección de contornos (azul)

Eliminar las líneas

Si intentamos leer directamente los contornos que nos han quedado del ap, nos encontramos con un pequeño problema que es que, si no eliminamos las líneas, el OCR muchas veces las interpreta como L, como I o como "|". Por lo tanto, el siguiente paso es eliminar las líneas de todo nuestro documento.

Las líneas las eliminamos después de haber extraído los contornos porque como hemos comentado previamente, para extraer los contornos de forma automática nos basamos en las líneas del documento.

[illegible]

Ilustración 6 : Documento en el que se han eliminado las líneas horizontales

3.5. Eliminar el ruido

Después de eliminar las líneas, hay veces que debido a que el documento no está muy nítido y no se borran las líneas del todo. Para solucionar este problema, aplicamos una función sobre el documento cuyo fin es el de eliminar esas partes de las líneas que no hemos conseguido eliminar de primeras (ruido).

Por favor, complete los datos en letras mayúsculas.

DATOS DEL TITULAR DEL SUMINISTRO

Apellido 1:

Apellido 2:

Nombre:

N.I.F. o N.I.E.:

DATOS DEL PUNTO DE SUMINISTRO

Dirección:

Municipio:

C.P.: Provincia:

Código Universal de Punto de Suministro. CUPS (dato que figura en la factura o que puede ser solicitado al distribuidor) Si le resulta más cómodo, en lugar de indicar el CUPS puede enviarnos copia de una factura de electricidad del punto de suministro, en la que figure con claridad el dato del CUPS.

CUPS: E S

DATOS DE CONTACTO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN

Nº teléfono 1: Nº teléfono 2:

Correo electrónico:

DIRECCIÓN POSTAL A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN

Completar solo en caso de que sea diferente a la dirección del punto de suministro.

Dirección:

Municipio:

C.P.: Provincia:

Ilustración 7: Documento sin líneas y sin ruido

3.6. Recortar el documento

Una vez que ya hemos quitado las líneas, aprovechando que ya tenemos las coordenadas y dimensiones de los contornos, recortamos la imagen basándonos en estas coordenadas y ya dejamos varios trozos sin líneas para que el OCR solo tenga que leer una palabra o frase en negro, en una misma línea y sobre fondo blanco.

JUÁREZ

Ilustración 8: Trozo recortado, limpio y listo para ser leído

4. LECTURA

Para las páginas 1 y 5, hemos utilizado las dos herramientas de OCR previamente mencionadas en el apartado de recursos (Tesseract y Google Vision). Para las páginas 2 y 4, hemos decidido utilizar un método llamado YOLO que explicaremos a continuación.

4.1. Tesseract

Para leer con Tesseract desde Python es muy sencillo. Una vez que ya tenemos la imagen como en la ilustración 8, lo único que tenemos que hacer es utilizar la librería de Tesseract para Python (pytesseract) y utilizar su función *image_to_string*. Esta función recibe dos argumentos: por un lado, la imagen que queremos que lea y, por el otro, la configuración que suele estar dividida en 3 partes. La primera parte es el idioma, la segunda el "engine mode" y la tercera el "page segmentation mode".

Por ejemplo, la configuración que nosotros utilizamos es la siguiente: "-l spa+eng+cat+foo -oem 3 -psm 11". Esto quiere decir que utilizamos como idiomas el español, el inglés, el catalán y el de entrenamiento, que lo explicaremos ahora más adelante. Importante saber que el orden de los idiomas afecta al resultado. Nosotros elegimos ese orden porque era el que nos daba mejores resultados, pero es posible que otro orden vaya mejor en algunos campos (se puede investigar de cara al futuro).

En este caso, estamos utilizando el 3 de "engine mode" y el 11 de "segmentation mode", igual porque eran los que mejores resultados daban. Es posible que la mejor opción sea el 2 de engine mode pero nuestra versión de tesseract no nos dejaba utilizarla (también estaría bien que se investigara en esto de cara al futuro).

En el siguiente enlace os dejamos una página en la que explica cada uno de los números en los dos modos: <https://ai-facets.org/tesseract-ocr-best-practices/>

Hay que destacar que para leer los campos que queremos que tengan una longitud determinada como son los teléfonos, el DNI, el código postal y el CUPS, aplicamos un método de lectura diferente. Para estos casos, no utilizamos la función *image_to_string* sino que utilizamos *image_to_boxes*. Esta función nos permite sacar más datos de la lectura y nosotros lo utilizamos para dividir la palabra en cajas.

Por ejemplo, en el caso de DNI, queremos que los 8 primeros sean números. Para ello, creamos 9 intervalos, en los 8 primeros tiene que haber solo números, por lo que si hay una letra o bien se ignora si hay otro número en su intervalo o sino se cambia por un número que se asemeje (la O por un 0, por ejemplo). Este método lo aplicamos para todos los campos, ya sea que hay que imponer que sea un número o una letra.

4.1.1. Entrenamiento de Tesseract

Para mejorar el rendimiento de Tesseract, pensamos que podíamos entrenar la red neuronal sobre la que funciona Tesseract. Nuestra hipótesis inicial era que iba a ser especialmente útil con los documentos escritos a mano, con los cuales el Tesseract tenía más problemas en leer. Para nosotros fue bastante costoso el entrenarlo, por este motivo vamos a hacer una pequeña guía por si se intenta entrenar de nuevo en el futuro.

Para ello necesitamos un ordenador con Linux o tener CygWin descargado en nuestro Windows, ya que la herramienta a utilizar lo requiere. Antes de comenzar debemos clonar el repositorio de tesstrain, que se puede encontrar en <https://github.com/tesseract-ocr/tesstrain> y es una parte fundamental del entrenamiento, ya que el proceso a seguir se encuentra descrito en el propio repositorio. También hemos de descargarnos los datos de nuestro lenguaje de origen (en nuestro caso el castellano), que se pueden encontrar en https://github.com/tesseract-ocr/tessdata_best, que viene en un fichero ".traineddata".

A continuación, escogemos un nombre para nuestro nuevo "idioma", y si no se especifica ninguno se asume que el nuevo nombre es foo, que es el nombre que vamos a asumir de aquí en adelante. A partir de aquí es muy importante seguir la estructura de carpetas que se especifica en el readme del repositorio tesstrain. El fichero .traineddata se ha de guardar en la carpeta de tessdata (que se encontrara donde se haya descargado el propio Tesseract).

La primera parte del proceso de entrenamiento es preparar el ground truth, que consiste en un conjunto de imágenes y documentos de texto por parejas. Cada imagen contiene un contorno con un nombre, apellido o cualquier dato del documento, y el documento de texto contiene lo que debería de leer el Tesseract. Las imágenes pueden ser .tiff o .png, y han de llevar el mismo nombre que su documento de texto correspondiente, el documento acabando siempre con el sufijo .gt.txt. Se muestran ejemplos a continuación.

Nosotros para crear este ground truth utilizamos un *script* de Python, encontrado en el notebook ExcelATxt.ipynb, que se apoya sobre el Excel InfoDocSolicitud.xlsx, que contiene la información de varios documentos transcritos a ojo. Aun con el *script*, también es necesario revisar a mano los resultados, ya que utiliza un sistema de extracción de contornos algo defectuoso. Se recomienda un mínimo de 100 parejas imagen-texto, nosotros utilizamos unas 200. Todo esto ha de meterse en una carpeta llamada /foo_ground_truth que a su vez va dentro de la carpeta data, en el repositorio de tesstrain. La ruta completa quedaría como /tesstrain/data/foo_ground_truth.

Una vez terminada la preparación del ground truth tenemos que preparar los comandos de make. Para ello descargamos primero varias librerías desde un terminal de CygWin o la línea de comandos de Linux. El comando para ejecutar es: `sudo apt-get install libicu-dev libpango1.0-dev libcairo2-dev`. Después deberíamos ser capaces de ejecutar el comando make, que escrito tal cual en la línea de comandos debería devolver una serie de objetivos posibles.

Llegados a este punto solo nos faltaría cambiar algunas cosas del Makefile, un fichero que se encuentra en la propia carpeta del Tesseract. En las líneas 11 y 12 hay que ajustar las definiciones para LOCAL, y PATH, acorde con nuestra estructura de carpetas. En la línea 19 se especifica el nombre de nuestro modelo, en la 40 se indica el lenguaje de origen (para nosotros spa). En la línea 62 hay que definir el número de iteraciones, para nosotros el mejor resultado lo solíamos obtener a las 3.000/4.000 iteraciones, antes de tener problemas de overfitting. También se puede cambiar el *learning rate* en las

líneas 71 y 73, dependiendo de si estamos realizando un entrenamiento *fine tuning* o desde cero, pero no es necesario.

Llegados a este punto podemos comenzar el entrenamiento, ejecutando el comando `make training` en el terminal. Si está todo en orden, el entrenamiento debería comenzar, mostrando *checkpoints* cada 100 iteraciones, con el siguiente formato: `At iteration 100/100/100, Mean rms=4.514%, delta=19.089%, char train=96.314%, word train=100%, skip ratio=0%, New best char error=96.314 wrote checkpoint`. Aquí nos interesa el *char error*, que define la calidad de nuestro modelo, y cada vez que se alcanza un resultado más bajo se guarda un *checkpoint*, siendo la gracia que al acabar el entrenamiento se queda con la iteración que menos *char error* tenga.

Una vez terminada la sesión de entrenamiento, aparecerá un fichero llamado `foo.traineddata` en la carpeta de *data*. Este fichero se lleva a la carpeta de *tessdata*, y ya actúa como su propio idioma.

Para utilizarlo, cuando en Python escribamos la config para la lectura escribimos `spa+eng+foo` en vez de solo `spa+eng`.

Tras varias sesiones de entrenamiento conseguimos un modelo que consideramos que era el mejor posible dadas las circunstancias, pero el impacto fue algo decepcionante. Conseguimos una mejora de un 1-2% sobre las métricas en su momento, lo cual tiene sentido ya que el *fine tuning* de Tesseract funciona mejor para una fuente nueva, y al final en los documentos a mano cada usuario tiene su caligrafía.

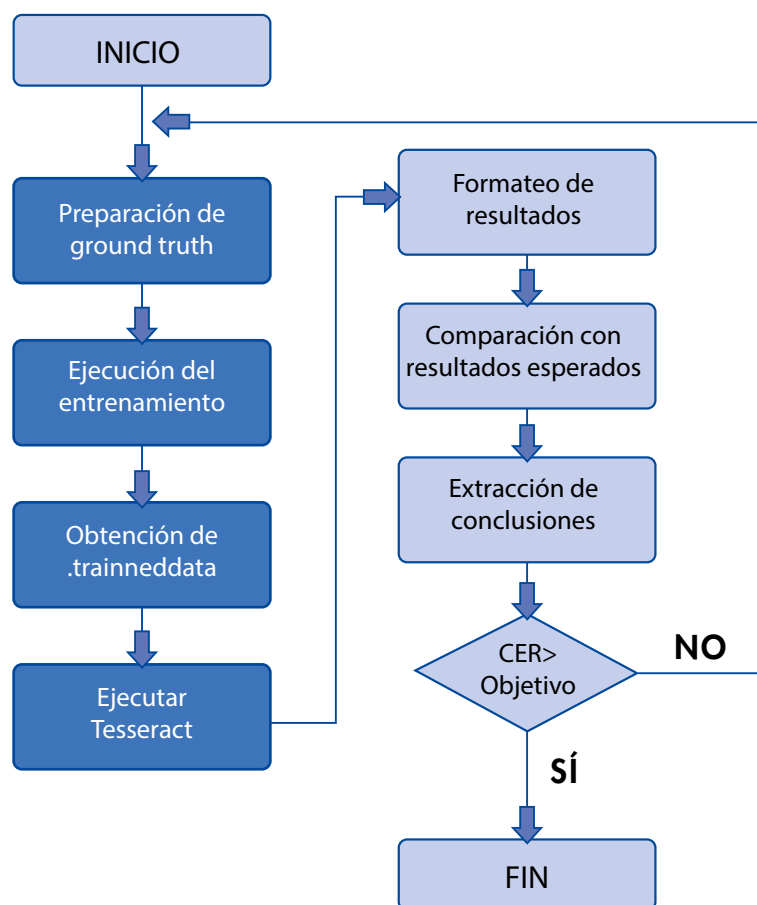


Ilustración 9: Diagrama del entrenamiento de Tesseract

4.2. Google Vision

Para leer utilizando la API de Google Vision, nos encontramos de primeras con un pequeño problema y es que no la puedes utilizar para leer un trozo debido a que no lo lee bien. Esta API está diseñada para leer una página entera y a partir de ahí sacar los datos de las coordenadas, las palabras creando sus propias cajas. En definitiva, si usábamos la API de Google Vision no necesitábamos encontrar los contornos ni recortar nada del documento.

Por lo tanto, para extraer la información utilizando el API de Google Vision tuvimos que utilizar una estrategia diferente. Lo que hicimos fue una búsqueda por palabras clave. Por ejemplo, si estoy buscando el campo del nombre, como todos los documentos tienen el campo nombre llamado "Nombre", lo que hicimos fue buscar esta palabra, obtener sus coordenadas y más o menos en su misma línea, pero más a la derecha encontraríamos la información que buscamos. Aplicamos este proceso para todos los campos y el resultado fue bastante bueno.

Aunque esta vía nos dio muy buenos resultados, era más sencilla y tenía todavía potencial de mejora, decidimos no seguir y centrarnos en el OCR de Tesseract porque el de Google era de pago.

4.3. YOLO (Páginas 2 y 4)

Otro de los principales retos del proyecto era la extracción de información de las páginas 2 y 4, que contenían cajitas que podían estar marcadas o no, conteniendo información acerca del documento. En específico, la página 2 consta de 7 cajas y la 4 de 4. En este proceso buscábamos unos niveles de éxito muy altos, ya que no debería ser un trabajo difícil, pero demostró no ser tan simples.

Tuvimos muchas ideas diferentes de cómo sacar la información, desde utilizar la extracción de contornos utilizada para las otras páginas, pero ahora con cajas más pequeñas, hasta utilizar la táctica que aplicábamos con el Google Vision de buscar palabras clave. Sin embargo, de ninguna forma conseguíamos pasar del 85% en un trabajo que debería ser cercano al 90% ya que no hay que identificar las letras, solo hay que saber si lo han marcado o no.

Finalmente, decidimos complicarnos un poco la vida y utilizar una red neuronal YOLO (You only look once), a la cual había que entrenar para que con una lectura rápida del documento localice las cajas. En principio puede parecer matar moscas a cañonazos, pero acabo funcionando a la perfección. En todo el proceso nos guió Ignacio de Rodrigo, que había trabajado previamente con la herramienta.

El proceso comienza cogiendo un mínimo de 100 documentos (nosotros trabajamos con unos 240) e indicando mediante la herramienta disponible en <https://www.makesense.ai/>. Es un proceso algo largo y monótono, pero acabó mereciendo la pena. Una vez exportada la información en formato YOLO, podemos pasar al entrenamiento. Para ello se sigue paso por paso una guía del IIT, que realizó el compañero que nos ayudó Ignacio de Rodrigo.

Resumidamente, para entrenarlo utilizamos un cuaderno en Google Colab en el que ya están escritos los comandos a seguir. Además, necesitaremos guardar los resultados obtenidos de la herramienta de makesense en una carpeta de drive y no mucho más.

Una vez terminado el entrenamiento (puede durar unas 24 horas), ya podemos utilizar el YOLO para leer los documentos e identificar si las cajas han sido seleccionadas o no.

☐ Que el titular es una persona que NO forma parte de una unidad familiar². El nombre, apellidos y NIF/NIE se indican en la pág. nº 5 del presente documento.

☒ Que el titular forma parte de una unidad familiar². El nombre, apellidos y NIF/NIE de los miembros que componen la unidad familiar se indican en la pág. nº 5 del presente documento.

2. Se entiende por unidad familiar, a los solos efectos de la aplicación del bono social en la factura de energía eléctrica, la constituida conforme a lo dispuesto en la Ley 35/2006, de 28 de noviembre, del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas y de modificación parcial de las leyes de los Impuestos sobre Sociedades, sobre la Renta de no Residentes y sobre el Patrimonio, cualquiera de las siguientes modalidades:

2.1 La integrada por los cónyuges no separados legalmente y, si los hubiera:

a) Los hijos menores, con excepción de los que, con el consentimiento de los padres, vivan independientes de éstos.

b) Los hijos mayores de edad incapacitados judicialmente sujetos a patria potestad prorrogada o rehabilitada.

2.2 En los casos de separación legal, o cuando no existiera vínculo matrimonial, la formada por el padre o la madre y todos los hijos que convivan con uno u otro y que reúnan los requisitos o que se refiera la regla 1.8

Nadie podrá formar parte de dos unidades familiares al mismo tiempo.

FAMILIAS NUMEROSAS

Por favor, marque en su caso:

☐ Que está en posesión del título de familia numerosa vigente.

En este caso, la comprobación de los requisitos de renta a través de la aplicación telemática únicamente se llevará a cabo para la comprobación de la condición de consumidor vulnerable severo. **Marque solo una de las dos opciones siguientes:**

☐ Solicito que se comprueben los requisitos de renta para ser consumidor vulnerable severo (requiere prestar autorización en el apartado correspondiente en la pág. 4 para la comprobación de los requisitos de renta).

☒ No quiero que se comprueben los requisitos de renta para ser consumidor vulnerable severo, y en consecuencia sólo solicito el bono social por mi condición de consumidor vulnerable. En este caso, no se requiere prestar autorización en el apartado correspondiente más adelante para la comprobación de los requisitos de renta.

PENSIONISTAS

Por favor, marque en su caso:

☒ Que el solicitante, y todos los miembros que tienen ingresos en la unidad familiar, son pensionistas del Sistema de la Seguridad Social por jubilación o incapacidad permanente, y perciben por ello la cuantía mínima vigente en cada momento para dichas clases de pensiones.

CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES

Por favor, marque en su caso:

☒ Que se cumple alguna de las circunstancias especiales (*) que se recogen en el artículo 3.3 del Real Decreto 897/2017, de 6 de octubre por el que se regula la figura del consumidor vulnerable, el bono social y otras medidas de protección para los consumidores domésticos de energía eléctrica (discapacidad mayor o igual al 33%/víctima de violencia de género/víctima de terrorismo/dependencia reconocida grado II o III/familias monoparentales).

Ilustración 10: Detección de cuadros por parte del YOLO (cuadros verdes)

5. POS-PROCESADO

El pos-procesado depende del campo que estemos evaluando. El pos-procesado de un nombre, como es obvio, va a ser diferente al pos-procesado de un código postal.

En las páginas 2 y 4 no es necesario pos-procesado, lo único que tenemos cuidado es con que nos salgan dos opciones marcadas que son incompatibles. Por ejemplo, si ha marcado que pertenece a una familia numerosa, luego no puede marcar que no pertenece a una familia numerosa.

En la página 5, a diferencia de en la 1 que hay muchos campos diferentes, hay solo nombre, apellidos y DNI. El nombre y el DNI, van a pasar un pos-procesado igual al de la página 1. Sin embargo, los apellidos de la página 5 pasarán por un pos-procesado diferente ya que son dos apellidos juntos mientras que en la página 1 son dos apellidos pero cada uno en su campo.

5.1. Nombres, apellidos (página 1), municipios y provincias

Para realizar el pos-procesado de los nombres, en primer lugar se descarga del Instituto Nacional de Estadística (INE) una base de datos que contenga todos los nombres de hombres de España, y una que contenga todos los nombres de mujeres. De esas bases de datos (ficheros .csv) se genera una lista de todos los nombres de España con una frecuencia mayor a 20.

Con la función *comparar_nombre* se compara la similitud entre el nombre extraído por el OCR con cada nombre de la base de datos. De cada comparación, se obtiene un ratio de similitud utilizando la función *SequenceMatcher*. Se actualizará el nombre extraído por el OCR y se cambiará por el nombre con el que mayor similitud tiene en el INE (siempre y cuando el ratio de esta similitud sea mayor a 0,7). En caso de que el nombre extraído no sea lo suficiente similar con ningún nombre del INE (es decir, que todos los ratios de similitud estén por debajo de 0,7) no se modificará el nombre leído.

```
def comparar_nombre(nombre):
    valido = True
    nombre = quitar_tildes(nombre)
    nombre = nombre.upper()
    if nombre in nombres_dict:
        #print("Nombre encontrado")
        return nombres_dict[nombre], valido, 1
    ratios = {}
    for i in range(len(nombres)):
        ratios[nombres_sinesp[i]] = sm(None, nombre, nombres_sinesp[i].upper()).ratio()
    sugerencia = max(ratios, key=ratios.get)
    #print("Recomendación encontrada con similitud de " + str(round(ratios[sugerencia]*100,2)) + "%")
    if ratios[sugerencia]>0.7:
        return nombres_dict[sugerencia], valido, ratios[sugerencia]
    else:
        #print("Nombre no encontrado")
        valido = False
        return nombre, valido, ratios[sugerencia]
```

Ilustración 11: Función *comparar_nombre*

El procedimiento para realizar el posprocesado de los apellidos y de los municipios es idéntico. El de las provincias es muy parecido, con la única excepción de que el listado de provincias se realiza a mano, en vez de obtenerlo a partir de una base de datos del INE.

5.2. NIF o NIE

Para poder realizar el posprocesado del NIF/NIE, el OCR ha debido leer 9 caracteres y el último carácter ha de ser una letra. En caso contrario, no se puede cambiar el NIF leído. Si cumple ambas condiciones, se fuerza a que la letra sea la correcta.

En el caso del NIF, se divide el número por 23, y dependiendo del resto que dé esa división se le otorgará al final una letra u otra. En el caso del NIE, que contiene una letra como primer carácter (X, Y o Z), 7 dígitos y una letra de nuevo, se divide un número de 8 dígitos por 23. Ese número se genera concatenando 0&7 dígitos del NIE si la primera letra es una X, 1&7 dígitos si es una Y ó 2&7 dígitos si es una Z. Dependiendo del resto de la división por 23 la última letra es una u otra. La relación entre el resto de la división y la letra que lleva el NIF/NIE se muestra en la siguiente tabla:

RESTO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
LETRA	T	R	W	A	G	M	Y	F	P	D	X	B

RESTO	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
LETRA	N	J	Z	S	Q	V	H	L	C	K	E

Ilustración 12: Forma de extraer la letra del DNI

De esta forma, si los dígitos se leen bien, se forzará a que la letra extraída del NIF/NIE sea la correcta.

5.3. Código Postal

Para aplicar pos-procesado al código postal, éste ha de estar formado por 5 dígitos cuyos 2 primeros valgan menos de 53. Como cada provincia española tiene un código postal asignado, se forzará a que los dos primeros dígitos del CP sean los correctos en función de la provincia leída, siempre que ésta se haya extraído correctamente.

5.4. CUPS

El CUPS debe tener una longitud de 22 caracteres. En caso contrario no se le aplicará pos- procesado. La estructura del CUPS es la siguiente:

“ES0”+[id_distribuidora(4 dígitos)]+11 dígitos+2 letras+OF

Por tanto, en caso de que el CUPS extraído tenga 22 caracteres, se forzará a que empiece por “ES0” y que termine por “OF”. Si entre los caracteres 3 y 18 se encuentra una letra, o entre los caracteres 18 y 20 un número, la estructura del CUPS leído será errónea. Además, únicamente hay 6 tipos de ID de distribuidoras, por lo que si el id_distribuidora leído no es válido, también se obtiene un mensaje de error en la interfaz de salida.

5.5. Teléfonos y correo electrónico

El posprocesado aplicado tanto a los números de teléfono como al correo electrónico únicamente indica si la información extraída por el OCR es válida o no. En el caso del número de teléfono, para que sea válido debe contener 9 dígitos únicamente, y en el caso del correo se hace uso de la función `validate_email()`, que devuelve un 1 en caso de que sea válido y un 0 en caso de que no lo sea.

```
def comparar_email(correo):
    valido = validate_email(correo, verify=False)
    if valido==True:
        ratio=1
    else:
        ratio=0
    return correo, valido, ratio
```

Ilustración 13: Función de comparar email

5.6. Apellidos (página 5)

Como hemos comentado anteriormente en la página 1 los apellidos vienen de la siguiente forma:

- Apellido 1: Menéndez
- Apellido 2: Ruiz de Azúa

De esta forma, aplicando nuestro pos-procesado, buscas el apellido que más se asemeje en la lista y ya está.

En la página 5, los apellidos vienen de la siguiente manera:

- Apellidos: Menéndez Ruiz de Azúa

Por lo tanto, aquí se nos genera un problema. Este apellido no lo podemos pasar directamente a nuestra lista porque seguramente no lo encontrará o nos devolverá algo que no tiene nada que ver. Tampoco podemos dividir por el primer espacio porque a lo mejor el primer apellido es compuesto. Así que aquí tuvimos un pequeño reto que resolvimos de la siguiente manera.

Primero, lo que hacemos es dividir por espacios. En este caso, lo que nos quedaría sería esta lista: [Menéndez, Ruiz, de, Azúa].

Después, iteramos nuestra lista para obtener todas las combinaciones:

- , Menéndez Ruiz de Azúa
- Menéndez, Ruiz de Azúa
- Menéndez Ruiz, de Azúa
- Menéndez Ruiz de, Azúa

Cada pareja de opciones la pasamos por un comparador de apellidos parecido al de la página 1, sacando ratios. Una vez tenemos los ratios de cada uno, hacemos la media.

Finalmente, la pareja que tenga una media más alta será la elegida. En este caso la que tendrá una media más alta será Menéndez, Ruiz de Azúa.

6. MÉTRICAS

6.1. Página 1

Para poder evaluar el progreso que se ha ido realizando con cada cambio que se ha hecho en la elaboración del preprocesado, analizamos unas métricas que comparan el resultado esperado con el resultado obtenido. Así, podemos analizar de qué forma el porcentaje de error es el mínimo, y qué cambios hay que realizar para que la lectura del Tesseract sea la óptima.

En primer lugar, tenemos que disponer de un Ground Truth (guardado como *InfoDocSolicitud*). Este consiste en un Excel en el que está la información de 150 documentos de Endesa. Por tanto, esta hoja Excel contiene todos los datos de los distintos campos de esos 150 documentos.

Haciendo uso de Tesseract (o Google) y de las técnicas de preprocesado aplicadas, se extrae la información leída de cada documento. El nombre del documento analizado se busca en el campo de "Nombre original" de *InfoDocSolicitud*. Así, cuando ambos coinciden, se puede comparar la información leída por el OCR con la información real que se esperaba que se extrajera. A continuación, se genera un *dataframe* de la librería *Pandas*. Este *dataframe* contiene una fila con la información esperada, directamente obtenida de *InfoDocSolicitud*. La siguiente fila del *dataframe* contiene la información leída, y la última fila contiene los porcentajes de comparación entre lo esperado y lo obtenido de cada campo del documento.

La comparación se realiza con la función *SequenceMatcher* de la librería *difflib*. La similitud entre dos cadenas de caracteres (*strings*) *S1* y *S2* se realiza calculando el número de caracteres en común entre ambos *strings* (K_m en la fórmula). Se multiplica por 2, y esto se divide por el número total de caracteres de los dos *strings*. De esa forma, la métrica que determina la similitud entre ambos caracteres siempre se encuentra entre 0 y 1, siendo el 0 una similitud nula entre lo leído y lo esperado y un 1 una lectura perfecta del OCR. Para sacar el porcentaje, se multiplica la comparación por 100.

$$D_{ro} = \frac{2K_m}{|S_1| + |S_2|}$$

Ilustración 14: Algoritmo aplicado en la función *SequenceMatcher*

Cada *dataframe* con las métricas de comparación que se obtienen tras la lectura de cada documento se va almacenando en otro *dataframe* en el que se almacenan las métricas de todos los documentos que se hayan analizado, para finalmente convertir ese *dataframe* en un documento Excel y tener en él las métricas de todos los documentos. Por razones estéticas, le otorgamos un color a la celda en la que aparecen las métricas en función del nivel de similitud que haya entre lo esperado y lo obtenido.

Para poder evaluar el progreso realizado y estudiar qué documentos y qué campos se leen mejor y cuáles peor, se sacan medias de las métricas de cada documento y medias de las métricas de cada campo. Además, a cada documento se le otorga un nivel de dificultad para ser leído. De esa forma, se puede sacar una media total de todas las métricas, una media de las métricas según los campos y finalmente una media de los documentos según su dificultad de lectura.

Con toda esta información se pueden sacar distintas gráficas para poder evaluar los cambios realizados tanto en el preprocesado como en el posprocesado. Sirve a modo de retroalimentación, para poder ver qué cambios se pueden hacer para que el OCR pueda ir leyendo mejor los documentos, qué tipo de campos lee mejor y cuáles peor, cómo mejorar el preprocesado y posprocesado, y poder centrarnos en aquellos documentos o campos que se lean peor.

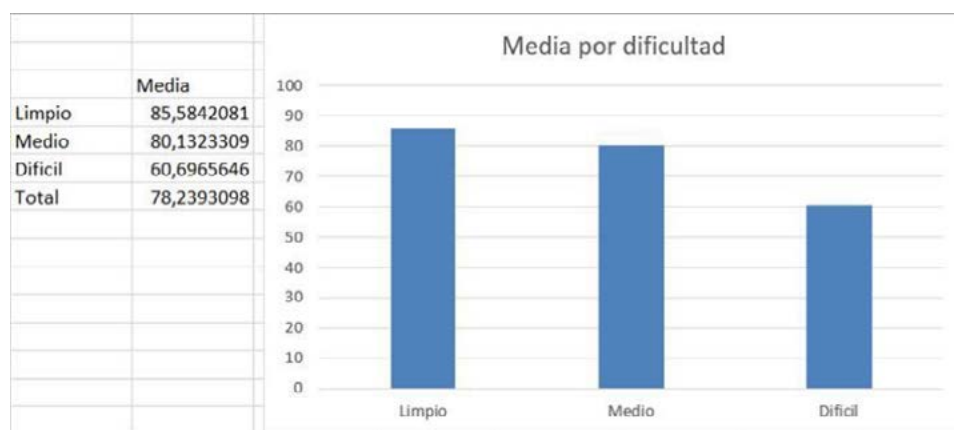


Ilustración 15: Media según el nivel de dificultad

Como era de esperar, la media de las métricas de los documentos difíciles de leer (60,7%) es bastante más baja que la de los documentos limpios (85,6%) y medios (80,1%). No obstante, la media total final (a 16 de julio) es de un 78%, cuando la primera semana de junio estaba en torno a un 63%.

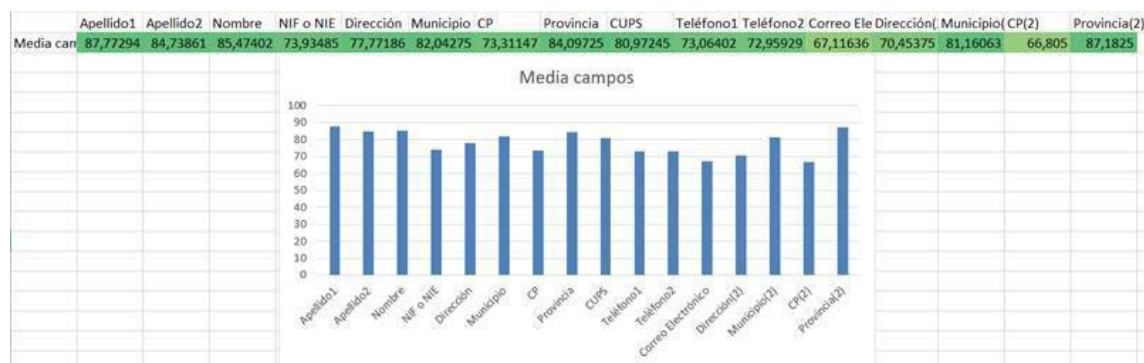


Ilustración 16: Media por campos de la página 1

Como se puede observar, hay ciertos campos que se leen bastante mejor que otros. Esto se debe a que hay algunos campos a los que se le pueden aplicar técnicas de posprocesado sofisticadas, mientras que en otros el posprocesado que se aplica a la información extraída no modifica la información leída, sino que simplemente indica si dicha información es válida o no, como ocurre con el correo electrónico. En los apellidos, por ejemplo, si se lee un apellido que no existe, pero se parece lo suficiente a uno que sí que lo haga, elaboramos un posprocesado para que el apellido leído se sustituya por el apellido existente similar al leído. De ahí que haya campos con métricas notablemente más altas que otras. Entre la lectura del campo Nombre y el campo Correo Electrónico, por ejemplo, hay una diferencia entre las medias de sus métricas de un 18,3%.

6.2. Páginas 2 y 4

En estas páginas no hay mucho que comentar, el YOLO funciona perfectamente y solo falla en un documento que por algún motivo que no entendíamos no tenía cajas, se habían borrado. Por lo tanto, al sacar métricas de estas páginas obtenemos un 99% de acierto.

6.3. Página 5

La forma de extraer las métricas de la página 5 es igual a la de la página 1, lo único que cambia es que en la página 5 solo hay 3 campos distintos.

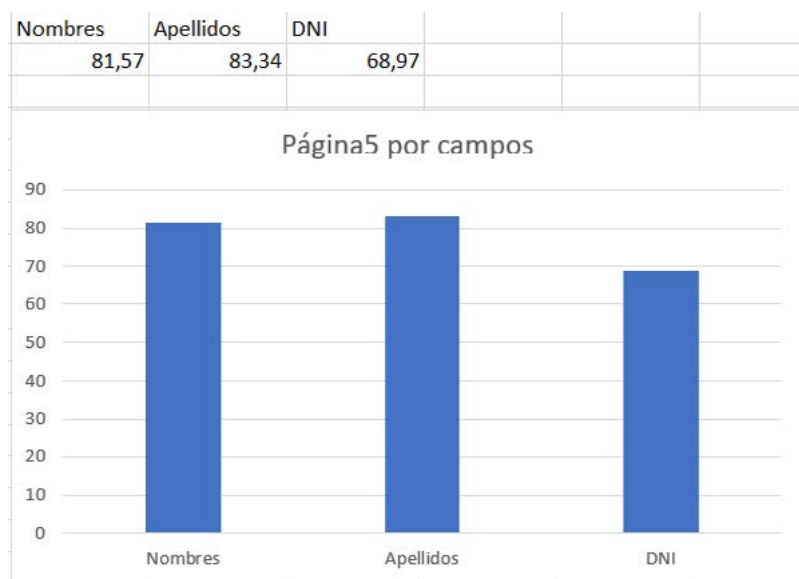


Ilustración 17: Métricas página 5 por campos

7. CONCLUSIONES Y MEJORAS FUTURAS

Cuando llegamos al último día de trabajo, miramos atrás para ver cómo estaba el proyecto cuando empezamos a principio de junio y, la verdad, es que estamos satisfechos con el trabajo realizado. Si evaluamos las métricas, cuando empezamos estábamos en poco más de 60% de acierto y al terminar tenemos casi un 80%. No solo eso, sino que cuando empezamos solo trabajábamos con la página 1 y, al terminar, conseguimos leer la información de la página 5 con buenos porcentajes y la de las páginas 2 y 4 prácticamente con un porcentaje del 100%.

Además, al terminar estas semanas, conseguimos nuestro objetivo de tener un producto mínimo viable, que funcionaba bastante bien y con una herramienta de visualización magnífica. Esto último no habría sido posible sin la ayuda de Diego Bergara Bretón y Alfonso Sanz Giner, dos colaboradores del IIT, que gracias a sus conocimientos de dash (librería de Python para hacer páginas web) hicieron una herramienta de visualización que ha sido fundamental para lograr nuestro objetivo.

Sin embargo, el proyecto no está ni mucho menos terminado porque, aunque hemos avanzado bastante, creemos que todavía hay cosas que pulir y mejorar para que la eficacia de la herramienta aumente. Ahora nos gustaría presentar algunas mejoras que creemos que se podrían mirar de cara al futuro.

En primer lugar, una de las cosas que pensamos, pero al final decidimos no hacerla por tiempo fue que antes de empezar a detectar contornos, después de girar la página, detecte el contorno de la hoja. Esto se nos ocurrió porque hay documentos en los que la hoja escaneada ocupa más que el propio documento, dejando al documento más pequeño y provocando que sea más difícil de leer para el OCR.

Estuvimos buscando una forma para que el OCR leyera solo letras en campos como el nombre o solo números en campos como el teléfono. Sin embargo, no encontramos ninguna forma en Tesseract que fuera efectiva.

Otro punto sobre el que se puede investigar es los campos en los que el porcentaje es bastante bajo como el DNI o el correo para ver si hay alguna forma en la que se puedan mejorar estos porcentajes.

Otro problema que nos hemos encontrado a menudo y que hemos conseguido solucionar parcialmente es el del ruido. Al eliminar las líneas, tenemos después que eliminar el ruido. Sin embargo, dependiendo del documento hay que quitar mayor o menor cantidad de ruido. Por lo tanto, no se puede trabajar con un parámetro fijo, que es lo que nosotros hacemos. Si se encontrara una forma de que la eliminación del ruido se adaptara a cada documento, los resultados serían prometedores.

Por último, algunas mejoras que ya hemos comentado, que estaría bien probar a ver si suben las métricas. Por ejemplo, habría que echar un ojo al entrenamiento a ver si hay algo que nosotros hemos pasado por alto y que hace que Tesseract mejore. Además, recomendamos probar el orden de los idiomas al utilizar Tesseract e investigar por qué el orden afecta a la forma en la que lo lee.

En definitiva, hemos disfrutado mucho trabajando en este proyecto y viendo como crecía, algunos desde el inicio, como Pablo, y otros desde que únicamente tenía un 60% de acierto en la página 1, como Ignacio y Antonio. Además, estamos muy contentos con los resultados obtenidos y con haber conseguido sacar adelante un producto mínimo viable que esperamos que vaya creciendo y, finalmente, se utilice en Endesa y podamos ayudar a mucha gente con él.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

PROSEGUR CASH**PROTOTIPO DE LA RAMPA ALINEADORA DE BILLETES PROSEGUR****Alumnos:**

Javier Colinas Cano

Álvaro Fernández Blázquez

1. INTRODUCCIÓN, MOTIVACIÓN Y OBJETIVO

El trabajo de la beca de este año consiste en llevar a cabo el desarrollo del primer prototipo de las ideas ganadoras del IV Hackathon organizado por la cátedra en colaboración con Prosegur. El problema a resolver es alisar y amontonar en montones los billetes procedentes de la bolsa o canvas de la *Smart Cash* que tienen los clientes. Además, la idea tenía que competir contra un operario que realiza la tarea en 10 minutos, es decir, que la solución tenía que ser igual de rápida o más que el operario y más barata. Actualmente una persona se encarga de vaciar la bolsa y disponerla en fajos que puedan ser procesados por una máquina de conteo. Sin embargo, se trata de una labor tediosa y poco eficiente.

Figura 1. *Smart Cash* de Prosegur con su canvas

La solución ganadora a este problema fue la que se ve en la siguiente figura. Esta beca se va a centrar en el desarrollo de la fase de alineación de billetes y amontonado (la rampa). Las fases de recepción de billetes y desdoblado se encarga la Ingeniería MC2 INGENIERÍA Y SISTEMAS S.L.



Figura 2. Prototipo para desdoblar y amontonar billetes

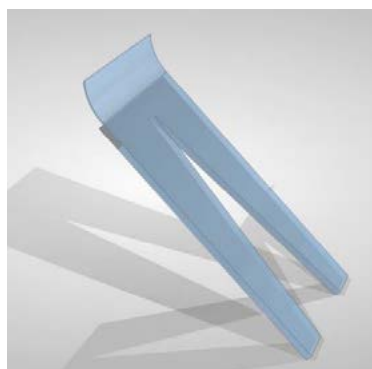


Figura 3. Rampa de alineado de billetes

Como ingenieros es una gran motivación el poder aplicar a la realidad una idea creada por el equipo. También, resolver los problemas que van surgiendo a lo largo del proyecto y poder aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera.

2. MÉTODO PARA RESOLVER EL PROBLEMA PROPUESTO Y RESULTADOS OBTENIDOS

En febrero comenzó el diseño de la rampa alineadora de billetes. Esta debía cumplir la correcta alineación y apilamiento de billetes desordenados y desdoblados en un motón. Para simular los billetes se han utilizado folios DIN A4 y gramaje de 80 g. Han sido 35 billetes en total, 5 por cada valor de euro 5€, 10€, 20€, 50€, 100€, 200€ y 500€. No se han simulado dólares ya que su tamaño es similar al de 500€.

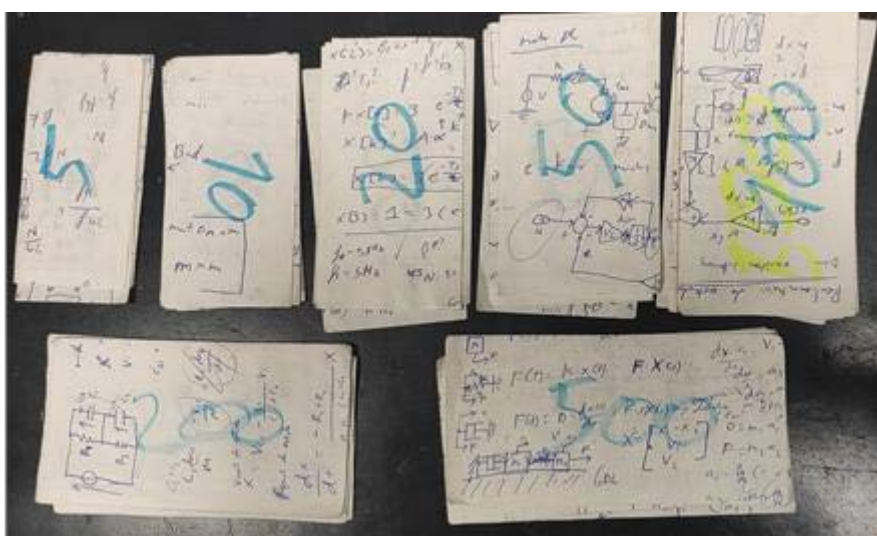


Figura 4. Billetes simulados

Una vez simulados los billetes con los que se iban a realizar las pruebas, se diseñó la rampa por la que iban a pasar los billetes. La rampa es una lámina de acero con dos paredes a los laterales, el giro de las paredes no es de 90° para que los billetes no se queden horizontalmente en la rampa bloqueados y tiene un redondeo de 1 cm por el mismo motivo. La rampa se estrecha según avanza, comienza con 20 cm (más largo que un billete de 500€ horizontal) y acaba con 8,5 cm (más ancho que el billete de 500€ en vertical y más corto que el billete de 5€).

El funcionamiento de esta rampa es alinear los billetes por estrechamiento ya que ningún billete cabe horizontalmente por la salida. Para mover los billetes, la rampa esta inclinada y utiliza la gravedad, como la chapa es de acero los billetes se deslizan con facilidad. Para determinar este ángulo se realizó un estudio del ángulo de la rampa que optimizaba la cantidad de billetes que salían en vertical sin atorarse. En todos los ensayos se aplicó una vibración manual para mejorar los resultados y evitar que se quedasen atascados los billetes.

Se realizó un barrido de ángulos de 25° a 60° con saltos de 5° tirando los 35 billetes simulados de manera aleatoria (orientación y velocidad) 5 veces para cada ángulo. Como los billetes, debido a su peso, salían volando se colocó un techo de folio para obligarlos a permanecer en la rampa. En todos los ensayos se recogió la información de los billetes que se alinearon y de los billetes que se quedaron atascados. El ángulo con mayor ratio de billetes obtenidos entre billetes atascados y por lo tanto con mejores resultados fue el de 50°.



Figura 5. Ensayo de la rampa inicial



Figura 6. Ensayo de la rampa con cobertura

A la vista de que no se consiguió el 100% de éxito se realizaron más pruebas como poner vibración manual o un mecanismo que hiciese rotar a los billetes atascados horizontalmente para ponerlos en vertical. La primera opción aumentó la cantidad de billetes que caían correctamente, ya que, había algunos billetes que estaban en posición vertical, pero se quedaban acumulados en la rampa porque los billetes en horizontal los atascaban y se frenaban con ellos mismos. Con la vibración se pensó que los billetes en horizontal, al hacerlos chocar violentamente contra las paredes de la rampa, y al ser una de estas inclinada, iba a ponerlos en vertical. Esto no ocurrió aplicando una vibración manual. La segunda opción conseguía que todos los billetes atascados saliesen, pero no implantamos esta idea por la dificultad del mecanismo y todavía quedaba probar la máquina vibratoria del taller de ICAI.

Durante las semanas de estos ensayos, la rampa se oxidó al ser de acero al carbono y no llevar ningún tipo de pintura o tratamiento, esto provoca que los billetes deslicen peor por la rampa y como el único impulso que tienen es la gravedad hubo que aplicar ciertas medidas. Se ha realizado un estudio en el cual se ha contemplado usar acero al carbono con pintura, aluminio y acero inoxidable. En el primero caso, la pintura habría que aplicarla cada vez que se desgastase para evitar la oxidación, además tendría que ser una pintura que tuviese un coeficiente de rozamiento bajo para que los billetes deslicen fácilmente. La segunda opción, aunque resultase caro el soldar algunas piezas de aluminio, no tendría el mantenimiento debido a la oxidación y tiene un precio similar al acero ya que ha subido el precio de este último. La tercera opción, el acero inoxidable, resulta más cara que la segunda tanto el material como trabajar con él, y por ello se descarta. El siguiente prototipo de la rampa será de aluminio.

En sustitución a los folios con cinta puestos a modo de cubierta se ha utilizado una plancha de policarbonato, ya que se puede cortar, es termoplástico, poco flexible y transparente. Se descartó el uso de metacrilato porque no era tan sencillo de trabajar.

Conocido el ángulo óptimo de la rampa con respecto al suelo para que salgan los billetes bien, se diseñaron los soportes en 3D que sujetaban la rampa a 50° con el programa SolidWorks. Estos soportes se situaban encima de una plancha de madera de 5 mm unidos mediante tornillos autorroscantes, estos no pueden atravesar la madera ya que estarían rayando a la mesa vibratoria.

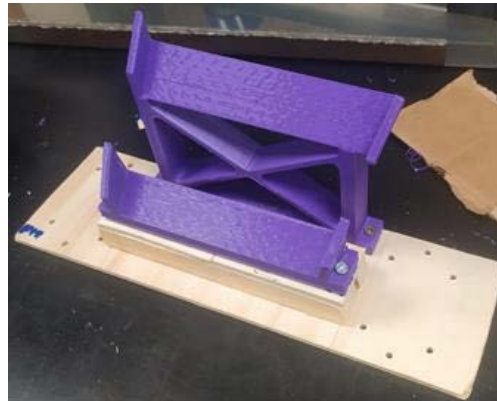


Figura 7. Soporte de la rampa

La mesa que se utilizó fue de la empresa QUANSER modelo Shake Table I-40. Esta mesa consta de dos partes, una fija que es la que se apoya el suelo y otra es la que vibra en un solo eje, a lo largo de la tabla. La parte móvil tiene 14 agujeros de rosca M4 para fijar cualquier estructura por lo que el soporte irá fijo a 12 de estos 14 agujeros, ya que 2 los tapa con tornillos, y arandelas M4.



Figura 8. Mesa vibratoria "Shake Table I-40"



Figura 9. Soporte atornillado en la mesa vibratoria

A la mesa se le puede ajustar la amplitud y la frecuencia por lo que se realizaron pruebas para determinar esos dos factores. Las pruebas eran similares a las que se realizaron para obtener el ángulo óptimo, se realizaron 5 tiradas de 35 billetes y se contaron los billetes que se quedaban atrapados y los que salían. Los resultados obtenidos fueron que no era necesaria aplicar la vibración ya que en ningún caso se aseguraba el 100% de éxito. Así que se buscaron nuevas formas de alinear los billetes en la rampa.

Ideas que surgieron:

- Incorporar una cinta a una de las paredes para desatascar los billetes horizontales.
- Añadir otro modulo que obligue a los billetes a salir tumbados.
- Hacer un pasillo que alinee los billetes y se estreche.

Surgieron otras ideas que fueron descartadas o que convergían en las 3 anteriores. Se comenzó con el desarrollo de la segunda idea, debido a que se probó a lanzar los billetes tumbados entrando por el lateral de la rampa y no se quedó atascado ningún billete.

Primero se colocaron 3 cartones que serían las 2 paredes y el suelo del módulo, para separarlo se utilizaron tornillos y tuercas para que la distancia entre las paredes de cartón fuese uniforme. Los tornillos se distribuyeron de tal manera que estuviesen a una altura menor que el largo del billete y separados entre sí 5 cm. Es decir, que habría 7 tornillos que cada uno se encargaría de tumbar a un billete. Para que cuando llegasen los billetes en cualquier orientación se chocaran con los tornillos y se tumbaran y avanzasen por el pasillo. Los resultados de esta idea no fueron satisfactorios ya que los billetes no se comportan como solidos rígidos (se quedaban pillados) y estábamos aplicando el mismo concepto que con la rampa de metal que ya teníamos, es decir el estrechamiento.



Figura 10. Rampa vertical por estrechamiento

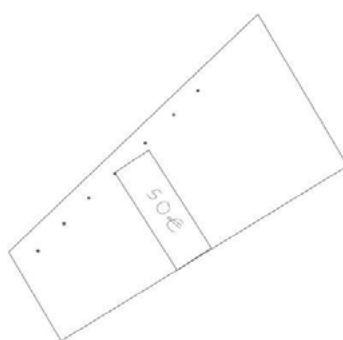


Figura 11. Billete atascado entre suelo y tornillo

Se probó la primera idea, que consistía en implementar una cinta que reorientase los billetes atascados. Se compró una cinta con la longitud de la pared, pero al meterla quedó demasiado justa por lo que no se podía mover. Para solucionarlo se recortó la pared, pero aún así requería mucho trabajo ya que la cinta tenía mucho agarre. Además, la rampa con la que se estaba trabajando no estaba hecha con gran precisión por lo que en algunos puntos la cinta tocaba con el techo y el suelo y en otros puntos tenía holgura, dichas holguras eran sitios idóneos donde los billetes podían quedarse atascados. Se añadió

cinta americana donde apoyaba la cinta para que deslizase mejor, pero, aunque deslizase el éxito no era del 100%. El equipo se dio cuenta de los problemas que daría la cinta, que era muy fácil para los billetes quedarse entre la cinta y el suelo o el techo. Por lo que se tendría que bajar el suelo y subir el techo donde se situaba la cinta para evitar estos problemas. Así que se decidió parar esta idea porque continuar implicaría no poder probar otras ideas al modificar demasiado la rampa como la siguiente.

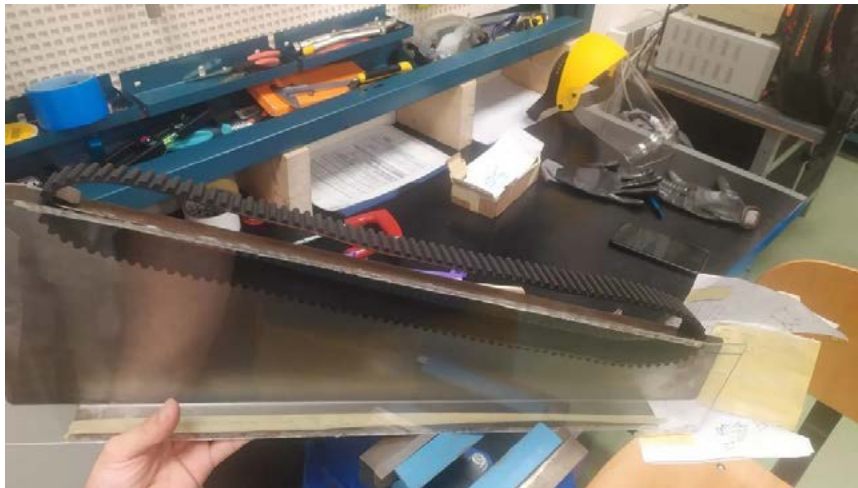


Figura 12. Cinta insertada en la rampa

Se volvió a la idea del cartón, pero esta vez se le añadió una inclinación de tal manera que el centro de gravedad caiga fuera de sus apoyos, pierda el equilibrio y se tumbe. Para colocar este pasillo adecuadamente se realizaron unos soportes que tuviesen la inclinación necesaria del pasillo. Esta inclinación la determina el billete que más difícil pierde el equilibrio que es el de 5€ siendo estos $27,3^\circ$. También hizo falta un puente que conectase la rampa y el pasillo, al principio se usaron folios y cinta adhesiva, pero después se cambiaría para facilitar el montaje.



Figura 13. Rampa vertical con apoyos

Durante los ensayos de esta idea, el equipo identificó varios problemas relacionados con los atascos de los billetes entre el techo y las paredes de la rampa, en la salida de la rampa, y en la entrada, salida y paso del pasillo de cartón. Para solucionarlo se les añadieron a las zonas donde se frenaban los billetes cinta de carroceros para que no se encajaran en los huecos. Además, se añadió cinta americana para que deslizasen mejor los billetes en el cartón, ya que el cartón los agarra mucho y eso provocaba que los billetes se quedaran pillados. También se añadió inclinación tanto al pasillo como a la rampa para que fuesen los billetes más rápidos, pero se comprobó que si se añadía demasiada inclinación cogen demasiada inercia los billetes y suceden eventos que no son controlables con mayor frecuencia (por ejemplo, un billete se ponía a girar y a la salida del pasillo sobrevolaba el puente y no caía en la rampa).



Figura 14. Rampa con cinta de carroceros

Por otra parte, se pensó en cómo realizar la recepción de los billetes. Los aspectos que se contemplaron fueron los siguientes:

- Que estuviese unida a la rampa una caja que reciba los billetes o que volasen los billetes hasta la caja siendo la caja independiente de la rampa.
- Que fuese una caja que recibiera todos los billetes o que se recogieran en varias cajas.
- Hacer un pasillo que alinee los billetes y se estreche.

Primero se desarrolló una caja con las 4 paredes verticales y unida a la rampa. Se añadieron modificaciones a la caja para que los billetes cayeran dentro de la caja bien dispuestos. Se le pusieron paredes justo a la salida de la rampa para guiarla a la caja y también un escalón para evitar que el billete se clavara en la caja. Además, se determinó que era más sencillo tener varias cajas porque en el caso de tener una muy grande y se llenara para que no fuese necesario tener a un operario disponible para recoger las cajas.

Después, se probó a que los billetes volasen a la caja. Para ello se realizó un cambio de inclinación en el final de la rampa con el fin de evitar que los billetes se quedaran pillados como comprobamos anteriormente. El cambio de inclinación se realizó con un material compuesto de: folios, palillos de madera, termofusible y cinta de carroceros. Y se añadieron paredes de folio para orientar a los billetes a entrar correctamente en la caja. La caja que se diseñó también poseía paredes verticales, pero se le incorporaron más paredes inclinadas de tal manera que tenía la forma de embudo. Se añadieron más paredes para conseguir que los billetes entrasen en la caja. Y se puso cinta de carroceros en aquellos huecos donde el billete se podía quedar pillado.



Figura 15. Caja solidaria (izq) e independiente (dch) a la rampa

Al final, al pasillo de cartón se le incorporó un folio en forma de U para evitar que los billetes se pillasen en el pasillo. Se conectó también con un folio en forma de U el pasillo y la rampa. Anteriormente, se utilizó para probar varios trozos de folios y cinta, a los cuales se les fue añadiendo parches de folio y más cinta. Pero se acabó simplificando a un folio para que fuese más modular.

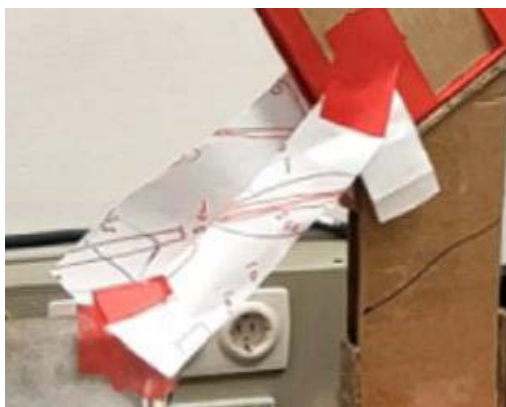


Figura 16. Pasillo de conexión entre rampas V1



Figura 17. Pasillo de conexión entre rampas V2

Con las últimas modificaciones del prototipo (los cambios de inclinación, los folios en forma de U, el salto, etc.) se comprobó que se obtenían el 100% casi siempre o se quedaba atascado 1 billete. Para evitar estos posibles problemas se continuó con la idea mencionada al principio de incorporar un mecanismo que girase los billetes atorados en la rampa. Para ello se agujereó una guía en el policarbonato para colocar un vástago, pero sucedería el mismo problema que con la cinta y era que se quedarían pillados entre el vástago y el suelo. Se pensó en coger una chapa y realizarle un carril a la chapa, es decir, hacerle un hueco que este más profundo que el suelo de la chapa. Esta idea no se llevó a cabo ya que no se poseían las herramientas adecuadas. La otra opción era poner un falso suelo con un hueco en el lateral hecho de cartón cubierto de papel aluminio para que puedan deslizarse los billetes.

Actualmente se simula con un palo que pasa por el carril a través de la guía del policarbonato, pero se planea que se sustituya por un motor, un vástago y 2 finales de carrera para automatizarlo. Con esta incorporación se ha conseguido un éxito del 100% siempre.



Figura 18. Rampa con doble fondo y vástago

La Ingeniería MC2 ha estado trabajando también en un prototipo de alineamiento de billetes. Esta empresa tiene desarrollada la parte de recepción de billetes y alineamiento, los billetes salen en vertical y tumbados, después son propulsados mediante un sistema de cuerdas y almacenados en una caja. El problema era que al lanzarlos se dejaban en caída libre y los billetes hacían lo que querían, y por tanto el alineamiento realizado anteriormente no había servido para nada. Además, cuando los billetes llegaban a la caja, si llegaban varios al mismo tiempo no se apilaban correctamente. También tenían un gran problema y era que el sistema de cuerdas que impulsa los billetes ocasionalmente dañaba los billetes dejándolos inservibles.

El prototipo creado por este equipo tenía otros problemas. Al caer a la caja si son varios billetes los que caen es difícil que caigan todos bien y que con el uso de la gravedad solo no se puede obtener un flujo de 10 billetes por segundo.

Por estos problemas que surgieron del análisis de las máquinas se realizó una tormenta de ideas para intentar solventarlos. Se pensó en usar aire, magnetismo, gravedad, un sensor capacitivo, impulsarlos mediante cuerdas, etc. A la ingeniería le gustó la idea de usar el vástago, pero se decantó por implementarlo con una cinta de transmisión a pesar de los problemas que presentaba la cinta cuando ya fue probada en ICAI.

3. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

Se han conseguido resolver la mayoría de los problemas. Los billetes se alinean y se apilan con ayuda de la gravedad gracias al diseño creado por el equipo. Pero aun así hay un par de problemas que solucionar: que vayan muchos billetes juntos en la entrada de la rampa y que se forme una cadena de billetes que impida el avance de los billetes hacia la caja. Se han pensado posibles soluciones que no se han probado con los materiales adecuados, y son las siguientes:

- La solución del primer problema es añadir un poco más de inclinación a las rampas para que los billetes se aceleren más y no se frenen por fricción con las paredes laterales, sustituir los materiales de cartón y folios por los materiales de los que deberían estar hechos (aluminio) e incorporar correctamente el sistema de la guía y el vástago que impide que los billetes se queden atascados en la rampa.
- La solución del segundo problema consiste en incorporar una vibración en el eje longitudinal de la caja para forzar que los billetes se acumulen en la caja. Otra opción es colocar una cinta en la salida la cuál posee numerosas varillas alineadas con un muelle que permite guiar a los billetes hasta el final de la cinta para acumularlos y al tener el muelle, la varilla se puede contraer pasando por debajo del montón de billetes volviendo a arrastrar otros nuevos.

El problema de la idea desarrollada en este proyecto es que con el uso de la gravedad los billetes salen a una velocidad de 1 billete/segundo aproximadamente y se requiere una velocidad de 10 billetes/segundo. Para ello lo ideal sería unir el proyecto desarrollado por este equipo con la ingeniería, ya que con su máquina impulsan los billetes para llegar a obtener una mayor relación de billetes/segundo.

Para futuros proyectos o se continúa desarrollando esta idea con la ingeniería o se realiza una máquina en la que entren los billetes de la bolsa y salgan impulsados para acoplar el proyecto desarrollado en este trabajo.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

PROSEGUR IoT ENERGY HARVESTING**ENERGYHARVESTING FOR IoT DEVICES
(RECOLECCIÓN DE ENERGÍA PARA DISPOSITIVOS IoT)****Alumnos:**

Miguel Alzate Viñas
Andrés Ortiz Hernando

1. ACUMULADORES DE ENERGÍA PARA ALIMENTAR EL INTERNET DE LAS COSAS

Ante la creciente demanda de sensores inalámbricos autónomos para el Internet de la Cosas (IoT), la cual se considera una de las tecnologías que reinarán en los próximos años siendo capaz de conectar 27.000 millones de dispositivos, el papel de las fuentes de almacenamiento de energía resulta cada vez de mayor importancia [1]. Es por ello que resulta crítico que se realice un gran avance en las tecnologías de recolección y almacenamiento de microenergía [2].

Mediante la tecnología de recolección y almacenamiento se pretende alimentar estos dispositivos a partir de diversas fuentes, como puede ser la térmica, lumínica y mecánica, entre otras. El reemplazo de la tecnología de las baterías convencionales, a parte de incrementar exponencialmente la autonomía de los sensores, tendrá un impacto medioambiental significativamente positivo durante todo el ciclo de vida de estos dispositivos, ya que reduce tanto la cantidad de baterías que terminan en los vertederos como la de materias primas extraídas.

Puesto que los dispositivos IoT son empleados en instalaciones industriales, médicas y demás instalaciones críticas, el hecho de que su funcionamiento no se vea interrumpido también es de gran importancia. Esto revela la necesidad de un procedimiento complementario a la recolección de energía: el almacenamiento.

Principales objetivos de la recolección de energía [3]:

- Eliminar los cables de alimentación de red.
- Eliminar o reducir el uso de baterías.
- Aumentar la vida útil del aparato.
- Mantener o incrementar la funcionalidad.
- Permitir una fácil instalación.
- Reducir costes operacionales.
- Reducir residuos.
- Reducir mantenimiento.

Mediante la llegada de los procesos 4.0 junto con el internet de las cosas y gracias a la correspondiente digitalización y sensórica que se requiere se podrá predecir fallos en sistemas y en procesos productivos aportando grandes ventajas competitivas. A nivel de máquinas, las inspecciones se pueden dar de manera visual y junto con instrumentos poder analizar su funcionamiento, estando actualmente en un entorno en el que se realiza mediante la monitorización a tiempo real. Sin embargo, se está tendiendo a tener actualmente a tener las diversas máquinas conectadas, con información en la nube y llevándola al operario, mediante, por ejemplo, relojes inteligentes.

El proceso para diseñar cualquier dispositivo IoT basado en la recolección de energía se resume en cuatro puntos esenciales:

1. Determinar la disponibilidad del cosechador de energía del entorno.
2. Naturaleza del transductor asociado al recolector.
3. Estimación del consumo de energía del dispositivo y la generación necesaria para su funcionamiento.
4. Gestión de la energía.

La estructura de un dispositivo *energy harvesting* viene dada por la siguiente figura.

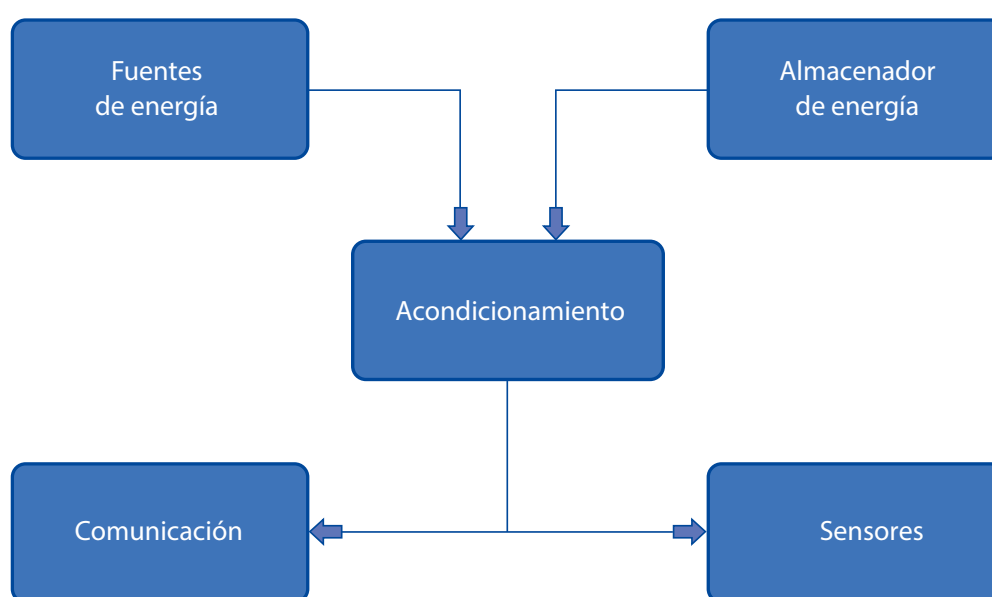


Ilustración 1: Estructura *energy harvesting*

Resulta de especial importancia que todos los módulos sean compatibles entre sí. Es decir, no deben superarse los límites de tensión y corriente de entrada del módulo de acondicionamiento. De la misma manera las tensiones y corrientes de salida del sistema de acondicionamiento deben ser suficientes para alimentar correctamente a los sensores y módulos de comunicación.

El hecho de que cada módulo tenga unas especificaciones técnicas propias complica la elección de cada uno de los módulos, ya que resulta difícil realizar una elección de componentes que permita el correcto funcionamiento de todo el sistema de *energy harvesting*.

La función de cada uno de estos módulos es la siguiente:

- **Fuentes de alimentación.** Capta energía del medio y la transforma en energía útil, corrientes eléctricas. Como se verá más adelante, existen fuentes de alimentación que emplean energía de distinto tipo y generan corrientes eléctricas DC o AC con distintos valores de corriente y tensión.
- **Almacenador de energía.** Su función es la de almacenar energía eléctrica para ser desplegada en el momento que se requiera. Existen varias opciones que cumplan con este papel: baterías, condensadores y supercondensadores. Las dos últimas son las más adecuadas para *Energy harvesting* ya que tienen gran capacidad para entregar grandes potencias y no se requiere

almacenar grandes cantidades de energía debido a la naturaleza de bajo consumo de los dispositivos *Energy harvesting*.

- **Comunicación.** Son los módulos encargados de recibir y/o transmitir información en forma de radiación electromagnética empleando determinadas redes y protocolos de comunicación.
- **Sensores.** Miden el valor de una determinada magnitud (temperatura, presión, etc).
- **Acondicionamiento.** Las corrientes eléctricas generadas por las fuentes de alimentación requieren ser acondicionadas para alimentar a los módulos de comunicación y sensores y para cargar correctamente el almacenador de energía. Generalmente, esto consiste en transformar la corriente eléctrica en DC, si no lo fuera ya, y adecuar las tensiones y corrientes a valores aceptables para el almacenador, sensores y módulos de comunicación. Además, este módulo suele incorporar un sistema que limita la carga y descarga del almacenador imponiendo un rango de tensión en el que puede operar dicho almacenador. De esta manera se alarga la vida útil del módulo de almacenamiento y evita estropearse debido a una sobrealimentación.

2. TECNOLOGÍAS DE RECOLECCIÓN DE ENERGÍA

Las distintas fuentes de energía son muy variadas, expandiéndose con el avance de la tecnología y su optimización a lo largo del tiempo al aprovechamiento de cualquier tipo de energía residual o no explotada hasta el momento. En muchas de las ocasiones la energía se encuentra de forma natural en el entorno, por tanto, se puede hacer referencia que son fuentes de tipo medioambiental, por otro lado, se encuentran la energía que se recolecta como fruto de otro proceso, un ejemplo de ello son la recolección del tipo mecánicas o térmicas. Dentro de este último se podría situar la energía recolectada del propio ser humano, ya que se puede obtener energía tanto con el movimiento de nuestro cuerpo como con la diferencia de temperatura de nuestro cuerpo con el exterior. A continuación, se expondrá se detallarán las distintas fuentes de energía, focalizando principalmente en aquellas más maduras y que se encuentran actualmente activas. También se expondrá la recolección de energía híbrida (hybrid energy harvesting), ya que, en ocasiones, puesto que son fuentes esporádicas y de baja potencia, se puede requerir que el sistema se alimente por más de una fuente de energía.

2.1. Recolección de energía ambiental

2.1.1. Solar:

La potencia solar es, con diferencia, la fuente de energía más abundante en la tierra con aproximadamente 173x10¹² kW superando por mucho a la demanda de energía actual de todo el planeta. Esta energía se almacena de manera helio-química (fotosíntesis), helio-eléctrica (convertidores fotovoltaicos) y helio-térmica (producción de energía térmica).

Esta energía es la más madura, siendo la energía más utilizada en los sistemas electrónicos alimentados mediante *Energy harvesting*, ya que presenta la mayor densidad de potencia de las tecnologías disponibles (reduciéndose considerablemente en interiores, recolectando energía a partir de luz artificial). El nivel de energía recolectado depende de diversos factores, entre los que se encuentra la fuente de luz concreta como se ha mencionado anteriormente, recolectando una mayor energía de la luz solar que de una luz artificial debido a sus diferencias en espectro electromagnético (la luz solar contiene un componente mucho mayor en la región infrarroja, sin embargo, la iluminación interior se limita a la región visible). Otras características que repercuten en la energía captada son la intensidad de la luz, la temperatura y el ángulo de incidencia [4].

El proceso helio-eléctrico está basado en el efecto fotoeléctrico, que consiste en la generación de una corriente continua (DC) a partir de la incidencia de los rayos de sol en dos materiales conductores disímiles.

1. Mono-cristalinos:

Las superficies de estas celdas fotovoltaicas son homogéneas, de color azul oscuro o gris oscuro. La sensibilidad espectral se encuentra en el rango de los 300nm (cerca de ultravioleta) hasta 1100nm (cerca de infrarrojos). Debido a este gran rango pueden ser utilizadas tanto para aplicaciones en ambientes exteriores como interiores. A pesar de ser la tecnología más cara, no contiene impurezas y su eficiencia no se reduce con el tiempo de uso. Esta eficiencia de conversión de potencia se encuentra entre el 15 y el 22%.

2. Poli-cristalinos:

Los generadores de este tipo se encuentran principalmente en exteriores y tienen un rango de la sensibilidad espectral que va desde los 500nm hasta 1100nm. Tienen un coste medio y una eficiencia de conversión de potencia del 13%.

3. Silicona amorfa:

Trabaja en el rango espectral de 300nm a 600nm. Por tanto, como no se pueden aprovechar de la luz natural, son utilizadas principalmente en interiores en dispositivos como calculadoras. Ofrecen la eficiencia más baja, un 5%, y por tanto se usan en dispositivos de muy bajo consumo. Estas sufren una degradación de eficiencia con el tiempo, como los policristalinos [5].

Para aumentar las prestaciones de la energía recolectada se pueden colocar los paneles tanto en serie como en paralelo:

1. Configuración en serie:

Se incrementa la potencia debido a que se dobla la tensión manteniendo constante la corriente. Un aumento de la tensión de entrada puede aumentar la eficiencia, en contraposición, si se cubre solamente un panel reduce la corriente total.

2. Configuración en paralelo:

Se incrementa la potencia debido a que se dobla la corriente manteniendo constante la tensión. Puede provocar una reducción de la eficiencia, sin embargo, si se cubre un panel solo se reduce la corriente de dicho panel.

La corriente que recorre la célula viene determinada por la ecuación del diodo ideal:

$$I = I_{ph} - I_d, \quad I_d = I_0(e^{qV/KT} - 1)$$

Por lo tanto, la siguiente ecuación da la tensión de circuito abierto de la célula, V_{oc} :

$$V_{oc} = \frac{KT}{q} \ln \left(1 + \frac{I_{ph}}{I_0} \right)$$

La eficiencia de la conversión de energía de la célula fotovoltaica está definida por el cociente de la máxima potencia eléctrica obtenida P_p partido de la potencia lumínica incidente.

$$\eta = \frac{P_p}{P_i} = \frac{V_p I_p}{P_i} = \frac{f f_{sc} V_{oc}}{P_i}$$

De acuerdo con [6] un sensor alimentado por energía solar está compuesto por:

A- Recolector de energía solar:

- a. Paneles solares.
- b. Boost converter.
- c. Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).
- d. Algoritmos de predicción de energía.
- e. Batería y/o supercondensador.

B- Sensor inalámbrico:

- a. Unidad de sensor.
- b. Unidad de procesado (microcontrolador).
- c. Unidad de comunicación (Transmisor y receptor).

2.1.2. Radiofrecuencia:

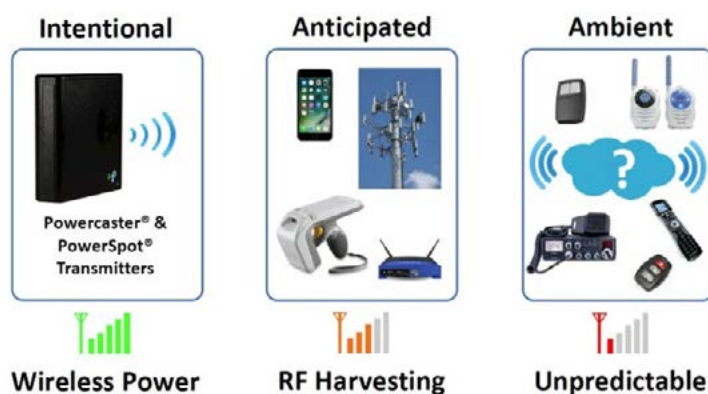
La radiofrecuencia (RF) es la fuente de alimentación que aprovecha la energía de la radiación electromagnética que se encuentra el rango de frecuencias comprendido entre 20kHz y 300GHz [7].

El proceso de recolección de energía a partir de RF se fundamenta en que las ondas radioeléctricas llegan a una antena y provocan una diferencia de potencial cambiante en toda su longitud. Esa diferencia de potencial hace que los portadores de carga (electrones) se muevan a lo largo de la antena en un intento de igualar el campo. Posteriormente, es el circuito integrado de RF a DC el cual es capaz de capturar la energía del movimiento de esos portadores de carga para que la energía se almacena temporalmente en un condensador y luego se utilice para crear la diferencia de potencial deseada en la carga [8].

Las radiofrecuencias desempeñan un papel fundamental en la actualidad como portador de información, (telecomunicaciones e internet). Sin embargo, estas ondas de RF resultan también útiles en los sistemas inalámbricos ya que también funcionan como una fuente de energía para alimentar dispositivos de detección del entorno las comunicaciones inalámbricas y el procesamiento de señales [9].

Es posible crear un circuito que realice la conversión de RF a DC para un subsistema a partir de componentes fácilmente disponibles. Utilizando diversas combinaciones de antenas, bobinas de carga inalámbrica, PMIC (circuitos integrados de gestión de la energía), chips receptores de energía, transmisores de excitación, etc., se pueden obtener sistemas capaces de cosechar energía a partir de la RF. En la actualidad, los circuitos integrados específicamente diseñados para la conversión de RF a DC son algo escasos, siendo Powercast y E-Peas las únicas soluciones comerciales actuales.

En el caso del transmisor Powercast opera en la banda ISM (Industrial, Científica y Médica) de 902-928 MHz junto con algunos servicios de radiolocalización y radioaficionados.



La capacidad de obtener energía de distintas ondas residuales que se encuentren en el ambiente lo convierte en una fuente de energía muy abundante, sobre todo en zonas residenciales. Entre las fuentes de este tipo de energía pueden encontrarse el Internet, la radio o las señales de retransmisión multimedia entre otras, encontrándose por tanto un espectro muy variado de 3kHz a 300GHz. Sin embargo, a pesar de ser abundante y no depender de horarios, algunas de sus desventajas son su baja densidad de potencia absorbida siendo esta además inversamente proporcional a la distancia de la onda. Por otro lado, otro desafío a los que se enfrenta los sistemas de rectenna (antena junto con rectificador) es el diseño de una red emparejamiento robusta, dado que la impedancia del diodo varía según la frecuencia y las potencias de entrada. Siendo deseable que la red de adaptación de impedancia sea de banda ancha para que la respuesta en frecuencia permanezca plana durante una amplia gama de frecuencias.

Como se puede observar en la Ilustración 2, la máxima potencia en un experimento en Londres se puede obtener con las bandas:

- GSM900 (BTx)
- GSM1800 (BTx)
- DTV (during switch over)
- 3G (BTx)

Band	Frequencies (MHz)	Average S_{BA} (nW/cm ²)	Maximum S_{BA} (nW/cm ²)
DTV (during switch over)	470–610	0.89	460
GSM900 (MTx)	880–915	0.45	39
GSM900 (BTx)	925–960	36	1930
GSM1800 (MTx)	1710–1785	0.5	20
GSM1800 (BTx)	1805–1880	84	6390
3G (MTx)	1920–1980	0.46	66
3G (BTx)	2110–2170	12	240
Wi-Fi	2400–2500	0.18	6

Ilustración 2: Densidad de potencia según frecuencias

Esta diferencia de la densidad de potencia de RF en el espectro se debe principalmente a la gran diferencia en la potencia de transmisión y la densidad de despliegue de las distintas instalaciones de RF. Debido a esta no uniformidad de potencia RF en amplio espectro, se necesita seleccionar una banda de frecuencia adecuada para realizar la recolección de energía dependiendo de las restricciones y zona que se encuentre el dispositivo.

A pesar de que la banda de televisión es la que presenta la mayor densidad energética no siempre conviene seleccionar esta banda para alimentar un dispositivo *Energy harvesting* de RF, ya que la distancia del dispositivo a la fuente emisora de la señal resulta fundamental. Un posible caso podría ser el de que el dispositivo esté en el centro de una ciudad, pero alejado de cualquier torre de televisión. Es decir, en este supuesto la energía que le llega al dispositivo sería mayor mediante las múltiples estaciones de base móviles que a través de la banda de televisión, por lo que conviene seleccionar la banda celular.

Con la recolección de energía mediante radiofrecuencias se busca una energía constante, adicional, sin sustituir otro tipo de energías.

La posibilidad de recolectar energía plantea nuevos retos:

- Tanto la eficiencia de recolección de energía como la utilización de esta resultan fundamentales, ya que la energía de RF sufre una gran pérdida de propagación en el espacio libre. En consecuencia, la energía recolectada es muy limitada en un entorno de RF de campo lejano.
- Equilibrar la transmisión de energía y el rendimiento de la comunicación. Además de recoger energía de la RF ambiental, el dispositivo recolector también puede solicitar energía a las estaciones base y puntos de acceso asociados en algunas aplicaciones. En este caso, la interacción entre el flujo de energía y el flujo de datos es más compleja, ya que la transmisión de energía puede interferir con la decodificación de la información, mientras que la transmisión de información puede interrumpir la recolección de energía.

Una importante limitación en cuanto a la potencia disponible en las radiofrecuencias ambientales viene dada por seguridad. Las radiaciones ionizantes de alta frecuencia como los rayos ultravioletas, X y los gamma, son capaces de romper las moléculas de ADN. Esto hace que, por razones de seguridad, se utilice una banda no ionizante para telecomunicaciones, comprendida entre 30kHz y 300GHz. Sin embargo, a pesar de ser relativamente segura para el ser humano, una onda a una potencia suficientemente alta puede ser capaz de quemar el tejido humano. Es por ello que existen varias normas sobre la máxima densidad de potencia de RF permitida en el aire, de acuerdo a la Comisión Federal de Comunicaciones la máxima exposición permitida para el público general es de 1mW/cm² a frecuencias de 1 a 100GHz [9]. Sin embargo, a pesar de esta restricción a causa de la seguridad, la potencia máxima se ve aún más restringida para evitar interferencias en la reutilización del espacio. Como consecuencia el anteriormente mencionado límite no se ve superado, siendo la densidad de potencia del orden del $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

La densidad de potencia de radiofrecuencia en zonas urbanas y semiurbanas presenta dos características importantes:

1. Distribuciones espaciales no uniformes. Esto se debe principalmente a los siguientes factores:
 - a. Altas pérdidas de propagación.
 - b. Bloqueos debido a obstáculos físicos, geográficos y urbanos, como montañas y edificios.
 - c. Un despliegue no uniforme de las fuentes de RF.
2. Intensidad relativa en el tiempo.
3. Otros factores:

En el entorno exterior, las condiciones meteorológicas pueden influir considerablemente en la atenuación de la propagación de las ondas EM.

Generalmente los RF *Energy Harvesters* están compuestos por 4 etapas:

- RF Harvester: consiste en una antena capaz de adquirir la energía de las bandas de interés del espectro de radiofrecuencia.
- Circuito de acondicionamiento: convierte la señal captada por la antena, formada por un conjunto de armónicos, en una señal continua.
- Circuito de adaptación: se encuentra situado entre el RF Harvester y el circuito de acondicionamiento. Maximiza la potencia entregada al circuito de acondicionamiento.
- Circuito de almacenamiento. Se almacena energía para alimentar a un determinado componente electrónico como un sensor.

2.1.3. Térmica:

Este tipo de recolección de energía, adecuada para ambientes con altos gradientes de temperatura, funciona mediante el efecto Seebeck para convertir la energía térmica en energía eléctrica. La energía se recolecta a partir de módulos termoelectricos compuestos por una matriz de semiconductores de tipo n y p (los semiconductores de tipo n, son aquellos con electrones de más, por tanto, tienen una naturaleza negativa, los de tipo p, por el contrario, tienen naturaleza positiva debido a que tienen agujeros de más), los cuales se colocan en serie eléctricamente y en paralelo térmicamente. Dichos semiconductores, se sueldan para que estén en contacto con la cara fría y la cara caliente y haya un flujo adecuado de las cargas. Además, para garantizar dicho flujo se utilizan platos cerámicos.

La diferencia de temperaturas entre las dos caras provoca una diferencia molecular en la estructura debido a la migración de huecos,

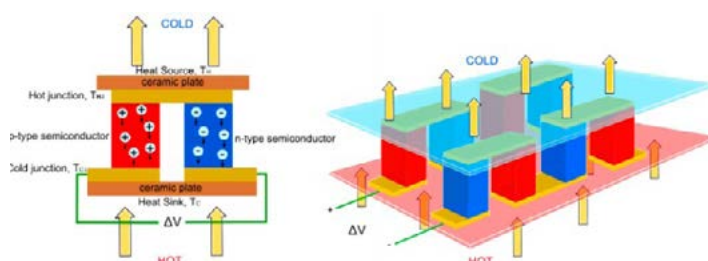


Ilustración 3: Funcionamiento y representación esquemática de una célula peltier

Como se ha mencionado anteriormente, su funcionamiento se basa principalmente en el fenómeno Seebeck, el cual consiste en la conversión de una diferencia de temperaturas en electricidad, siendo la corriente dependiente del termopar y la diferencia de temperaturas a la que cada extremo es sometido. Para cada termoelectrico existe una relación entre la tensión generada y la diferencia de temperatura. Ambas son directamente proporcionales y están relacionadas mediante el coeficiente de Seebeck, α .

$$V_O = \alpha * \Delta_{TEG}$$

Sin embargo, el límite de conversión de estos recolectores no es la temperatura máxima, a pesar de que la potencia dada es proporcional a la diferencia de temperatura, puesto que, aunque el flujo de calor sea alto no recolectan mucha energía debido a las bajas eficiencias de los materiales y el límite de Carnot ($\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H}$. siendo T_H la temperatura caliente y T_C la temperatura fría), encontrándose la eficiencia de los generadores en torno al 10%. Para aumentar la potencia recolectada, los generadores termoelectricos pueden estar constituidos por elementos en paralelo y serie. Asimismo, su rendimiento puede reducirse significativamente debido al calentamiento de la cara fría debido al propio flujo de calor sufrido en la placa. Es por ello que para aumentar su rendimiento, es recomendable utilizar, por un lado, elementos que reduzcan el aumento de dicha temperatura en la cara, como ventiladores, disipadores de calor, y por otro lado, elementos que aumenten la o beneficien el flujo de calor del objeto a la placa, como resina o conectores térmicos de aluminio.

Algunas de sus ventajas para aplicar esta tecnología es que son fiables, silenciosas, fáciles de instalar y escalables. Se pueden implementar, por ejemplo, en un equipo de potencia que en funcionamiento se encuentra disipando continuamente calor residual. Estos dan lugar a zonas con una temperatura significativamente superior al ambiente en las carcasas. Estas carcasas son el lugar ideal para colocar este tipo de dispositivos. Con un diseño adecuado del colector de calor y el disipador, la diferencia de temperatura entre ambos extremos se puede transformar en electricidad.

Beneficios de termoelectricos:

- Bajo mantenimiento.
- Alta eficiencia.
- Altas temperaturas de trabajo.
- Compactos y ligeros.
- Aplicaciones escalables.

Entre sus posibles aplicaciones se puede encontrar la recolección de energía residual de calor humano. La temperatura del cuerpo se sitúa en un rango habitual de 36.5°C y 37.5°C , siendo controlada por el ritmo circadiano, siendo esta el balance entre el calor generado por el metabolismo y el calor disipado mediante radiación, convección y evaporación [10].

2.1.4. Magnético:

Este tipo está formado por un material ferromagnético y un inductor, y su funcionamiento se basa en la inducción electromagnética descrita por la ley de Faraday. La fuente de energía más común de este tipo de energía es la de un conductor cargado con corriente eléctrica. Por tanto, una aplicación común es un recolector que envuelve una línea eléctrica. Esto la hace una energía con gran potencial puesto que en la mayoría de las ubicaciones ambientales se encuentran campos magnéticos residuales que surgen de las infraestructuras de transmisión de energía eléctrica de los edificios, maquinaria industrial, consumo de dispositivos electrónicos y las anteriormente mencionadas líneas de eléctricas áreas. Los cables de transmisión eléctrica son capaces de generar campos magnéticos bajos ($<1\text{mT} = 10\text{ G}$ a una distancia de 10 mm de un cable de 50 A) [11].

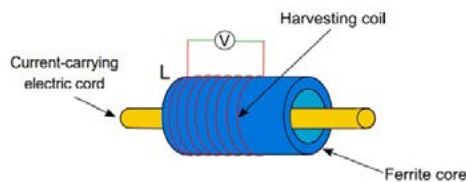


Figure 17. Magnetic harvester.

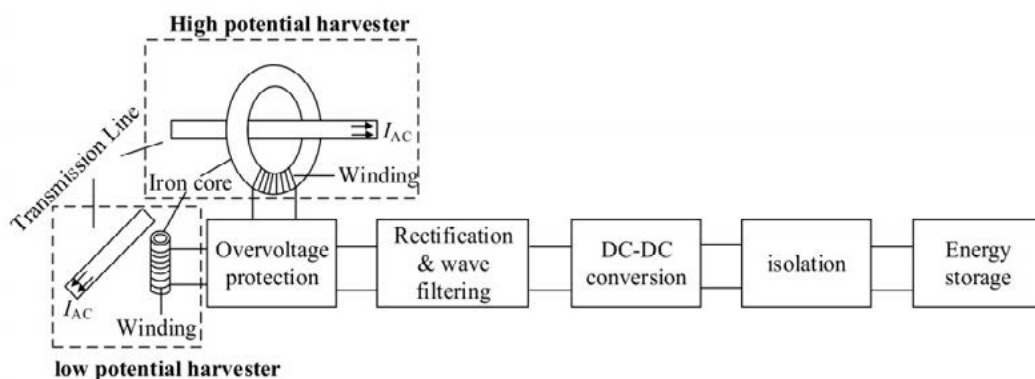


Figure 2. Schematic diagram of a magnetic energy harvesting system.

2.2. Recolección de energía mecánica

Los dispositivos de recolección de energía cinéticos convierten este tipo de energía en eléctrica a través de transductores electromecánicos. Siendo los más comunes los de conversión piezoeléctrica y electromagnética. Los recolectores de energía cinética tienen una frecuencia de resonancia que suele oscilar entre decenas y cientos de Hz, proporcionando (en esas condiciones) energía del orden de decenas o cientos de μW . Este tipo de recolectores dependen completamente de la actividad, es decir, tan solo generan energía cuando el elemento mecánico al que está acoplado se encuentra en funcionamiento.

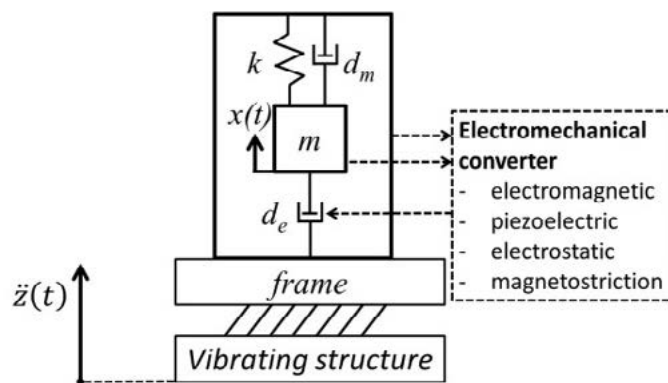


Figure 5. Scheme of vibration energy harvester [58].

2.2.1. Piezoeléctricos

Estos transductores funcionan mediante el principio de piezoelectricidad, que consiste en que materiales dieléctricos pueden deformarse físicamente en presencia de un campo eléctrico o viceversa, generar una carga debido a una deformación mecánica. Por tanto, los generadores piezoeléctricos generan electricidad mediante cristales piezoeléctricos cuando se ejerce una fuerza externa y se produce un esfuerzo (flexión, torsión, compresión y/o tracción) en ellos, modificando su distribución de cargas provocando un esfuerzo para reestablecer el equilibrio. El fenómeno de la piezoelectricidad se da debido al desplazamiento de los iones positivos con respecto a los iones negativos dentro de sus respectivas células cristalinas [13].

Son los transductores mecánicos que mayor densidad de potencia generan. Entre sus características se puede destacar que no necesitan ninguna tensión de entrada y generan una alta tensión de salida que suele estar entre los 2 – 10 V. Por el contrario, su corriente de salida es bastante reducida debido a que su impedancia de salida es alta. Respecto a su caracterización mecánica, estos transductores tienen un bajo amortiguamiento y no requieren de ningún tope. Con frecuencias bajas se autodescargan.

Existen diversos tipos de entrada de alimentación de las que recolectar la energía mecánica. Estas se pueden dividir principalmente en fuerzas o desplazamientos que actúan sobre un punto o área específica del generador. A su vez, dichas entradas se pueden dividir en:

- Estáticas.
- Dinámicas:
 - o Pulsos.
 - o Fuerzas continuas alternantes.

2.2.2. Electromagnéticos

Su fabricación se realiza a partir de un imán que se mueve libremente. Está únicamente sujeto mediante un muelle, y por tanto se mueve solidariamente con el cuerpo en movimiento, y una bobina fija. La diferencia en el movimiento relativo entre ambos provoca un flujo magnético. Al igual que los piezoeléctricos, no requieren de ninguna tensión de entrada y poseen un bajo amortiguamiento mecánico. Por otro lado, en vez de generar una alta tensión de salida, que suele ser inferior a 1 V, es la corriente en este caso la que presenta un valor elevado debido a una baja impedancia de salida. En cuanto a su caracterización mecánica, resulta complicado reducir el tamaño de estos transductores y por tanto su integración en ocasiones es complicada. Además, presenta pérdidas en la bobina causando una baja eficiencia.

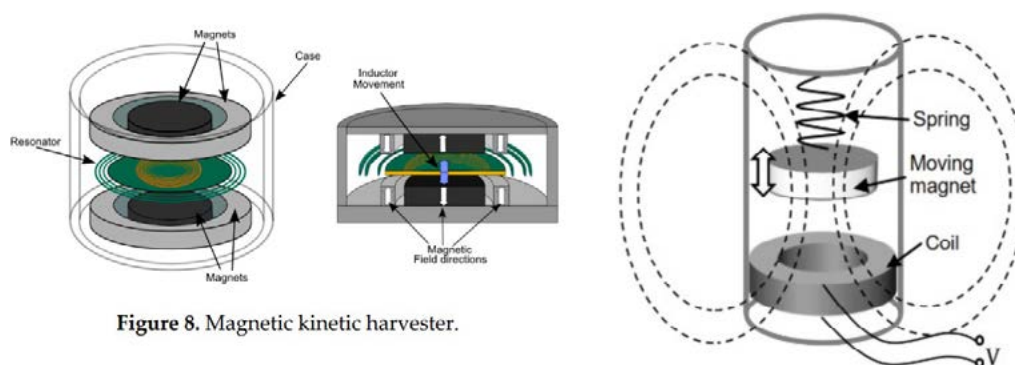


Figure 8. Magnetic kinetic harvester.

2.2.3. Electroestáticos

Los generadores electrostáticos son capaces de transformar la energía mecánica en eléctrica por medio de elementos capacitivos variables, dándose el efecto electrostático entre las placas paralelas del condensador en el que se almacena la carga eléctrica. Estos convierten la energía cuando se modifica la distancia de las placas del condensador variable o cuando el área de las placas es modificada como respuesta a una fuerza mecánica externa. Por tanto, es dicho condensador variable la unidad principal de recolección de energía electrostática, ya que mediante la variación de su capacitancia puede provocar un aumento de la tensión en la carga. Para poder recolectar la energía mecánica, se debe fijar una de las placas y permitir el libre movimiento de la otra forzada por un desplazamiento mecánico externo [14].

Como se ha mencionado anteriormente, la variación de la capacitancia de los condensadores a causa del movimiento es el fundamento de estos recolectores. Sin embargo, existen distintos tipos de estructuras a través de las que se logran la recolección de energía, siendo más apropiadas algunas para determinados tipos de fuerza mecánica.

1. Condensadores de área variable: Más indicada para movimientos de rotación.
2. Condensador de espacio variable: Más indicado para movimientos vibraciones.

Entre sus principales ventajas destaca su fácil fabricación, aunque un riesgo inherente a su complejidad es que se puede dar la ruptura dieléctrica (formación de caminos conductores a través de un material aislante en presencia de un campo eléctrico). Por contra, una gran desventaja, es que requiere de una tensión de entrada para funcionar. Dicho transductor es capaz de operar con una baja frecuencia y proporciona una densidad de potencia relativamente alta con pequeños tamaños, siendo esta bas-

tante inferior que la obtenido por los transductores piezoeléctricos. Por otra parte, sí se asemeja a los piezoeléctricos en sus características de salida, ofreciendo una alta tensión entre 2 y 10 V, una baja corriente y una alta impedancia de salida. Entre sus otras características se encuentra su baja capacidad, y sus pérdidas de corriente parásita.

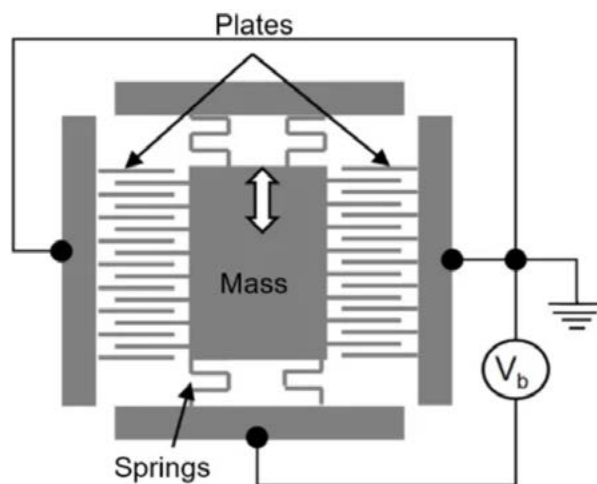


Ilustración 5: Recolector de energía electrostático

2.3. Tablas resumen fuentes de alimentación

TIPO	Fuente de energía	Tecnología	Principio de funcionamiento
Medioambiental	Solar (Luz artificial)	Panel Fotovoltáico	Efecto fotovoltaico
	Radio Frecuencia	Antena; (Rectena)	Transmisores de radio ubicuos
	Térmico	Piezoeléctricos	Efecto Seebeck
	Magnético	Material ferromagnético e inductor	Leyes de Ampere-Maxwell y
Mecánico	Vibraciones	Piezoeléctricos	Efecto Piezoeléctrico
	Electroestático	Platos metálicos	Condensadores dependientes
	Electromagnéticos	Bobina conductora	Ley de Faraday

TIPO	Densidad de potencia
Medioambiental	10-100 mW/cm ² (<100 microW/cm ²)
	<0,01 microW/cm ² (WiFi); <2 microW/cm ² (GSM1800)
	Humano: 100 microW/cm ² ; Industrial: 100 mW/cm ²
	1,8 mW/cm ³ a 4 cm de un conductor de 400 A
Mecánico	4-500 microW/cm ³
	50-100 microW/cm ³
	300-800 microW/cm ³

TIPO	Eficiencia	Estado Tecnología	Disponibilidad	Distancia
Medioambiental	<40%	Madura	Dependiente de horarios; No controlable	Variable
	50-70%	Madura	Continua; Controlable	Variable
	10-15%	Madura	Continua; Controlable	Cercana
	<1%	Emergente	Continua; Controlable	Cercana
Mecánico	<30%	Madura	Dependiente de actividad; Controlable	Cercana
	<25%	Emergente	Dependiente de actividad; Controlable	Cercana
	<70%	Emergente	Dependiente de actividad; Controlable	Cercana

Tabla 1: Tabla resumen 1

TIPO	Fuente energía	Ventajas
Medioambiental	Solar (Luz artificial)	Alto voltaje de salida; Dispositivos de bajo coste; Predecible
	Radio Frecuencia	Disponibilidad completa (localización y horario); Predecible; Constante; Tamaño reducido
	Térmico	Bajo mantenimiento; Escalable
Mecánico	Magnético	La antena se puede incorporar en el dispositivo; Ampliamente disponible
	Vibraciones	Alta densidad de potencia; Sin requerimiento de voltaje externo; Fácil implementación
	Electroestático	Alto voltaje de salida; Dispositivos de bajo coste; No requiere de corriente; Fácil implementación
	Electromagnéticos	Alta corriente de salida; Robustos y duraderos; Diseño de bajo coste

TIPO	Fuente energía	Desventajas
Medioambiental	Solar (Luz artificial)	Muy dependiente de horarios
	Radio Frecuencia	Baja densidad de potencia; Dependiente de distancia
	Térmico	Requiere de disipadores de calor eficientes
Mecánico	Magnético	Altamente dependiente de la distancia; Dependiente de la cantidad de energía disponible
	Vibraciones	Salida muy variable; Materiales caros; Coeficiente de acoplamiento vinculado a propiedades del material
	Electroestático	Requieren voltaje de polarización; Bajas capacitancias
	Electromagnéticos	Recolector de relativo gran tamaño; Bajo voltaje salida; Baja eficiencia con bajas frecuencias; Material caro

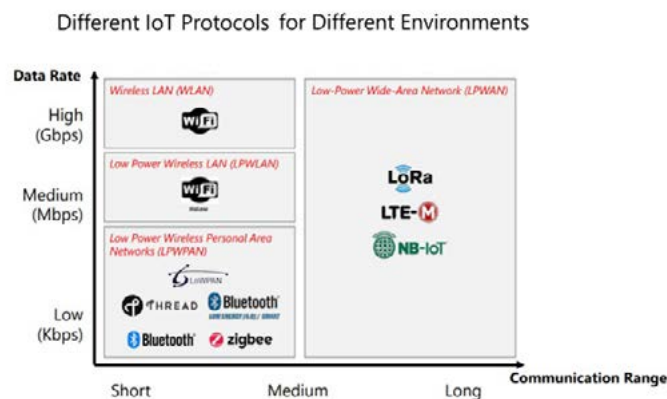
Tabla 2: Tabla resumen 2

2.4. Recolección de energía híbrida:

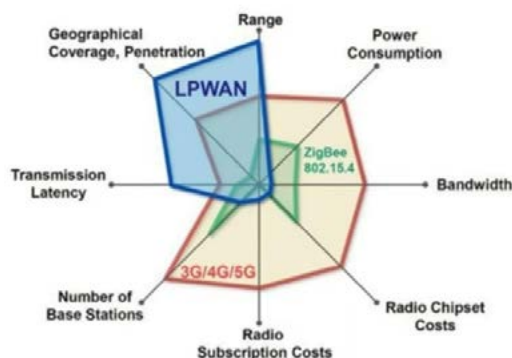
Para aportar una mayor fiabilidad al sensor o cualquier otra carga que esté conectada, los sistemas de *Energy harvesting* híbridos (HEH) incluyen una segunda fuente de energía del ambiente que complementa y/o supla la acción de la primera fuente. Por tanto, esto permite captar la mayor cantidad de energía para que el sensor sea capaz de realizar operaciones que demanden mayor potencia y extender su tiempo de vida. Según la manera de combinar las distintas fuentes se pueden clasificar en cuatro categorías:

- **Usando dos mecanismos diferentes en la misma plataforma para recolectar energía de un mismo medio.** Dos fuentes de alimentación distintas de *Energy harvesting* sobre la misma plataforma para recolectar energía del mismo medio. Por ejemplo, para recolectar de una fuente de energía mecánica, se implementa un mecanismo electromagnético y piezoeléctrico.
- **Usando un switch/multiplexor electrónico para alternar entre fuentes de Energy harvesting.** Ambas fuentes de energía están presentes simultáneamente. Sin embargo, la prioridad es dada por el circuito de manejo de energía a la fuente con mayor potencia. Así que la energía solo puede ser extraída de una de las dos fuentes, no es posible extraer energía de ambas simultáneamente.
- **HEH usando un conversor de potencia individual para cada fuente.** Cada fuente de energía tiene su propio circuito de manejo de potencia, lo que permite extraer energía de las dos fuentes simultáneamente. Sin embargo, el número de convertidores incrementa y el esquema se hace más complejo.
- **HEH conectando directamente las fuentes de energía en configuración paralelo/serie.** Las fuentes de energía son conectadas juntas y comparten el mismo circuito de manejo de energía. Permite extraer energía de ambas fuentes simultáneamente únicamente con un conversor y un circuito de control de baja potencia.

3. PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES



Son varios los protocolos de comunicaciones de los que se puede disponer en la actualidad. No obstante, el más adecuado para interconectar dispositivos IoT es la tecnología LPWAN debido a presentar un alcance optimizado, una gran escalabilidad, un consumo energético eficiente y un reducido coste de producción a cambio de sacrificar otros aspectos como la velocidad de transmisión de datos.



Otras tecnologías presentan problemas como un alcance muy reducido (ZigBee), un consumo elevado (WiFi y GPRS/3G/LTE) o una limitada escalabilidad (todos ellos).

De esta manera las redes LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) son una tecnología de transporte inalámbrico básica para la implementación de dispositivos IoT. Son cuatro los principales tipos de redes LPWAN: Sigfox, LoraWAN, NB-IoT y LTE-M.

Otras redes serían: LAN (*Local Area Network*: Ethernet caldeado y WiFi), WAN (*Wide Area Network*: Ethernet) o PAN (*Personal Area Network*: Bluetooth).

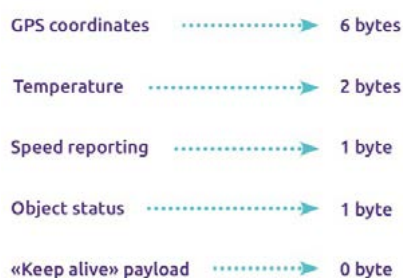
3.1. Sigfox

La tecnología Sigfox presenta la particularidad de ser la única tecnología que tiene limitado el número de mensajes que puede enviar y recibir en un solo día. Este número de mensajes depende del plan de datos contratado. Con la tarifa más premium son 140 el máximo de mensajes que se pueden enviar en un día y 4 los que se pueden recibir.



Esta diferencia que existe entre subida y bajada (o transmisión y recepción) también se refleja en el tamaño de los paquetes de datos. El tamaño máximo de la información útil que presenta un paquete de subida es de 12 bytes, mientras que el de bajada es como mucho de 8 bytes. El tamaño máximo de un paquete de datos Sigfox es de 24 bytes (teniendo en cuenta carga útil y no útil).

La información transmitida en función del tamaño del paquete de datos se muestra en la siguiente figura.



Esto da una idea del tipo de información que se puede transmitir con esta tecnología, aunque en general las redes LPWAN no están pensadas para transmitir una gran cantidad de datos.

La velocidad de transmisión de datos varía entre 100 y 600 bps dependiendo de la región. No se ha podido encontrar información acerca de la velocidad de transmisión de datos en España.

Sigfox utiliza bandas ISM sin licencia, esto es lo que le obliga a trabajar tan solo en un tiempo limitado. En Europa la banda utilizada es de 868 MHz.

El alcance es de 40 km en ambiente rural y de 10 km en un ambiente urbano. Sigfox cobra 1\$ al año por dispositivo conectado.

3.2. LoRaWAN

LoRaWAN es un protocolo de red que emplea la tecnología LoRa, desarrollada por LoRa Alliance.

Emplea la banda ISM sin licencia (868 MHz en Europa), aunque podría operar en cualquier frecuencia por debajo de 1 GHz.

Presenta 6 factores de ensanchamiento (SF7 – SF12). A mayor factor de ensanchamiento mayor es el alcance del receptor pero también decrece la velocidad de transmisión de datos. Con el mayor factor de ensanchamiento el alcance es de 14 km mientras que es de 2 km con el menor factor de ensanchamiento.

La velocidad de transmisión de datos se encuentra entre los 300 bps y los 11 kbps y se adapta de manera dinámica en función de la distancia entre el sensor y el gateway.

El tamaño del paquete de datos se encuentra definido por el usuario, teniendo en cuenta que el protocolo LoRaWAN emplea 13 bytes a parte del contenido útil del mensaje.

El acceso a LoRaWAN es gratuito tanto para operadores de la red como para los fabricantes de dispositivos.

3.3. NB-IoT

Es una tecnología de banda estrecha con licencia que opera en bandas GSM y LTE, por lo que puede coexistir con estas tecnologías. Que haya licencia implica un coste de suscripción.

Presenta una velocidad de transmisión de datos de en torno a los 100kbps (250 kbps en configuración multitono y 20kbps en configuración monotono) y presenta un alcance de unos 10 km en áreas no urbanas y 1 km en áreas urbanas.

Presenta una longitud máxima de carga útil de hasta 1600 bytes y una latencia relativamente baja.

3.4. LTE-M

Es una tecnología de red móvil que utiliza la red LTE 4G con licencia, lo que facilita su implantación en dispositivos 2G, 3G Y 4G. Hay multitud de variantes, siendo LTE CatM1 la más adecuada para IoT.

Presenta un alcance de 1 km en áreas urbanas y de 5 km en un entorno rural.

Posee la ventaja de ofrecer una velocidad de transmisión de datos muy elevada para IoT, en torno a 1 Mbps. Esto permite enviar datos de gran tamaño como archivos de voz a la vez que permite la conexión en tiempo real.

3.5. BLE

BLE (Bluetooth Low Energy) es una tecnología wireless basada en el estándar bluetooth 4.0.

Opera en la banda ISM de 2.4 GHz y presenta la ventaja de tener un alcance de hasta 100m, muy superior a la que se consigue con tecnologías similares como NFC. Es decir, BLE está diseñado para proporcionar un bajo consumo de energía a un coste reducido, manteniendo un alcance similar al bluetooth tradicional.

Se alcanzan velocidades de transmisión de datos de hasta 1 Mbps a la vez que la carga útil de cada uno de los mensajes puede ser de hasta 27 bytes, mientras que la cabecera ocupa 14 bytes (información no útil).

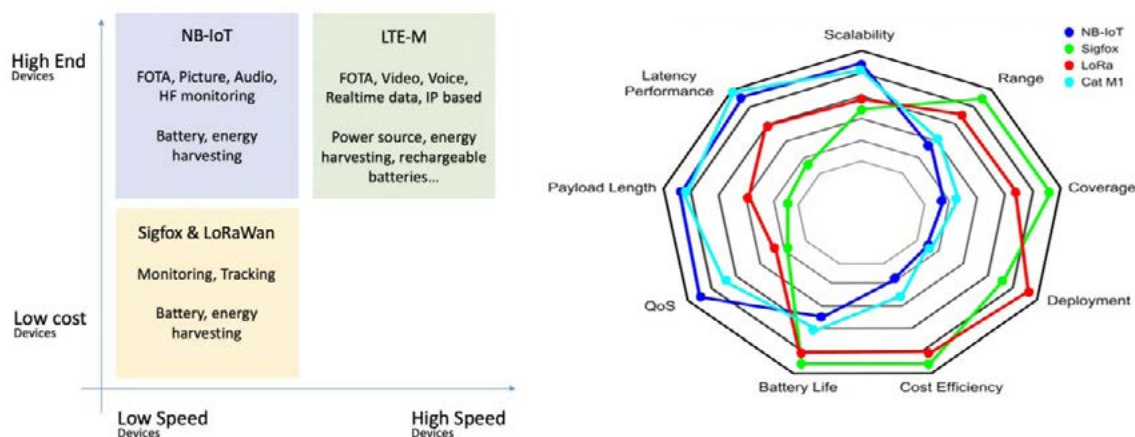
BLE soporta redes con hasta 32.767 dispositivos conectados. La conectividad se basa en relaciones maestro- esclavo, esto puede suponer problemas como que los dispositivos esclavos no pueden comunicarse entre sí o que si el dispositivo maestro se avería entonces los dispositivos esclavo asociados dejan de estar operativos.

En la siguiente tabla se resumen las características de cada una de estas tecnologías.

REDES LPWAN	Sigfox	LoRaWAN	LTE-M	NB-IoT	BLE
Frecuencia	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa)	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa)	Bandas LTE con licencia	Bandas LTE con licencia	Banda ISM de 2.4 GHz (40 canales de 2 MHz)
Velocidad de datos	600 – 100 bps dependiendo de la región	300 bps – 11 kbps Tasa de datos adaptativa	1Mbps	250 kbps (multitono) 20 kbps (monotono)	1Mbps
Carga útil mensaje	12 bytes (UL) 8 bytes (DL)	246 bytes	Similar a NB- IoT	1600 bytes	27 bytes
Mensajes al día	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado	Ilimitado
Alcance	10 km (urbano) 40 km (rural)	2 km (urbano, SF7) 14 km (rural, SF12)	1 km (urbano) 5 km (rural)	1 km (urbano) 10 km (rural)	100 m
Comunicación en tiempo real	No	No	Si	No	No
Red privada	No	Si	No	No	No
Estándar	En proceso	LoRa - Alliance	3GPP	3GPP	Bluetooth 4.0

Tabla 3: Tabla resumen protocolos de comunicación

Comparativas tecnologías LPWAN



Para hacer una comparativa entre las tecnologías LPWAN se han analizado las siguientes variables.

Calidad de servicio.

Calidad de servicio engloba velocidad de transmisión de datos. Los protocolos de comunicación basados en bandas LTE con licencia ofrecen mayor calidad de servicio que las bandas ISM sin licencia. Por lo que si en una aplicación se requiere de una buena calidad de servicio se han de usar las tecnologías LTE-M o NB-IoT.

Latencia.

Las tecnologías que ofrecen baja latencia son LTE-M, NB-IoT y LoRaWAN, destacando LTE-M ya que es la única que permite las aplicaciones en tiempo real.

Escalabilidad.

NB-IoT y LTE-M ofrecen una alta escalabilidad siendo capaces de conectar hasta 100K dispositivos en un solo nodo, siendo este número la mitad para las tecnologías Sigfox y LoRaWAN.

Eficiencia energética

Las tecnologías que menos consumen son Sigfox y LoRaWAN. En especial destaca Sigfox, ya que consigue un gran ahorro energético debido a su baja velocidad de transmisión de datos, al pequeño tamaño de los paquetes de datos y a la limitación de mensajes que se pueden enviar en un día, lo que mantiene a los dispositivos en modo suspensión la mayor parte del tiempo.

Por otro lado, las tecnologías que más consumen son NB-IoT y LTE-M debido al protocolo que utilizan y a la velocidad de transmisión de datos.

Para conocer los consumos numéricos de cada tecnologías es necesario analizar un dispositivo en concreto, ya que los consumos varían con el dispositivo y la tecnología empleada. De todas maneras, las tecnologías de menor a mayor consumo son Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT, LTE-M.

Rango/Alcance.

La tecnología con mayor alcance es Sigfox seguida de LoRaWAN. Por otro lado se encuentran NB-IoT y LTE-M con un alcance relativamente reducido.

Tamaño del mensaje.

Con las tecnologías NB-IoT y LTE-M se puede transmitir mayor información con un solo mensaje. Esto permite transmitir archivos de mayor tamaño como archivos de voz, cosa que con las tecnologías Sigfox y LoRaWAN no es posible.

3.6. Resumen tecnologías

Ventajas de cada tecnología LPWAN	
Sigfox	Eficiencia energética, implantación, muy coste
LoRaWAN	Cobertura, eficiencia energética, bajo coste, tasa de datos adaptativa
NB-IoT	Calidad de servicio, baja latencia y escalabilidad
LTE-M	Calidad de servicio, baja latencia, escalabilidad, voz, comunicación en tiempo real

Tabla 4: Ventajas de cada tecnología LPWAN

Requisitos	Tecnología escogida	Ejemplo aplicación
Baja latencia	NB-IoT	Alarma de incendios
Tiempo real	LTE-M	Constantes vitales
Administrar propia red	LoRaWAN	Aplicaciones que requieran cierto nivel de seguridad. Sala de servidores
Mobilidad/localización	Sigfox/LoRaWAN/LTE-M	Tracking mercancías
Sin requisito específico	Sigfox/LoRaWAN	Metereología

Tabla 5: Ejemplos de aplicación

En definitiva, las tecnologías que van a ser utilizadas son principalmente Sigfox, LoRawan y BLE, por lo que a continuación se adjunta una figura comparativa entre las dos primeras.

		
Key Attributes	- Very low Cost - Global Network - Low Power & predictability power consumption - Anti-jamming - Out of the box connectivity - Service Level Agreement	- Low cost - Larger payload - High data rate in short range - Possibility to purchase own Base station
Example of applications	Nationwide network types  Agriculture  Water / gas meters  Supply chain & logistics	Private network types  Smart city  Smart Building  Utilities

		
Coverage (BS Sensitivity)	-142 dBm	-120 to -138 dBm
Capacity (Report/BS/Day)	Very high	Low
Resilience to Interferences	Very good	Poor
BoM Modem	Current Price: \$2	Estimated \$5
Power Consumption	Low	Medium
Security	AES128	AES128
Downlink	Device triggered	Device triggered
Data Rate	100 bps in EMEA 600 bps in Americas, APAC	300bps to 11 Kbps
Message size	12 bytes	Up to 50 bytes
Daily Traffic per device	1.6 Kbyte	Up to 10 Kbytes

4. CONTROL DE LA POTENCIA Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Dependiendo de las modalidades de EH utilizadas y de las condiciones ambientales las tensiones de salida producidas pueden variar considerablemente en amplitud, tanto para CA (cinética, RF y la mayoría de los dispositivos EH de flujo de aire) como CC (modalidades EH de TEG, FV y microturbina), y frecuencia (para las fuentes de CA).

Para que se puedan utilizar como fuentes de energía de dispositivos electrónicos se deben utilizar elementos electrónicos con distintos objetivos.

En primer lugar, si la corriente es alterna se debe rectificar la corriente. Además mediante convertidores de corriente continua permitiendo ajustar o adaptar la tensión del transductor EH a la de la carga que se alimenta, que suele oscilar entre 2 y 5 V con corrientes que pueden superar los 100 mA.

Además, deben regular la tensión suministrada, manteniéndola constante e independiente de las variaciones de las condiciones ambiente que sufre la fuente de energía para así alimentar correctamente la carga a la que esté conectada.

Por último, la electrónica de gestión de la energía asegura un suministro eficiente de energía desde el dispositivo EH, es decir, el generador al sistema, así como el almacenamiento del excedente de energía cosechada en un dispositivo de almacenamiento y su gestión.

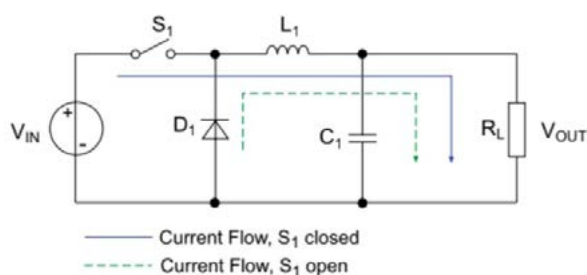
Esta gestión típicamente está llevada a cabo por los siguientes componentes principales:

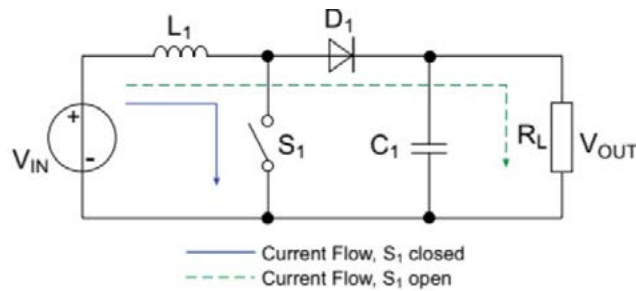
1. Un **convertidor** CC-CC de gran eficacia utilizado para ajustar la amplitud de la tensión al nivel necesario, así como para la adaptación de la impedancia (es decir, adaptar la impedancia de entrada al máximo punto de potencia del cosechador). Siendo su parámetro más crítico su rendimiento el cual se basa en la siguiente fórmula, en la cual P_{in} es la generado por el transductor y la P_{Batt} .

$$\eta = \frac{P_{in}}{P_{Batt}}$$

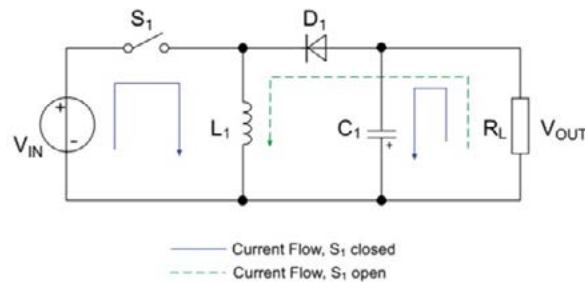
La tecnología de los convertidores buck, boost y buck-boost se utiliza en todo el mundo para proporcionar una tensión regulada de corriente continua de baja tensión en casi todos los mercados electrónicos. Dichos convertidores, que en esencia son reguladores de tensión conmutados formados por un inductor, un diodo, un condensador y un interruptor, son especialmente en comparación con los reguladores de tensión tradicionales (reguladores lineales), muy valorados por su altísima eficiencia, que puede superar fácilmente el 95%.

- Un **convertidor buck** o step-down es una fuente de alimentación DC/DC conmutada que tiene por objeto to buck (o bajar) la tensión de entrada de una fuente DC no regulada a una tensión de salida inferior estabilizada. El siguiente diagrama de circuito simplificado muestra cómo fluye la corriente a través del circuito durante un evento de conmutación de un convertidor Buck.





- Un **convertidor boost** es una fuente de alimentación DC/DC de modo conmutado que está destinada a aumentar (o incrementar) la tensión de entrada de una fuente DC no regulada a una tensión de salida estabilizada más alta, reduciéndose por tanto la corriente de salida de manera proporcional al aumento de tensión realizado. Para incrementar la tensión de salida respecto a la de entrada se utiliza señales PWM (modulación del ancho de pulso). El siguiente diagrama de circuito simplificado muestra cómo fluye.
- Un **convertidor buck-boost** combina a los convertidores mencionados con anterioridad, ya que puede suministrar una corriente continua a partir de una fuente de alimentación que suministre una tensión inferior o superior a la tensión de salida de consigna.



2. El **circuito de gestión de la energía** suele integrar un **rectificador de puente de onda completa** de bajas pérdidas (es decir, con una caída de tensión de apenas 0,7 V) para la conversión de la tensión de CA en CC (para los dispositivos EH que producen tensión de salida de CA), una **unidad de seguimiento del punto de máxima potencia** (MPPT) (que ajusta el valor de la tensión de entrada necesaria, permitiendo así extraer la máxima energía disponible que puede producir un generador EH generador EH), y el **circuito de "arranque en frío"** (utilizado, en raras ocasiones, para inicializar el funcionamiento del dispositivo EH). Hay varias soluciones de este tipo en el mercado como productos disponibles. También son ejemplos de circuitos que pueden utilizarse en aplicaciones específicas dispositivos de monitorización del estado de carga (SoC) que se utilizan para controlar la carga en función de la energía disponible, de modo que sólo se opere cuando el cosechador genere los niveles de energía adecuados.
3. Un **dispositivo de almacenamiento** de energía en forma de condensador polarizado, un supercondensador, una batería o una solución híbrida.
Como las fuentes no generan suficiente energía para mantener el sistema activo constantemente, se requiere de una forma de almacenar energía. El almacenamiento mediante condensadores o supercondensadores resulta mucho más adecuado para las características de los dispositivos IoT, en los que existen fuertes picos de demanda durante la transmisión de datos. En comparación con las baterías, los supercondensadores son capaces de

almacenar menos energía, pero son capaces de entregar mayores potencias con tiempos de respuesta más reducidos al no tener un proceso químico asociado. Esto también conlleva una mayor vida útil, permitiendo una gran cantidad de ciclos de carga y descarga. Dependiendo de cuánta energía necesite el sistema y del tiempo que el sistema deba estar activo, se han de emplear condensadores de distinta capacidad. La capacitancia viene dada por:

$$C = \frac{2 * t * p}{\eta * (V_{in}^2 - V_{uvl}^2)}$$

De acuerdo con [15], la capacitancia mínima necesaria es de 100 μF y una típica se encuentra entorno al valor de 1000 μF . Es importante tener en consideración las corrientes de fuga de los condensadores puesto que representan una gran porción de la energía consumida. Esta corriente depende principalmente de la temperatura, la tensión, las características de fabricación, el tiempo, y la capacidad total. Para minimizar las pérdidas, [15] propone unos principios a seguir.

- La capacidad debe ser óptima, una excesiva, se convierte en ineficiente.
- Condensador de alta calidad, pérdidas reducidas de serie.
- Un alto ratio de temperatura debe ser usado.
- Debe utilizarse un condensador con una alta tensión, debido a que la corriente de fuga aumenta exponencialmente si se supera su tensión nominal.

5. EL PROYECTO

El proyecto desarrollado, tras una extensa exposición del estado del arte de la tecnología de *Energy harvesting*, se focaliza en seleccionar un conjunto de dispositivos compatibles entre sí que en su conjunto conformen un dispositivo de *Energy harvesting* plenamente funcional. En este proyecto se analiza la capacidad de este sistema para alimentar un nodo sensor de IoT o una carga semejante utilizando la energía de su entorno, según la fuente de alimentación empleada.

Se busca realizar un proyecto en el que se permita una captura de energía de manera eficiente que satisfaga la demanda, midiendo la eficiencia de distintas fuentes de energía y de un circuito de recolección de energía, EH301A.

Como se ha expuesto anteriormente, existen múltiples fuentes de energía disponibles. Para la elaboración del trabajo, se han seleccionado las fuentes más maduras en la literatura y que mayor facilidad ofrece su ensayo: térmica, lumínica, mecánica.

5.1. Hardware

5.1.1. Fuentes de energía

Solar

La fuente de energía fotovoltaica seleccionada consiste en un pequeño panel solar de *Seeed Studio* [16] de 80x100mm capaz de dar 1 W. Está fabricado con un único cristal, por tanto, se encuentra dentro del tipo de paneles solares monocristalinos, siendo por tanto útil tanto para aplicaciones en exteriores como interiores (poseen un gran rango espectral). Posee una fina resina que la hace impermeable y una parte trasera robusta que la hace adecuada para entornos exteriores. Se puede combinar con la mayoría de las placas del fabricante debido a que lleva un conector JST de 2mm.

Tensión de vacío	8.2 V
<i>Tensión máxima de carga</i>	<i>6.4 V</i>
Tensión típica	5.5 V
<i>Corriente en el punto de máxima potencia</i>	<i>170 mA</i>
Eficiencia	15,5%
Dimensiones	100 x 80 x 2.5 mm
Peso	33 g
Precio	3.95 €

Tabla 6: Tabla de características panel Seeed Studio

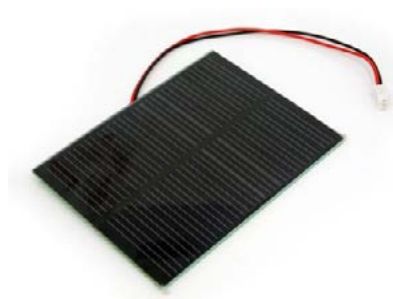


Ilustración 6: Panel solar 80x100mm 1 W

Piezoeléctrico

El transductor de flexión *S28-H5FR-1107YB* consta de una sola capa y está recomendado para aplicaciones de *Energy harvesting* y sensorización. También se adecua como actuador resonante. El fabricante no recomienda que se utilice en aplicaciones que se requieran una gran fuerza de salida. El *S28-H5FR-1107YB* posee una frecuencia de salida relativamente alta.

El montaje ideal del transductor permite deformación normal de toda la parte activa del generador, evitando a la vez el desplazamiento en diversas direcciones en el punto de montaje. Generalmente están adheridos, pinzados o cargados con resortes en sus puntos de montaje.

Los piezoeléctricos de mide poseen la ventaja de ser empaquetados y por tanto poseen una cierta protección. Este embalaje permite:

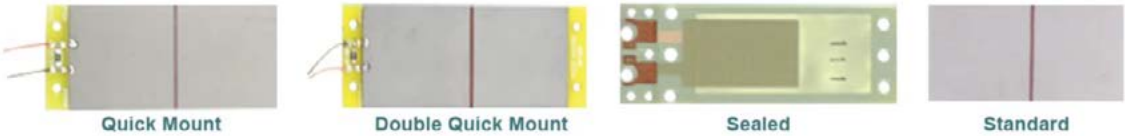
1. Tener una mayor robustez; La cerámica es un material frágil susceptible de sufrir grietas. Para resolver dicho problema, mediante el empaquetado se intercala la cerámica entre polímeros.
2. Una fácil conexión eléctrica y montaje mecánico.
3. Un sellado hermético y aislamiento.
4. Reduce la exposición a materiales tóxicos por los que está compuesto el piezoeléctrico.



Ilustración 7: Transductor piezoeléctrico

Tipo de energía de salida	Corriente continua
Voltaje de salida	27.3 V
Potencia de salida	25.9 mW
Constante de resorte	0.474 N/mm
Frecuencia de resonancia	384 Hz
Fuerza de bloqueo	0.09 N
Deformación libre	0.19 mm
Temperatura máxima de funcionamiento	-60°C
Temperatura mínima de funcionamiento	+120°C
Dimensiones	53 x 20.8 x 0.74 mm
Peso	9.77 g

Mounting Options



Calor

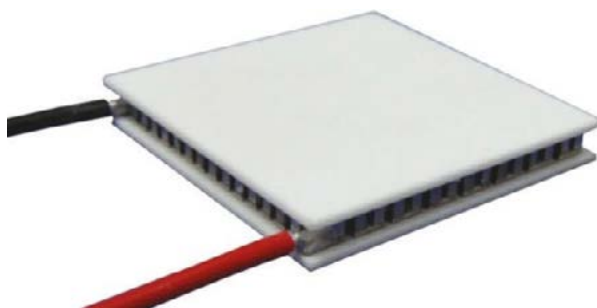
Para captura la energía en forma de calor de fuentes ambientales o de efectos residuales en generación de energía se utiliza un generador termoeléctrico (TEG). Este genera electricidad a partir de una diferencia de temperatura ente dos partes por efecto Seebeck.

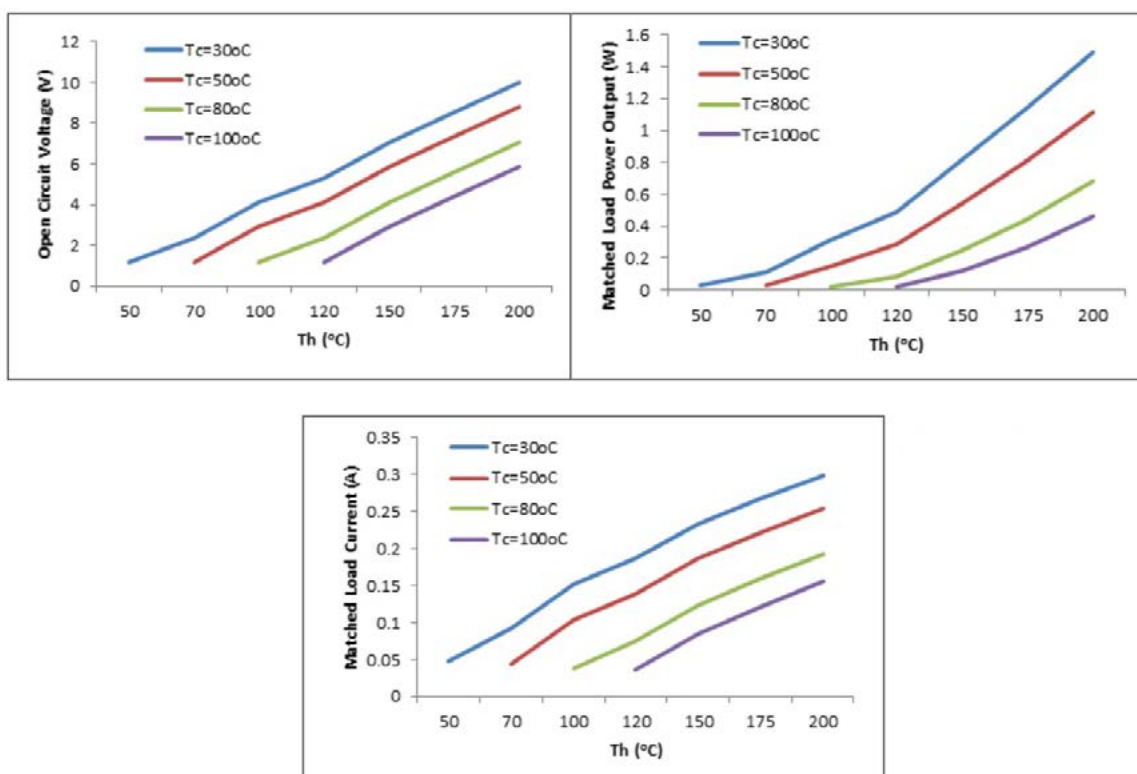
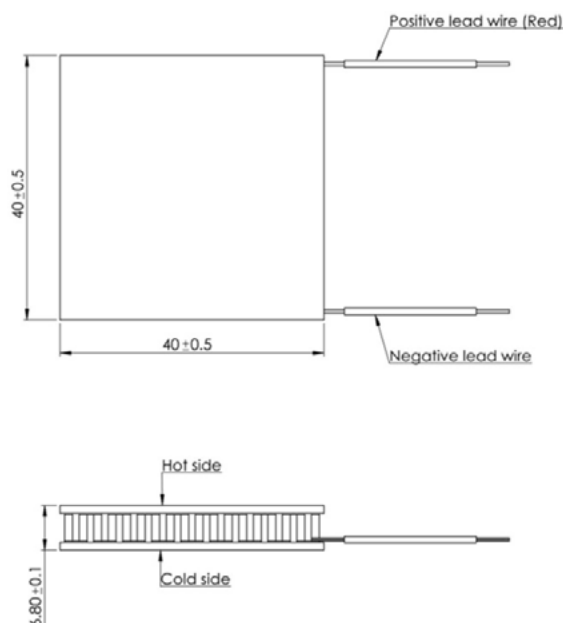
En el proyecto se ha utilizado el *GSM200-161-12-40*. La principal razón por la que se ha escogido este dispositivo frente a otros que cumplen con la misma función es que la máxima corriente que es capaz de proporcionar (300mA) se encuentra por debajo de la corriente máxima de entrada del módulo *EH301A* (400 mA). La mayoría de los TEG disponibles presentan una corriente máxima de salida del orden de varios amperios, lo que está muy por encima de lo que es capaz de soportar la placa de acondicionamiento. A pesar de que esta corriente máxima tan solo se alcanza con enormes gradientes de temperatura, cosa que en condiciones normales de funcionamiento no sucede, se ha optado por escoger un TEG con una corriente máxima por debajo de la corriente máxima de entrada de la placa *EH301A*.

El fabricante, *European Thermodynamics Limited*, destaca entre sus características que no posee partes móviles, siendo por tanto un módulo compacto; no requiere mantenimiento; no genera ruido durante su funcionamiento; presenta una baja huella de carbono y un rendimiento fiable. Dicho módulo se puede unir mediante diversos métodos: unión mecánica (no recomendado por el fabricante, ya que añade tensiones térmicas adicionales debido a expansión térmica), adhesivo térmico, soldadura (con punto de fusión menor al utilizado por termoeléctrico).

Potencia de salida de la carga adaptada	1,49 W
Resistencia de carga adaptada	16,6 $\Omega \pm 15\%$
Corriente de carga ajustada	0,3 A
Voltaje de salida de carga ajustada	4,98V
Voltaje de vacío	9,96 V
Flujo de calor a través del módulo	~30W
Temperatura máxima de operación (lado caliente)	00°C
Temperatura máxima de operación (lado frío)	175°C
Máxima compresión (no destructiva)	1 MPa

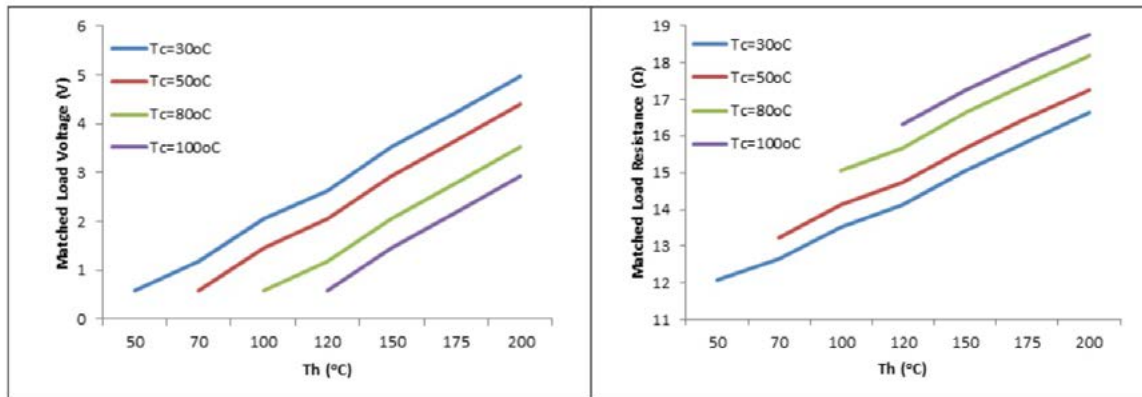
Tabla 7: Parámetros generador termoeléctrico con 200°C en el lado caliente y 30°C en el lado frío





Note: Th = hot side temperature





Note: Th = hot side temperature



El cálculo del coeficiente de Seebeck del termoeléctrico.

$$V_O = \alpha * \Delta_{TEG}$$

$$\alpha = \frac{V_O}{\Delta_{TEG}} = \frac{9.96}{170} = 0,05859 \text{ V/}^{\circ}\text{C}$$

Para calcular la calidad del termoeléctrico se puede introducir mediante una función de mérito introducida en [10]:

$$zT = \frac{S \cdot \sigma}{k} T$$

Donde:

- S: Coeficiente de Seebeck.
- σ : Conductividad eléctrica.
- K: Conductividad térmica.
- T: Temperatura absoluta.



Thermal conductivity

- $k_n = (0.0000334545 \times T^2 - 0.023350303 \times T + 5.606333) \text{ W/mK}$
- $k_p = (0.0000361558 \times T^2 - 0.026351342 \times T + 6.22162) \text{ W/mK}$

Seebeck coefficient

- $a_n = (0.001530736 \times T^2 - 1.08058874 \times T - 28.338095) \times 10^{-6} \text{ V/K}$
- $a_p = (-0.003638095 \times T^2 + 2.74380952 \times T - 296.214286) \times 10^{-6} \text{ V/K}$

Electrical conductivity

- $\sigma_p = (0.015601732 \times T^2 - 15.708052 \times T + 4466.38095) \times 10^2 \text{ S/m}$
- $\sigma_n = (0.01057143 \times T^2 - 10.16048 \times T + 3113.71429) \times 10^2 \text{ S/m}$

5.1.2. Acondicionamiento

EH301A

El módulo de acondicionamiento, aparte de adecuar la señal eléctrica para alimentar correctamente las cargas que estén conectadas, sirve para definir los procesos de carga y descarga de las baterías: la gestión de la energía. Se han considerado distintos módulos de acondicionamiento para este proyecto. La principal razón por la que se ha optado por este módulo en concreto es que ofrece amplios rangos de operación: ofrece una corriente de salida (hasta 1A), un amplio rango de tensiones de entrada (0-500V) tanto AC como DC, una corriente de entrada considerable (400mA) y una tensión de salida (3.1 – 5.2V) que contiene los valores de tensión más empleados en electrónica de baja potencia (3.3 V y 5 V). Esto convierte a la placa *EH301A* en la más polivalente de todas las que se han analizado y por tanto es la que permite el ensayo del mayor número de fuentes de alimentación, que es precisamente lo que se busca del sistema de acondicionamiento.

El módulo fabricado por *Advanced Linear Devices*, recoge continuamente paquetes de energía y los almacena en un condensador montado en el propio módulo. Dicho módulo alimenta de manera eficiente con la energía recolectada a redes de sensores inalámbricos u otras aplicaciones de baja potencia, que requieran una tensión de alimentación de entre 3.1 a 5.2 V.

Las principales fuentes de energía con las que es compatible son:

- Mecánica.
- Térmica.
- Lumínica.
- Electromagnética.

Como se ha mencionado anteriormente en el estado del arte, los circuitos de recolección de energía se sitúan entre la carga y el transductor debido a que la energía requerida puede ser superior a la recolectada y por tanto se requiere de un almacenador.

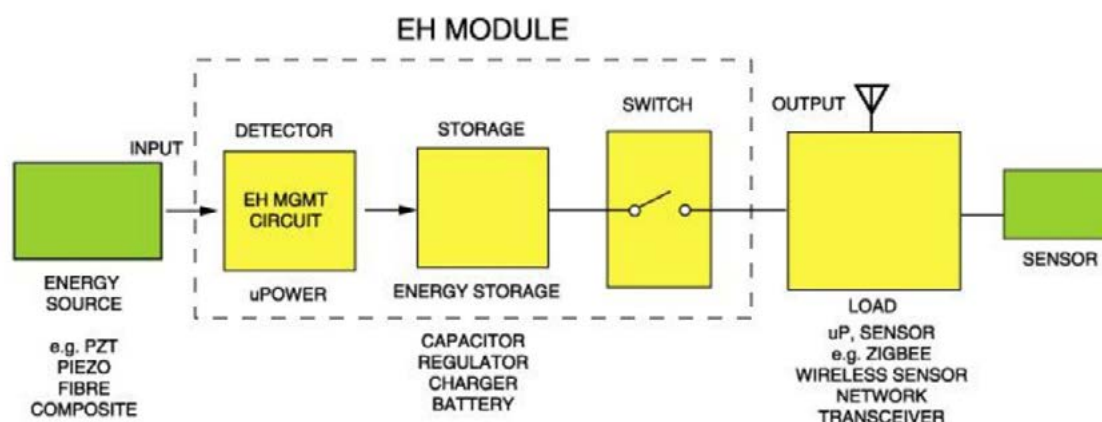


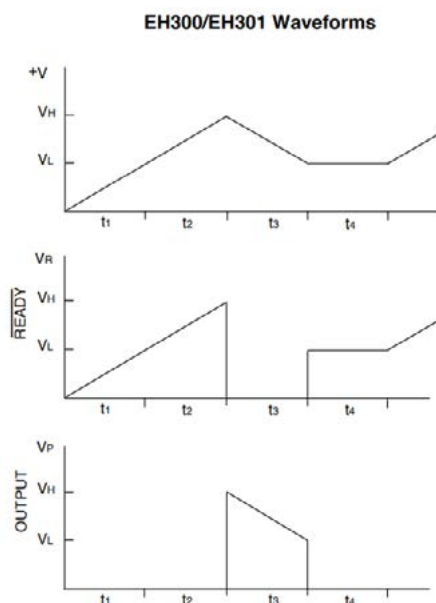
Ilustración 8:[17]

Este módulo se encuentra siempre activo y autoalimentado, lo que hace que sea capaz de almacenar la energía que proporcionan pequeñas corrientes eléctricas incluso cuando la tensión en el almacenador es cercana a los 0V. También cuenta con una muy alta eficiencia y una alta tasa de retención de energía, lo que provoca que la cantidad de energía desaprovechada sea mínima. El módulo permite la entrada de corrientes con diferentes formas de onda, tanto de corriente continua como alterna de frecuencia variable o irregulares, además de aceptar un amplio rango de tensión e intensidad.

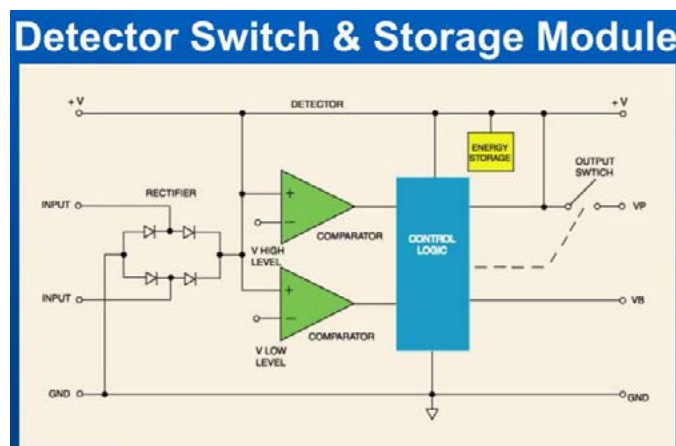
Rango de tensión de entrada	0.0 V - 500 V
Rango de corriente de entrada	200nA - 400mA
<i>Máxima potencia de entrada</i>	500 mW
Mínima entrada operativa	0.0 V y 1 nA
Rango de tensión de salida	3.1 V – 5.2 V
Rango de corriente de salida	0.1 mA – 1 A
Energía de salida	55 mJ
Tiempo de conexión de la salida	88 ms y 150 mA

Tabla 8: Características EH301A

Como se puede ver en la siguiente gráfica, al principio la tensión del almacenador (V_+) es nula. Sin embargo, partiendo con el módulo completamente descargado, una vez que alcanza el límite de tensión superior (V_H) el módulo comienza a alimentar la carga. Alcanzado este punto, el almacenador comienza a alimentar la carga hasta que la tensión del almacenador llega al límite inferior de tensión (V_L). A partir de este punto se repite el proceso.



El principal problema de este módulo de acondicionamiento es que la tensión de salida no es constante, sino que depende de la tensión que tenga el almacenador en un determinado momento. La mayoría de las cargas se alimentan a tensión constante, por lo que es necesario introducir un dispositivo adicional para conseguir este objetivo: un regulador de tensión.



5.2. Almacenamiento

5.2.1. Super Capacitor Modules (AVX)

Se ha optado por emplear un almacenador externo para probar cómo responde la placa *EH301A* al conectar un medio de almacenamiento distinto a la batería de condensadores que viene por defecto en la placa. La opción escogida es el supercondensador *SCMR14D474PRBB0*, el cual es capaz de ofrecer excelentes características de control de impulsos de potencia debido a la combinación de una alta capacitancia y una resistencia equivalente en serie muy baja. La principal característica por la que se

ha escogido este supercondensador es que la tensión máxima se encuentra ligeramente por encima del límite superior de tensión (VH) de la placa EH301A. Además, este supercondensador tiene una capa protectora de plástico, resistente a la humedad. La terminación del condensador lo hace factible para realizar soldadura a mano o procesos de soldadura de onda.

Combinado junto con baterías primarias o secundarias, proporcionan un mayor tiempo de respaldo, un alargamiento de la batería y proporciona pulsos de potencia prácticamente instantáneos.

Diámetro	9.5 mm
Longitud de la caja	14 mm
Código de tensión	D (5.4 V)
Capacitancia	474 F
Tolerancia	+100%/-0%

6. PRUEBAS

Conductividad térmica de la piel de acuerdo con [10] se encuentra entre 0.26 y 0.3 W/mK dependiendo de la temperatura de la piel y su espesor.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. E. Staff, «Macro Environmental Effect of Micro Energy Harvesting», Power Electronics News, mar. 30, 2021. <https://www.powerelectronicsnews.com/macro-environmental-effect-of-micro-energy-harvesting/> (accedido jun. 02, 2021).
2. «Obra: HARVESTORE», Worldsensing. <https://www.worldsensing.com/es/project/harvestore/> (accedido may 31, 2021).
3. Pozo, Garate, Araujo, y Ferreira, «Energy Harvesting Technologies and Equivalent Electronic Structural Models - Review», Electronics, vol. 8, n.º 5, p. 486, abr. 2019, doi: 10.3390/electronics8050486.
4. M. Grossi, «Energy Harvesting Strategies for Wireless Sensor Networks and Mobile Devices: A Review», Electronics, vol. 10, n.º 6, p. 661, mar. 2021, doi: 10.3390/electronics10060661.
5. «KXOB22-04X3L-DATA-SHEET-20130902-.pdf». Accedido: jun. 07, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://ixapps.ixys.com/DataSheet/KXOB22-04X3L-DATA-SHEET-20130902-.pdf>
6. H. Sharma, A. Haque, y Z. A. Jaffery, «Solar energy harvesting wireless sensor network nodes: A survey», J. Renew. Sustain. Energy, vol. 10, n.º 2, p. 023704, mar. 2018, doi: 10.1063/1.5006619.
7. «Radio frequency», Wikipedia. feb. 11, 2021. Accedido: jun. 23, 2021. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Radio_frequency&oldid=1006176178.
8. «Wireless RF Energy Harvesting: RF-to-DC Conversion and a Look at Powercast Hardware - Technical Articles». <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/wireless-rf-energy-harvesting-rf-to-dc-conversion-powercast-hardware/> (accedido jun. 23, 2021).



9. Y. Luo, L. Pu, G. Wang, y Y. Zhao, «RF Energy Harvesting Wireless Communications: RF Environment, Device Hardware and Practical Issues», *Sensors*, vol. 19, n.o 13, p. 3010, jul. 2019, doi: 10.3390/s19133010.
10. A. Nozariasbmarz et al., «Review of wearable thermoelectric energy harvesting: From body temperature to electronic systems», *Appl. Energy*, vol. 258, p. 114069, ene. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114069.
11. V. Annapureddy et al., «Magnetic energy harvesting with magnetoelectrics: an emerging technology for self-powered autonomous systems», *Sustain. Energy Fuels*, vol. 1, n.o 10, pp. 2039-2052, 2017, doi: 10.1039/C7SE00403F.
12. Yang, L. Du, H. Yu, y P. Huang, «Magnetic and Electric Energy Harvesting Technologies in Power Grids: A Review», *Sensors*, vol. 20, n.o 5, p. 1496, mar. 2020, doi: 10.3390/s20051496.
13. «Introduction-to-Piezoelectric-Transducers-Carter-Kensley.pdf». Accedido: jul. 05, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://blog.piezo.com/hubfs/Manuals/Introduction-to-Piezoelectric-Transducers-Carter-Kensley.pdf>



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

GRUPO ANTOLIN - Destreza Robótica

INTELIGENCIA Y CONTROL
DISEÑO MECÁNICO

Alumnos:

Jorge Belart Sigüero
Pablo Giménez Suárez
Ignacio Ortiz de Zúñiga Mingot
Carlos Rubio Sanz
María Tornos Serrano

El Grupo Antolin planteó en realidad dos proyectos diferentes, uno de Inteligencia y Control, y otro de Diseño Mecánico, aunque como entre ambos había sinergias, los integrantes de este grupo se dividieron en dos subgrupos, aunque estuvieron trabajando mano a mano en el Laboratorio de Robótica de ICAI.

1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

1.1. Descripción

El proyecto de Destreza Robótica es una línea de trabajo iniciada en el verano de 2020 por el CIC LAB. En ella, la empresa del sector del automóvil Grupo Antolín propone la automatización de la selección y recogida de piezas en un proceso previo al montaje en la línea de producción.

Uno de los mayores desafíos que presenta el proyecto es la versatilidad de la solución. Se debe trabajar con un conjunto heterogéneo de piezas (diferentes materiales, tamaños y geometrías), mientras que al mismo tiempo se debe ofrecer una solución robusta y suficientemente general. En el laboratorio, se trabaja con el robot IRB 14000 (YuMi) de ABB, un robot colaborativo que, de forma conjunta con cámaras RGB-D, debe trabajar de forma exitosa en dos escenarios diferentes:

- **Piezas pequeñas en entornos caóticos** (caja con piezas dispuestas de forma aleatoria).
- **Piezas grandes en entornos controlados** (caja con piezas de mayor tamaño y peso apiladas).

El objetivo final del proyecto consiste en generar paquetes de piezas que lleguen a la línea de producción con el tipo y número de piezas necesarias para la siguiente operación de ensamblaje.

1.2. Líneas de investigación

Para este proyecto, las líneas de investigación que se abren en la edición del CIC LAB Verano 2021 son:

- **Diseño mecánico.** Se pretende continuar con los estudios previos relacionados con el diseño de la herramienta del robot. Las técnicas más relevantes son la aspiración y *soft robotics*. Como tareas relacionadas, cabe destacar el diseño y ejecución de una nueva mesa de trabajo para el robot y soporte de cámara.
- **Base de datos sintética.** Se persigue generar un *dataset* sintético que permita realizar entrenamientos con una red neuronal similar a Yolo, pero que además incluya información sobre la orientación del plano o región de interés. Se incluyen otras tareas como la calibración de la cámara RGB-D.

- **Cinemática mediante RL.** Mejora del algoritmo de cinemática mediante el entrenamiento de un modelo basado en RL (*Reinforcement Learning*).

1.3. Objetivos del proyecto

Asociados a cada línea de investigación, cada grupo de trabajo marca sus objetivos:

- **Herramienta del robot.** Elaboración de una matriz de decisión donde se valoren las cualidades y defectos de los prototipos de aspiración y *soft robotics*.
- **Mesa y soporte.** Diseño y fabricación de una mesa modular adecuada para los requisitos impuestos por el robot y la cámara utilizada.
- **Dataset sintético.** Explorar Blender como *software* para generar el *dataset* sintético y obtener la información necesaria de cada pieza (coordenadas y vector normal de las regiones de interés).
- **Cámara.** Calibración correcta de los parámetros de la cámara. Obtención de imágenes de profundidad y color correctamente alineadas para la obtención de coordenadas.
- **Red neuronal.** Desarrollo de una red neuronal que permita detectar las piezas de interés y la información necesaria asociada a ellas (coordenadas y orientación).
- **Cinemática.** Mediante el algoritmo de RL, obtención de movimientos con el robot físico a partir de la definición de coordenadas y orientación de la herramienta.

2. ESTUDIOS DE HERRAMIENTA

2.1. Introducción

De cara a facilitar la selección y recogida de las distintas piezas, se ha desarrollado una variedad de prototipos basados en diferentes principios de funcionamiento. Dentro de la gran cantidad de variantes, estas se pueden clasificar en dos grandes grupos: aspiración y *soft robotics*.

Como bien indican sus nombres, aquellos basados en aspiración emplean la diferencia de presiones creada por un flujo de aire para lograr el agarre deseado. Son soluciones relativamente independientes de la geometría del objeto, pero a coste de una menor capacidad en cuanto a selectividad.

Por otra parte, los *soft robotics* se basan en la deformación previa de una boquilla rellena de un material fácilmente maleable (arena fina, bolas de gel de sílica, café molido...), que tras deformarse alrededor de la pieza, aplica un vacío en su interior para mantener la forma obtenida. Estas soluciones logran una selectividad mayor, pero sufren con ciertas geometrías.

2.2. Estado del arte

Inicialmente se contaba con un prototipo basado en aspiración ya desarrollado, el cual presentaba algunos defectos en cuanto a pérdidas de aire y amortiguación. El primer paso que se ha seguido en este proyecto ha sido intentar mejorar estos defectos, de forma que se consiguiera tanto reducir las fugas de aire como implementar un sistema de amortiguación que evite daños al YuMi en caso de colisión.

Por otro lado, tal y como se ha mencionado anteriormente, se ha utilizado la tecnología *soft robotics* para crear nuevos prototipos. A la hora de investigar posibles formas de implementar esta tecnología, el equipo se ha basado en un diseño desarrollado por Festo. Este diseño, denominado "Pinza de forma

adaptativa DHEF"[Fes21] por la empresa, se basa en el principio de funcionamiento de la lengua de un camaleón, el cual les permite enrollar su lengua alrededor de insectos de formas diversas y atraparlos de forma eficaz.

Este diseño está formado por una superficie de silicona que se envuelve alrededor del objeto deseado y se adapta a su geometría. Una vez que la silicona ha envuelto el objeto correctamente, se utilizan un pistón neumático y aire comprimido para rigidizar el material de relleno, de forma que sea capaz de mantener la geometría y capturar el objeto. A partir de este diseño se han desarrollado distintos prototipos.

Dado que se ha empleado la fabricación aditiva, tanto FDM como MJF, es necesario introducirlas brevemente en cuanto a sus parámetros más característicos.

Lo primero, aplicable únicamente a las FDM, es el diámetro del extrusor. Un mayor diámetro logrará prototipos en tiempos menores, pero su resolución en el plano perpendicular a Z se verá reducida. La altura de capa, aplicable a ambas tecnologías, se define como el intervalo de segmentación de la pieza a lo largo del eje Z. Una altura de capa menor conlleva un mayor número total de capas y con ello mayor tiempo y mayor detalle. Otros parámetros, como el número de capas de pared o el porcentaje de relleno, pueden dar juego de cara a optimizar aún más el proceso, pero se ha decidido no tratarlos como tal y dejarlos en valores por defecto.

2.3. Descripción de los prototipos

A continuación se detallan cada uno de los prototipos desarrollados.

2.3.1. Aspiración. Obturador

Se trata de la solución con mayor independencia respecto al material y a la geometría de la pieza que se desea recoger. El flujo de aire de aspiración crea la succión necesaria para agarrar la pieza deseada, mientras que un obturador fija el área de aspiración total.

El equipo ha trabajado en una nueva iteración sobre un diseño ya existente, buscando cubrir los defectos en cuanto a fugas de aire y falta de selectividad. Adicionalmente, se añade un bloque de suspensión a la herramienta. Este bloque impide que, ante fallos de la determinación de posición de una pieza respecto al eje Z, el impacto sea excesivamente fuerte para el robot.

Fugas de aire

Uno de los principales problemas se encuentra en las fugas de aire presentes en el diseño, que reducen la succión generada en el punto terminal de la herramienta. Para solucionarlo, se diseña una nueva carcasa inferior para el obturador, la cual es completamente estanca y presenta tolerancias mucho más ajustadas.

Para facilitar la rotación entre los distintos elementos, se lleva a cabo una selección de rodamientos sobre los cuales se redimensiona parte del diseño. Al emplear rodamientos en lugar de partes impresas en 3D, se mantiene la estanqueidad a la par que se reduce considerablemente la fricción. Y es que la fricción consiste el mayor problema en este rediseño, ya que la complicación se halla en mantener esta lo bastante baja como para que el servomotor sea capaz de girar el mecanismo, a la par que no se produzcan nuevas fugas de aire.

Parte de las fugas de aire también se localizan en las palas del obturador. Por ello se ve necesario un rediseño del mismo, con el objetivo de reducir al mínimo los espacios por los que pueda darse.

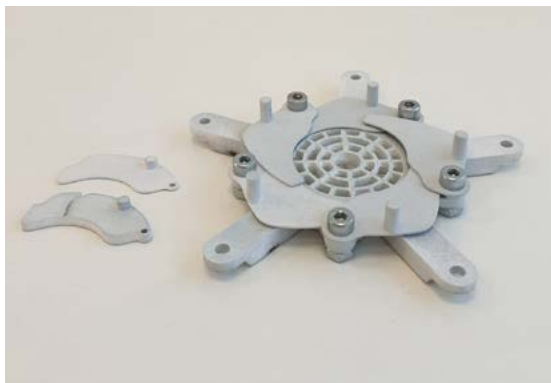


Figura 2.1: Obturador

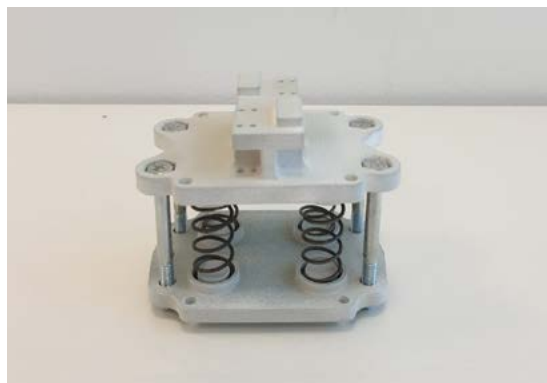


Figura 2.2: Amortiguación

Amortiguación

En ciertas ocasiones, cabe la posibilidad de que la determinación de la altura máxima del objeto que se va a recoger no sea una medida precisa. Si esta medida excede la altura de la posición real, el brazo robot simplemente no tocará la pieza. Pero en el caso contrario, si la medida es inferior a la altura real, cabe un potencial riesgo de colisión entre el brazo y la pieza. Por ello, de cara a reducir el estrés mecánico al que se somete el sistema en estos supuestos, se ha desarrollado un sistema básico de amortiguación con la capacidad de absorber estos impactos.

El bloque de amortiguación es relativamente sencillo, y consta de los siguientes elementos:

- **Carcasa superior:** unido al robot, cuenta con los alojamientos correspondientes de cada muelle y los agujeros para las guías exteriores.
- **Carcasa inferior:** unido al resto de la herramienta, cuenta igualmente con alojamientos para los muelles y para las guías exteriores.
- **Muelles:** inicialmente se consideró un total de 4.
- **Pernos guía:** situados en la parte exterior, guían el correcto movimiento del bloque amortiguador. También fijan la longitud máxima del bloque en su conjunto.

El diseño de este bloque ha contado con un total de tres iteraciones, en las que se pulen detalles de diseño no tenidos en cuenta inicialmente. El bloque final se obtiene mediante fabricación aditiva (tecnología MJF, con PA12 como materia prima). Las iteraciones anteriores se obtienen mediante tecnología FDM, empleando PLA.

Longitud y peso máximo de la herramienta

La herramienta está configurada en el *software* según una longitud predeterminada, valor que en la medida de lo posible se debe respetar y no rebasar. Dada la adición del bloque amortiguador y el rediseño del bloque obturador, se hace necesario una reducción de longitud a lo largo del bloque intermedio, donde se engancha el tubo de aspiración.

Para ello, en lugar de realizar el enganche del tubo de aspiración en el eje principal de la herramienta, se modifica la geometría para que la sujeción quede fuera de este eje. La geometría interior se ve afectada por tanto, siendo necesario crear un recorrido con las geometrías más suaves posibles. De este modo, se busca reducir las pérdidas debidas a la geometría interna del circuito de aspiración.

Por otro lado, las especificaciones del YuMi utilizado inicialmente indican que este sólo es capaz de levantar un peso máximo de 500 gramos, por lo que también ha sido necesario tener esta limitación en cuenta a la hora de diseñar las distintas piezas del obturador.

2.3.2. Aspiración. Boquilla Maleable

La función del sistema de palas del obturador detallado en el apartado anterior presenta varios problemas, como se verá más adelante en la sección de resultados. Como solución a estos y también de cara a reducir la complejidad mecánica del conjunto, se idea un nuevo sistema de obturador deformable.

Este obturador aplica en parte *soft robotics*, pero el mecanismo de agarre dominante sigue siendo la succión mediante aspiración. El principio de funcionamiento de este prototipo requiere que, previo a la recogida de piezas, se sitúe la boquilla sobre un patrón en el cual esta se deforma. Obtenida la geometría deseada en la boquilla, se mantiene mediante la aplicación de vacío en su interior, permitiendo una adaptación a la pieza que se desea recoger.

El funcionamiento en los pasos posteriores es idéntico al prototipo del obturador de palas, con la ventaja de una herramienta mecánicamente simplificada.

2.3.3. Aspiración. Boquillas intercambiables

El objetivo de este prototipo es asegurar la correcta aspiración de piezas de diferentes tamaños por medio del empleo de boquillas prefabricadas intercambiables con diámetros fijos. El funcionamiento de este sistema es análogo a una máquina CNC de múltiples herramientas. Se dispone de un conjunto de boquillas de aspiración que se pueden intercambiar de manera sencilla por medio de un sistema de electroimanes.

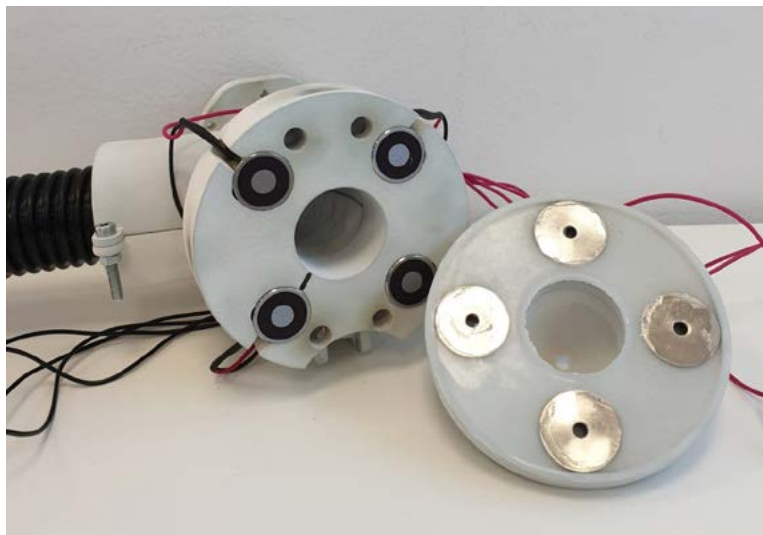


Figura 2.3: Conjunto Boquillas Intercambiables

El conjunto se compone de dos partes, una primera universal que se conecta al sistema de aspiración y cuya función es alojar los electroimanes que permiten la unión con las diferentes boquillas, y una segunda parte, la boquilla, que posee una geometría y diámetro variable para poder adaptarse al total de las piezas. Mientras que solo es necesario fabricar un adaptador que aloje los imanes y conecte con la aspiración, se impone disponer de tantas boquillas como sean necesarias para poder satisfacer los requerimientos establecidos.

Para que el sistema funcione de manera óptima, es necesario organizar el conjunto de las piezas según geometría y tamaño. De esta forma, a cada grupo de piezas pertenecientes a una misma categoría se le asigna una boquilla determinada. Gracias a esta tarea previa de ordenación del entorno de trabajo, es posible reducir el número de etapas de intercambio de boquillas, haciendo el sistema más eficiente.

2.3.4. Soft Robotics. Lengua de camaleón

Este prototipo, como se mencionó anteriormente, se basa en el concepto de pinza adaptativa por medio de la tecnología de *soft robotics*. El objetivo es diseñar un punto terminal que sea capaz de coger todo tipo de piezas por medio de dos funcionamientos básicos, el efecto ventosa y la adaptación a la forma por medio de deformación.

El efecto ventosa se logra por medio del diseño del modelo con una punta cóncava, de manera que al realizar la succión se hace vacío y permite la sujeción de las piezas planas. Por otro lado, la adaptación se logra gracias a la propia geometría del modelo. Se compone de un tronco cónico acabado en punta, fabricado en silicona y relleno de un material maleable que permita ajustarse a las distintas formas. En el caso del prototipo realizado, el material de relleno es arena. Una vez lograda la forma necesaria, se hace vacío en el interior por medio de la aspiración del aire. De esta forma, el sistema se rigidiza, permitiendo agarrar de forma firme la pieza deseada.

El desarrollo de este prototipo se ha basado en la iteración de diferentes modelos. El proceso de prueba se ha realizado variando tres aspectos fundamentales: espesor de pared, diámetro de tronco y concavidad de la punta.

El primer modelo se realizó con espesor de pared de 3 mm para conocer qué rigidez posee la silicona, un diámetro superior o igual al tamaño de la pieza más grande a recoger, y una punta ligeramente cóncava para hacer el efecto ventosa. Este modelo puso de manifiesto que el espesor era ligeramente excesivo, ya que implicaba demasiada fuerza de compresión para adaptar la forma. Por otro lado, el diámetro del modelo era superior al necesario, ya que con menos superficie el sistema era capaz de recoger todas las piezas. Finalmente la punta cóncava satisfizo todas las expectativas del modelo.

Los siguientes modelos se fabricaron con un espesor de 2 mm y un diámetro más reducido, permitiendo así una mayor capacidad de deformación y un menor peso y tamaño del terminal. En lo referente a las puntas, se varió en las diferentes iteraciones la concavidad y el diámetro de punta, tratando de replicar la capacidad de ventosa del primer modelo pero ajustándose al nuevo espesor y dimensiones.

Con las siguientes iteraciones se comprobó que la capacidad de ventosa y la de deformación son ligeramente incompatibles, ya que cuanto mayor sea la compacidad del modelo (más relleno se encuentre) mayor será el efecto ventosa, ya que se mantiene mejor la concavidad de la punta y hace bien el efecto ventosa. Sin embargo, cuanto más relleno esté, peor será la deformación, ya que más rígido se encuentra. De forma lógica, cuanto menos relleno se encuentre el modelo, mejor será la deformación. Sin embargo, al realizar el vacío en el interior, la punta cóncava también se deforma, levantándose, dificultando así la capacidad de ventosa. Finalmente, se logró un prototipo que aunase el equilibrio entre capacidad de ventosa y capacidad de deformación.

2.3.5. Soft Robotics. Lengua de camaleón con aspiración

Este prototipo es análogo al anterior, con una diferencia fundamental, en este caso el modelo no cuenta con una punta cóncava que cree el efecto ventosa, sino que la punta se encuentra abierta para poder ejercer aspiración sobre la pieza.

Para ello, es necesario disponer de dos conductos de aspiración de aire, uno similar al prototipo ante-

rior que se encarga de hacer vacío en el interior de la silicona, y un segundo conducto que llega hasta la punta abierta cuya función es realizar la aspiración.

En cuanto al diseño de este modelo, es necesario realizar dos modificaciones. En primer lugar, es necesario crear un conducto interno que es donde se introducirá el tubo de aspiración. Esto permite mantener una flexibilidad comparable a la del modelo anterior, pero sin comprometer la capacidad de hacer el vacío. La segunda modificación es en la tapa, ya que se requiere de dos orificios para introducir los conductos. Así mismo, se requiere de una válvula que permita independizar una aspiración de la otra, ya que cuando se desea aspirar no se requiere deformar y hacer el vacío y viceversa.



Figura 2.4: Prototipo Soft Robotics



Figura 2.5: Prototipo Soft Robotics con Aspiración

2.4. Metodología: cómo elaborar prototipos

El prototipado se ha basado fuertemente en las tecnologías de fabricación aditiva, en concreto MJF y FDM. Este prototipado se ha empleado tanto de cara a la fabricación de elementos de testeo, elementos enteramente funcionales, y para la elaboración de los moldes con silicona. En los siguientes apartados se detalla el flujo de trabajo empleado para cada tecnología y para los moldes de silicona.

2.4.1. Prototipos 3D con filamento

La fabricación aditiva a partir de la deposición de filamento fundido (FDM) es la técnica más extendida actualmente, en parte gracias a unos costes de fabricación relativamente bajos. Otro factor decisivo es la gran variedad de maquinaria disponible, lo cual ha permitido trabajar en paralelo a lo largo del proyecto. Para la fabricación FDM se han empleado una Ultimaker UM2+ (extrusor 0,6mm) y una Geetech A20M (extrusor 0,35mm). Las piezas de mayor tamaño y complejidad se han asignado a la primera, mientras que la A20M se ha empleado como soporte. Ambas pertenecen a la asociación de alumnos ICAI3D, que ha facilitado su uso.

El postprocesado asociado a esta tecnología es mínimo, limitándose a la eliminación del material de soporte empleado y con la posibilidad de lijar las superficies que se crean convenientes. Existen alternativas para lograr un suavizado mayor, pero el beneficio no era significativo comparado con el tiempo necesario para ello.

El flujo de trabajo se inicia en el software CAD, en este caso SolidEdge, donde se diseña la geometría necesaria para cada prototipo. Una vez obtenida, se exporta a formato STL siguiendo unas tolerancias de conversión estándar (tolerancia de cuerda de 0,01 mm, tolerancia de arco de 3°).

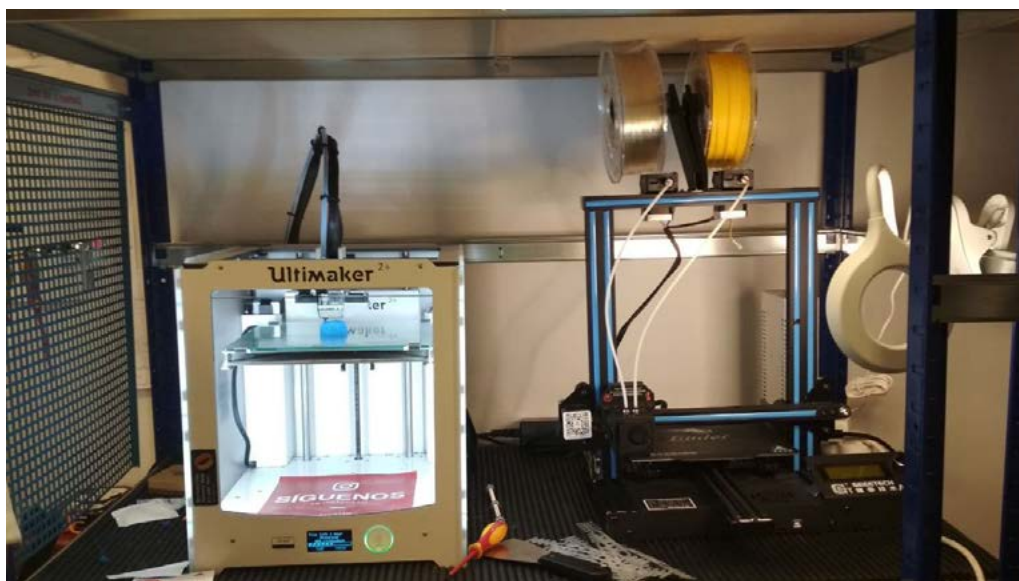


Figura 2.6: Impresoras 3D FDM empleadas

Los STL exportados se abren en un slicer que se escoge según los requisitos de fabricación. Para piezas sin requisitos adicionales se trabaja con el slicer Cura. En los casos en los que se requiere una configuración variable en altura (principalmente, casos en los que el porcentaje de relleno no se mantenga constante en toda la pieza), se ha optado por el slicer Simplify3D.

En ambos casos la configuración es la misma en rasgos generales. Como se ha ido comprobando en las distintas iteraciones, la altura de capa no ha sido crítica en piezas funcionales, pero sí en los moldes para siliconas. Por ello, en el primer caso se han empleado alturas de entre 0,3mm-0,4mm para la Ultimaker y de 0,15mm para la Geetech. Para los moldes, fabricados exclusivamente en la Ultimaker, se ha llegado a la conclusión de que lo preferible son capas de entre 0,1mm y 0,2mm. Estas alturas de capa menores facilitan el desmoldeo de la silicona, reduciendo el agarre al mismo y el riesgo de rotura durante el proceso.

Las piezas obtenidas han logrado una calidad suficiente para la funcionalidad de cada una, a lo cual se añaden unos tiempos de fabricación bajos (como máximo del orden de 36h por bandeja).

2.4.2. Prototipos 3D con polvo

La otra tecnología de fabricación aditiva que se ha empleado ha sido la tecnología MJF, a la cual se tiene acceso gracias al laboratorio de Fabricación Aditiva de la universidad. Esta tecnología relativamente reciente es en parte una evolución del SLS, con la diferencia de que el material base (Nylon, PA12) se liquifica por completo, reduciendo significativamente la anisotropía en los productos finales.

La máquina empleada ha sido una HP 580C, cuya configuración por defecto ha utilizado alturas de capa de 0,08mm.

El postprocesado en MJF es significativamente mayor. Las piezas, si bien no emplean material de soporte alguno, se extraen de la cuba en forma de bloques compactos que es necesario chorrear, cepillar, y limpiar a fondo. Para ello, primero se realiza una primera limpieza manual dentro de la propia cuba de la impresora, donde se separan los bloques de material de mayor tamaño. Posteriormente se limpia la mayoría de los restos en la primera chorreadora (desbaste grueso) y los detalles en la segunda

chorreadora (desbaste fino). La mayoría de piezas en este punto están listas para su uso, pero puede ser necesario el mecanizado de agujeros y ranuras que no hayan quedado enteramente despejadas.

El flujo de trabajo es idéntico hasta llegar al STL. A partir de este punto el primer cambio se da en el slicer, ya que se emplea el NetFabb Premium. Aquellas piezas propensas a fuertes deformaciones (con una proporción entre su largo y su ancho máximos superior a 10) se encapsulan en cajas malladas para reducir los efectos de los gradientes térmicos. Se emplea el empaquetamiento MonteCarlo para la colocación automática de las piezas, procurando distancias mínimas de 10mm entre las distintas piezas. Esto dificulta influencias a nivel térmico entre piezas vecinas.

Las piezas finales obtenidas tienen un acabado superior al logrado en FDM, a coste de tiempos de iteración mayores (se lanza una bandeja a la semana debido a criterios económicos) si bien la fabricación y postprocesado se realizan en un total de dos días.

2.4.3. Prototipos con silicona

La fabricación de los moldes de silicona ha sido mayoritariamente experimental, ya que no se han encontrado documentos de trabajos anteriores con planteamiento similar. El empleo de siliconas para la creación de moldes es común, usándose principalmente en la inyección de plásticos. Pero en este caso la silicona se emplea como material del producto final, no del molde como tal, lo cual no resulta tan común.

Los moldes se han obtenido mediante tecnologías de fabricación aditiva FDM (impresora Ultimaker UM2+, extrusor 0,6mm y alturas de capa entre 0,1mm-0,2mm como configuración óptima).

La silicona empleada ha sido la Ecoflex 00-50 de Smooth-On. Su elección se ha basado en la disponibilidad y tiempos de entrega mínimos, ya que se ha obtenido directamente en tienda física. El flujo de trabajo es sencillo: se realiza una mezcla 1:1 de los componentes suministrados, removiendo durante 3 minutos. Tras esto, se dispone de un máximo de 18 minutos para verter la silicona en los distintos moldes, donde se deja curando un total de 3 horas.

Inicialmente se cometió el error de no cubrir previamente las superficies del molde con un producto desmoldante. En los siguientes intentos se roció las caras interiores con frekote y cera, sin mejoras significativas en el proceso. Como se aprendió a partir de estos primeros intentos, el problema se creaba ante la dificultad de rotura del vacío que conlleva el realizar una pieza de gran elasticidad. Los ángulos de desmoldeo habituales no son suficiente, por lo que se llega a la solución final y más eficaz de emplear los conductos de aire del molde para aplicar distintas presiones. La mayoría de moldes empleados han terminado destrozados, pero afortunadamente cabe la posibilidad de aprovechar los restos para su reciclado.

Otra opción que se ha considerado ha sido la aplicación de vacío durante el proceso de curado. Lo que se busca es reducir la presencia de burbujas en la silicona, dando una mayor uniformidad y consistencia al producto final. Tras unos primeros ensayos, se llega a la conclusión de que la mejora es residual para el trabajo adicional que acarrea.

2.5. Resultados

En este apartado se muestran los resultados que se han obtenido con cada uno de los prototipos desarrollados. Para ello se ha elaborado la Figura 2.7, en la que pueden verse de forma resumida las características que tienen cada uno de los prototipos y los objetivos que cumplen cada uno de ellos. Los parámetros que se consideran en esta tabla son los siguientes:

- **Piezas planas:** se refiere a la capacidad del prototipo de coger piezas que tengan superficies planas.
- **Geometrías difíciles:** se refiere a la capacidad del prototipo de coger objetos que tengan geometrías complicadas.
- **Selectividad:** se refiere a la capacidad del prototipo a coger piezas de forma individual.
- **Operaciones intermedias:** se refiere al número de operaciones intermedias necesarias para adaptar la boquilla, si procede.
- **Capacidad de regulación:** se refiere a la capacidad de regular la apertura de la boquilla.
- **Estanqueidad:** se refiere a la ausencia de fugas de aire en el sistema.
- **Compacidad:** se refiere a la no interferencia del diseño de la boquilla con terceros elementos del entorno.
- **Piezas blandas:** se refiere a la capacidad de agarrar piezas fácilmente deformables, como son las espumas.

	Aspiración. Obturador	Aspiración. Boquilla maleable	Aspiración. Boquillas intercambiables	Soft Robotics. Lengua de camaleón	Soft Robotics. Ventosa
Piezas planas	●●●	●●●	○○○	●○○	●●●
Geometrías difíciles	●●●	●●●	○○○	●●●	○○○
Selectividad	●○○	●○○	●●●	●●○	●●●
Operaciones intermedias	✓	✓	✓	×	×
Capacidad de regulación	●●●	N/A	N/A	N/A	N/A
Estanqueidad	●●●	●●●	○○○	●●●	○○○
Compacidad	●●●	●●●	●●○	●●●	●●●
Piezas blandas	●●●	●●●	●●○	●●●	●●●

Figura 2.7: Tabla de resultados

Como se muestra en la Figura 2.7, el prototipo del obturador basado en la aspiración es el que presenta unos mejores resultados en cuanto a capacidad de coger piezas con geometrías muy variadas, así como en cuanto a estanqueidad y a compacidad del diseño. Sin embargo, el principal defecto de este prototipo es que no es capaz de coger una pieza individualmente en el caso de que esta se encuentre en un montón con otras piezas a su alrededor. Esto se ha intentado solucionar instalando un regulador de potencia en el aspirador, pero aunque sí que se notan ligeras mejoras en el funcionamiento, no se ha podido conseguir que este prototipo sea totalmente capaz de agarrar una pieza de forma individual.

Respecto a los prototipos de *soft robotics*, tal y como se ha comentado anteriormente y como puede observarse en la Figura 2.7, existe una cierta incompatibilidad entre la habilidad de coger piezas con geometrías complicadas y piezas con superficies planas. Esto se debe a que para conseguir coger piezas planas es necesario que la ventosa sea muy compacta, mientras que para poder coger piezas con geometrías complicadas es necesario que el terminal no esté muy relleno para así permitir una mayor

adaptabilidad a la geometría de la pieza. Con futuras iteraciones de estos prototipos se podría llegar a una solución que permita solucionar esta incompatibilidad entre estos objetivos.

En relación al prototipo de las boquillas intercambiables con electroimanes, se ha llegado a la conclusión de que la principal dificultad que presenta este diseño es conseguir que sea completamente estanco. Para conseguir un funcionamiento correcto de los electroimanes, es necesario que estos tengan un contacto perfecto con sus bases, lo cual no se ha podido conseguir con el diseño inicial sin comprometer a la estanqueidad. Dado que no se ha conseguido la estanqueidad completa, este prototipo no es capaz de coger piezas planas ni piezas con geometrías muy complicadas. Sin embargo, trabajando con la boquilla con diámetro pequeño sí que se consigue coger una sola pieza individualmente, por lo que con futuras iteraciones de este diseño y trabajando para mejorar la estanqueidad se podría llegar a un diseño que cumpla todos los objetivos.

En lo referente al prototipo de la boquilla maleable, se ha comprobado que, al igual que el obturador con aspiración, es capaz de coger tanto piezas planas como piezas con geometrías difíciles. Sin embargo, tampoco es capaz de coger una sola pieza individualmente en caso de que esta se halle rodeada de otras piezas. Esto se debe principalmente a que los moldes que se utilizan para deformar la boquilla no consiguen que esta se cierre completamente, por lo que hay fugas de aire por los laterales. Esto podría ser mejorado con iteraciones de este prototipo en los que se ajustasen los moldes de la boquilla a los requerimientos.

3. DISEÑO DE MESA

3.1. Motivación. ¿Por qué una nueva mesa?

La necesidad de diseñar una nueva mesa de trabajo para las operaciones del robot se basa en los siguientes requerimientos:

- **Estabilidad:** Debido a los movimientos que realiza el robot, existen ciertas vibraciones del entorno de trabajo. Puesto que es necesario disponer de una cámara para la ubicación de las piezas, es necesario que esta mantenga en todo momento un origen de coordenadas que no se vea alterado por el movimiento del robot.
- **Brillo:** Para el correcto funcionamiento de la cámara, el entorno de trabajo tiene que tener un brillo reducido, lo cual se consigue fácilmente en un tablero de madera sin pulir.
- **Modularidad:** En la actualidad se dispone de un robot y una cámara determinados. Sin embargo, la ambición del proyecto puede requerir de un robot más complejo o un nuevo modelo de cámara, así como diferentes disposiciones. Por ello, el nuevo entorno de trabajo se diseña con la voluntad de ser modular, permitiendo ajustar la altura de la base de trabajo, la posición de la cámara, así como otras dimensiones, permitiendo adaptarse a los nuevos retos.

De acuerdo con estas necesidades, se realiza un nuevo diseño basado en una estructura principal formada por perfiles de aluminio prefabricados. A esta estructura principal se le añade un tablero de madera que servirá como base de operaciones.

3.2. Diseño y montaje

El requerimiento actual del robot y de la cámara implica una altura de trabajo de 96 mm, y unas dimensiones de 700x700 mm como mínimo. Para que la cámara sea capaz de captar todo el entorno en dichas condiciones, requiere de una altura superior a los 950 mm.

Para ello, se dispone de un conjunto de perfiles de aluminio de 40x40 mm y un tablero de madera de 16 mm, logrando así la altura requerida apilando un perfil encima de otro y añadiendo la base del

tablero. Para asegurar la estabilidad de la estructura, las uniones entre perfiles se realizan por medio de escuadras. Para asegurar la altura correcta de la cámara es necesario disponer de un pilar que se encuentre lo suficientemente alejado de la trayectoria del robot para evitar colisiones. Eso hace necesario que la estructura sea capaz de soportar no solo el peso del perfil sino además el momento flector que este genera.

Otro aspecto importante a considerar es la unión del robot con la base de trabajo, ya que este cuenta con unos anclajes situados a una distancia de 80 mm del canto de la base, con cuatro pernos de métrica M8.

El soporte de unión a la cámara se diseña basándose en el principio de funcionamiento de una corredera, pudiéndose mover con un grado de libertad a lo largo del eje x gracias a un perfil transversal situado a la altura necesaria. Este soporte se diseña también con la capacidad de situar la cámara en diferentes posiciones del eje y, logrando así la capacidad de localizar el origen de coordenadas en diferentes posiciones tanto en el eje x como en el y. La altura en el eje z también se puede regular, mediante la unión por escuadras del perfil transversal al pilar principal de la estructura. Esto proporciona al sistema una gran versatilidad, permitiendo localizar el origen de coordenadas en cualquier punto del entorno.

El empleo de elementos prefabricados como los perfiles de aluminio, escuadras, y tornillería estándar permite la reducción de costes de la misma, y la fácil sustitución, reducción o ampliación de componentes para poder modificar de forma sencilla las principales especificaciones de la base de trabajo.

3.3. Resultado

En comparación con el entorno anterior, se ha logrado una gran mejora, ya que se cumple con todos los requerimientos establecidos. Se aumenta la estabilidad del entorno anclando la cámara a la propia mesa en lugar de anclarlo al robot, reduciendo así la influencia de los movimientos de este. El brillo se elimina sustituyendo el acabado pulido por un tablero con acabado satinado. Finalmente, se logra la modularidad deseada pudiendo adaptar el entorno a las diferentes necesidades.

A continuación se muestran imágenes del resultado final del entorno de trabajo, ensamblado y preparado para el funcionamiento del sistema actual de robot y cámara.

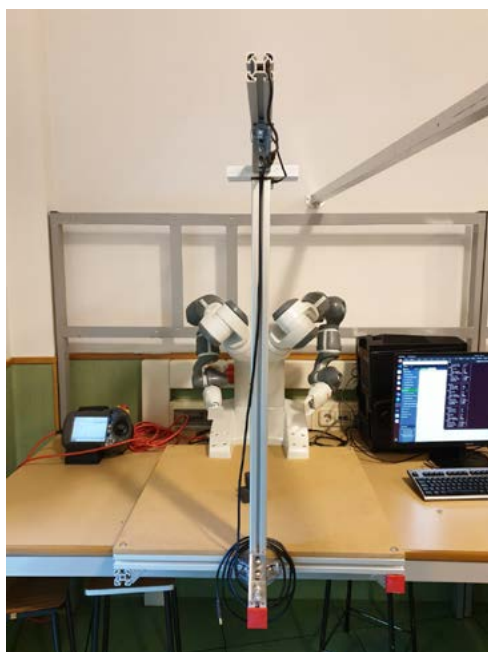


Figura 3.1: Entorno de trabajo



Figura 3.2: Entorno de trabajo

4. MEJORAS DE CÁMARA

4.1. Introducción

Con el fin de mejorar la dinámica de trabajo y reducir los errores debidos a problemas de configuración de la cámara o por una mala calibración. Se ha decidido desarrollar un *driver* universal para las cámaras Intel Realsense. El objetivo es poder portar dicho *driver* a cualquier proyecto o rama de desarrollo del proyecto actual y evitar tener que lidiar con la cámara.

El *driver* debe de contar con todas las funciones que se consideren necesarias para tanto la captura de imágenes como el posprocesado de las mismas. Además, se desea mejorar los resultados obtenidos con las cámaras. para ello se desarrollará un sistema de calibración que permita establecer los parámetros intrínsecos y extrínsecos.

4.2. Estructura

El *driver* se ha diseñado en forma de clase de forma que sea fácil e intuitivo de usar. Y así se evita que un usuario se olvide de inicializar la cámara. Otra ventaja de trabajar con clases es la posibilidad de trabajar con múltiple cámaras y varias instancias de la clase. La estructura general de *driver* se puede observar al final de este capítulo.

```
/home/user/CICLAB/camera
__ Camera_Calibration_CICLAB.py
_ Camera_tester_CICLAB.py
_ Driver_Realsense_CICLAB.py
_ Config.json Intrinsics&Extrinsics.npz
_ pattern.png
_ Calibration_Images
__ Colour
__ 0000_Colour.png
__ ...
__ Depth
__ IR
__
```

4.3. Implementación

El *driver* se ha diseñado de forma que sea fácilmente implementable en otros proyectos y con otras cámaras. Si se desea cambiar de proyecto solo se debe de copiar la carpeta que contiene el *driver* dentro del nuevo proyecto e incluirla en este. Y modificar el ejemplo de manejo del *driver* ("Camera tester.py") para cumplir las funciones necesarias.

En caso de que se desee cambiar de cámara se debe de distinguir entre un cambio de dispositivo y un cambio de modelo. Si se va a emplear una camera nueva pero del mismo modelo solo será necesario recalibrarla para calcular los parámetros intrínsecos y extrínsecos. Para ello se debe de imprimir el patrón de ajedrez incluido con el *driver* y con la ayuda de "Camera tester.py" y su función para guardar imágenes. Se debe de capturar por lo menos 30 imágenes del tablero en distintas posiciones. A continuación, ejecutar "Camera Calibration CICLAB.py" de calibración. Este *script* se encargará de calcular los intrínsecos y generar un archivo de configuración que más adelante el *driver* empleará.

Si por el contrario, se va a cambiar no solo de dispositivo también de modelo se debe de ejecutar un paso previo. Ejecutar el propio programa de Intel Realsense para establecer una configuración apta para el escenario de trabajo. Grabar esa configuración en formato .json y sustituir el archivo "Config.json"

del *driver*. Tras completar este paso abrir el *driver* y comprobar en las líneas 91-99 que las resoluciones para los diferentes sensores incluidas son compatibles con la cámara. Finalmente realizar el proceso de calibración visto en el párrafo anterior.

```
##
# Class definition DiverRealsense
# Author: Ignacio Ortiz de Zúñiga Mrgot
# Date: June 2021
# Course: 1º MII + MIC
#
# Purpose: Definition of a class to handle all functions and variables
# needed to control the camera. It uses parameters and functions
# from the realsense SDK class pipeline.
#
# Functions:
# - init ():      Creates a new object of the class self, it creates a
#                 new
#                 pipe to connect with the self and sets a custom
#
# - del ():       Stops the pipeline before destroying the class. It has
#                 to be done to avoid errors when reconnecting.
#
# - setCalibration(): Loads custom intrinsics and extrinsics determine
#                 by Camera_Calibration_OCLAB.py
#
# - getColour():  Returns a colour image(1920x1080x3 uint8). It gets colour
#                 and depth data from the self, alains it and reshape it
#                 into a matrix form.
#
# - getDepth():   Returns a depth image(1024x768 uint16). It gets depth
#                 data from the self, alains (if wanted) it and reshape it into a
#                 matrix form.
#
# - getIR():      Returns a infrared image(1024x768 uint16). It gets ir
#                 data from the self, alains (if wanted) it and reshape it into a
#                 matrix form.
#
# - getImages():  Returns a colour image(1920x1080x3 uint8) and depth image
#                 (1024x768 uint16). It gets colourand depth data from the self,
#                 alains it and reshape it into a matrix form.
#
# - getAllImages(): Returns a colour image(1920x1080x3 uint8) and depth image
#                 (1024x768 uint16) and a infrared image (1024x768 z8).
#                 It gets colour, depth and IR data from the self, alains it and
#                 reshape it into a matrix form.
#
# - saveImages(): Saves a colour image(1920x1080x3 uint8) and depth image
#                 (1024x768 uint16) and a infrared image (1024x768 z8).
#                 It gets colour, depth and IR data from the self, alains
#                 (if wanted) it and reshape it into a matrix form.
#
# - transform_RGB_To_Depth(): Transform point between RGB and Depth images. It uses the
#                 camera intrinsics and extrinsics.
#
# - getPosition(): Transform point between RGB and Depth images. It uses the
#                 camera intrinsics and extrinsics.
```

5. BASE DE DATOS SINTÉTICA Y RED NEURONAL

5.1. Entorno de trabajo

Si se desea reproducir los resultados obtenidos, producir más imágenes de distintos objetos o reentrenar una nueva red neuronal, antes se debe de preparar varios entornos de trabajo. En nuestro caso se ha empleado miniconda3 para la generación de dichos entornos. Junto con el código se adjuntan los archivos tipo .yml necesarios para automatizar la creación del entorno.

Por problemas de incompatibilidad debidos a BlenderProc también es necesario el uso de una distribución de Linux.

5.1.1. BlenderProc

BlenderProc es una herramienta desarrollada por DLR-RM [Den+19]. Se trata de una herramienta diseñada para explotar el potencial de Blender y su capacidad de ejecutar *scripts* basados en bpy (su propia librería de Python). De esta forma, con la ayuda de la herramienta y varios archivos de configuración, se puede desarrollar un sistema capaz de posicionar múltiples piezas de forma aleatoria sobre una zona de trabajo considerando las físicas de las mismas.

Para poder renderizar las piezas es necesario primero clonar el repositorio de github de DLR-RM [Ble21]. Se han desarrollado pequeñas modificaciones sobre los archivos `run.py` y `rerun.py` con el fin de poder fijar una semilla para la aleatoriedad. Estos archivos se incluirán con el código del proyecto y deben de ser reemplazados por los mismos. También se ha desarrollado un nuevo *writer* que permite guardar en cualquier momento dado el archivo `.blend`. Este *writer* se ha diseñado con el fin de comprobar la veracidad del renderizado así como las modificaciones sobre la luz y la posición de los objetos. Este archivo también debe de ser introducido siguiendo la estructura dada.

Una vez clonado el repositorio e incluidos los cambios necesarios sobre el mismo se debe de crear un nuevo ambiente de trabajo con miniconda3. Para ello se ha generado el archivo "Blenderproc.yml" que permite automatizar el proceso e instalar los paquetes necesarios para arrancar BlenderProc. Se requiere de más paquetes pero el resto serán descargados por la herramienta la primera vez que se ejecute así como la versión de Blender necesaria.

Paquetes necesarios:

- python 3.9.5
- pip 21.1.3
- yaml 0.2.5
- pyyaml 5.4.1
- h5py 3.2.1
- matplotlib 3.3.4
- git 2.23.0

5.1.2. CNN

Para el desarrollo de la red neuronal se va a emplear tensorflow y keras. Por ello para poder trabajar con dichas redes se debe de crear un nuevo espacio de trabajo. Para ello se ha generado el archivo "CNN.yml" que permite automatizar el proceso e instalar los paquetes necesarios para correr o entrenar una red neuronal.

Paquetes necesarios:

- python 3.9.5
- tensorflow 2.5.0
- tensorflow-gpu 2.5.0
- matplotlib 3.3.4
- keras 2.4.3
- pandas 1.2.5

5.2. Base de datos sintética

Uno de los mayores retos de este proyecto es la generación de la base de datos sintética. Esto es necesario debido a la naturaleza de los datos que se desean obtener por la red neuronal. Sería demasiado costoso e impreciso de generar manualmente. Se desea que la red neuronal determine el punto de agarre óptimo así como el vector normal a dicho punto. El punto sí que puede ser determinado de forma manual escogiendo las coordenadas x e y en píxeles. Sin embargo, el vector normal es mucho más difícil de extraer de una imagen y menos aún de forma precisa.

Es por ello que se ha optado por el desarrollo de una base de datos sintética. Tras un análisis del mercado se ha determinado que la mejor herramienta de código libre disponible en el momento es BlenderProc [Den+19]. Destaca por su personalización, documentación, soporte de la comunidad y modularidad. Un inconveniente de la herramienta es su falta de soporte para Windows. Actualmente se encuentra en desarrollo pero solo da soporte de forma oficial a Linux y Mac OS.

El proceso que se va a llevar a cabo consiste en el renderizado de dos imágenes para cada escena creada. En la primera se emplearán las piezas deseadas con las texturas y colores propios de dicha pieza. En el caso de la segunda imagen se añadirá una textura a dichas piezas con los posibles puntos de agarre coloreados. Esto se hace con el objetivo de poder identificar dichos puntos más adelante con un posprocesado y generar así un archivo .csv que contenga la imagen original y las coordenadas y el vector normal para cada imagen. También se renderizará una imagen de normales (indica el vector normal de cada pixel en la imagen) y una imagen de profundidad para cada escena.

5.2.1. Estructura

En esta sección se va a explicar la estructura empleada. Es importante seguir esta estructura para permitir la compatibilidad con la herramienta BlenderProc.

Se puede observar que además de los *scripts* (.py & .sh) existen dos carpetas llamadas "Physics Sampling" y "Pose Sampling". Cada una de estas carpetas contienen la configuración de la cámara así como los archivos .yaml para configurar BlenderProc. Es importante separar estas dos carpetas ya que estas generan la escena de forma diferente empleando diferentes herramientas. Esto se verá más en detalle a continuación.

```
/home/user/CICLAB/BlenderProc rerun.py
__ run.py
__ CICLAB
__   Physics_Sampling
__     camera_positions.txt
__     config.yaml config_dots.yaml
__     Pose_Sampling
__     camera_positions.txt
__     config.yaml config_dots.yaml
__     Decompress.py
__     Deploy.sh
__     Normals_test.py
__ Prepare_Dataset.py
...
src
__ writer
__   BlenderWriter.py
__
__
```

5.2.2. Proceso

Se puede observar que existen un total de cuatro archivos .yaml para determinar la configuración de los renderizados. Esto es debido a la existencia de dos tipos de renderizados diferentes. Y a que cada tipo de renderizado requiere ser ejecutado dos veces pero cargando objetos diferentes. Esta última parte es para poder recrear la misma escena pero con objetos sobre los que se ha dibujado los posibles puntos de agarre. Esta imagen será empleada más adelante para determinar el punto de agarre óptimo con un posprocesado.

Al trabajar con “scripts” se pueden ejecutar estos de forma independiente, pero se recomienda emplear “Deploy.sh” ya que este se encarga de automatizar el proceso y se asegura de que para ambas imágenes (con y sin los agarres indicados) ambas escenas sean idénticas. El ejecutable renderizará primero todas las imágenes sin agarre deseadas y a continuación, volverá a fijar la semilla de aleatoriedad y renderizará las mismas imágenes pero con los puntos de agarre. Esto se llevará a cabo para ambos métodos desarrollados (“Pose Sampling” y “Physics Sampling”).

5.2.3. Configuración

Como se ha mencionado previamente, se emplean archivos .yaml para configurar la escena y el tipo de renderizado. El objetivo del archivo es determinar qué tipo de módulos se van a emplear y en qué orden. Existen distintos tipos de módulos con distintas funciones y se encuentran dentro de la carpeta src de BlenderProc.

Con la ayuda de estos módulos se pueden crear escenas en Blender y renderizarlas de forma rápida. La herramienta permite un gran control sobre la escena permitiendo determinar todos los parámetros necesarios como puede ser los intrínsecos de la cámara. De esta forma podemos asegurarnos que las imágenes se asemejan lo máximo posible a la realidad.

```
/home/user/CICLAB/BlenderProc/src
__ run.py
__ _ debug
__ _ py
__ _ camera
__ _ ....
__ _ composite
__ _ constructor
__ _ lighting
__ _ loader
__ _ ....
__ _ renderer
__ _ writer
```

Como se ha mencionado previamente, se han desarrollado dos tipos de configuración para la creación de las escenas. Sin embargo, estas configuraciones son idénticas a excepción por el método empleado para ubicar las piezas sobre la zona de trabajo. Es por ello por lo que se van a explicar en conjunto y solo se mencionará sus diferencias cuando se llegue a la sección de posicionamiento de las piezas. Se recomienda abrir uno de los archivos de configuración a la vez que se lee esta sección para facilitar su comprensión.

El archivo de configuración comienza con la comprobación de requisitos. Se comprueba que el sistema cuente con todos los paquetes necesarios y que se disponga de la versión de Blender requerida. Una vez completados estos requisitos se carga el “main.Initializer”. Este se encarga de cargar la configuración

global de la zona de trabajo y de la inicialización de Blender. También se corre el módulo "manipulators. WorldManipulator" para fijar el "category id" del entorno de trabajo a 0. Esto es necesario para más adelante poder crear la segmentación y las anotaciones de la escena.

Una vez arrancado Blender e inicializada la escena (solo se ha fijado el fondo y la cámara) se genera la zona de trabajo con la ayuda del módulo "constructor.BasicMeshInitializer". En nuestro caso la zona de trabajo se determinará por un cubo. El tamaño de este se puede modificar con la escala y si se fija a [0,35, 0,35, 0,05] el área generada será de 0,7m 0,7m asemejándose así mas a la realidad. Pero reducir mucho el área de trabajo dificulta la colocación de las piezas. Es por ello por lo que de momento se ha establecido un área mayor. Una vez creado el cubo se fijan sus propiedades con "manipulators. EntityManipulators". En este caso como se trata de la zona de trabajo no se considerara por el motor de físicas (siempre permanecerá estático), tampoco se considerará para la segmentación y por ello "category id" vale 0.

A continuación se cargan el resto de objetos que van a componer la escena. Para ello se emplea "loader.ObjectLoader". Se correrá dos veces este módulo, la primera vez se cargarán las piezas de LEGO (piezas auxiliares debido a la falta de más piezas) y la segunda se cargará múltiples veces el objeto G1 a. En este caso también se añaden propiedades a todos los objetos cargados. Se activa las físicas, se fija su "category id" a 0 para las piezas de LEGO y a 1 para los objetos de G1 a. También se determina cómo se debe de tratar cada pieza por el motor de físicas. Se emplea "CONVEX HULL" para reducir la carga computacional.

Una vez se han cargado en Blender todos los objetos, toca posicionarlos. Como se ha mencionado previamente se han desarrollado dos variantes para llevar a cabo este proceso. El primer sistema desarrollado es "Pose Sampling". Con este sistema se intenta colocar sobre la superficie de trabajo los objetos de forma aleatoria y se comprueba que estos no colisionan. Si colisionan se vuelve a inicializar el proceso. La colocación de las piezas es llevado a cabo por el modulo "object.OnSurfaceSampler". Tras el cual se corre "object.PhysicsPositioning" para dejarlas caer sobre la zona de trabajo. Este sistema presenta problemas cuando los objetos son grandes en comparación a la zona de trabajo ya que requiere de múltiples intentos para posicionar los objetos. Esto implica una mayor carga computacional. Sin embargo, presenta la ventaja e inconveniente de que se asegura de que los objetos no colisionen. Esto implica que en todas las fotos se podrá observar los objetos de forma independiente y distanciados entre sí.

El otro método desarrollado es "Physics Sampling". Como su nombre indica, en este caso se empleará el motor de físicas para ubicar las piezas. El proceso a seguir consiste en colocar de forma aleatoria sobre la superficie de trabajo todos los objetos. Estos pueden estar colocados a diferentes alturas y con diferentes orientaciones. Se activan las físicas y se dejan caer durante varios segundos para asegurarse de que las piezas se han posicionado y se renderiza la escena. Este proceso es llevado a cabo por el módulo "object.ObjectPoseSampler". Finalmente se corre "object.PhysicsPositioning" para dejarlas caer sobre la zona de trabajo.

Como se puede observar, la escena ya ha sido compuesta y las piezas posicionadas. Pero antes de poder renderizar es necesario determinar la iluminación y la cámara. La iluminación se determina de forma aleatoria con el módulo "lighting.LightSampler" y la cámara se fija en la posición determinada por el archivo "camera positions.txt". Para fijar la cámara se emplea el módulo "camera.CameraLoader" y se fija la resolución de la misma así como sus intrínsecos.

Llegado a este punto, el sistema está preparado para renderizar las imágenes necesarias. Para ello se emplean dos renderizados diferentes: "render.RgbRenderer" y "render.SegMapRende-

rer". El primero se encargará del renderizado de la imagen de color, distancia, profundidad y la imagen de normales. El segundo se encargará de determinar el mapa de segmentación el cual se empleará más adelante para la creación de las anotaciones.

Finalmente antes de poder finalizar el proceso se debe de guardar y almacenar toda la información necesaria. La herramienta trabaja sobre una carpeta temporal, es por ello que antes de cerrar Blender y el proceso se debe de transferir todo al directorio deseado. También es necesario crear las anotaciones mencionadas anteriormente. Para todo ello se van a emplear los módulos "writer".

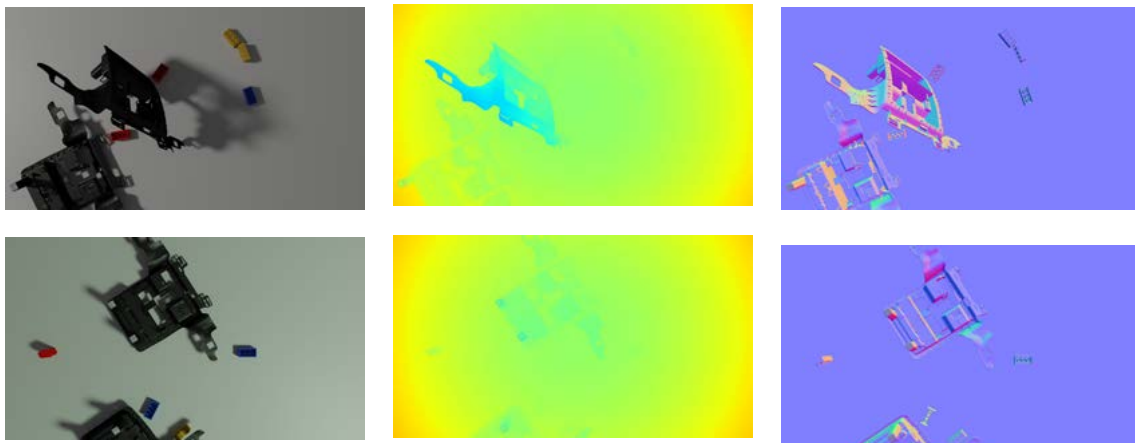


Figura 5.1: Ejemplo de renderizado de "Physics Sampling" superior y "Pose Sampling" inferior

5.2.4. Posprocesado

Con la ayuda de Blender y de BlenderProc se ha conseguido renderizar un elevado número de imágenes y anotaciones con las que poder entrenar la red neuronal. Pero antes de ello deben de ser posprocesadas para convertirlas a un formato admisible por la red neuronal. Pero para ello antes es necesario entender qué tipo de información necesita la red neuronal y cómo se introduce esta dentro del sistema.

La red neuronal que se desea crear debe de ser capaz de determinar la posición del punto de agarre y el vector normal a dicho punto. Para ello se debe de haber identificado previamente las imágenes antes con la ayuda de otra red neuronal basada en "YOLO". Como se sabe la posición del objeto se puede hacer un recorte de la imagen original para incluir solo a la pieza deseada y escalar a la dimensión deseada. En nuestro caso se ha decidido emplear como base una red neuronal pequeña conocida como *MobilenetV2* la cual requiere de imágenes de 224x224 píxeles.

Teniendo todo ello en cuenta se ha creado un "script" encargado de abrir tanto las imágenes sin los puntos de agarre como con los puntos de agarre y generar el *dataset*. Ambas imágenes (con y sin agarres) son recortadas en base a las anotaciones generadas por BlenderProc y analizadas en busca de los puntos de agarre. Tras analizar la imagen recortada con los puntos de agarre y determinar el punto de agarre óptimo (se escoge el punto más visible) se determina el vector normal a dicho punto con la imagen de normales. Este vector requiere ser normalizado por emplear un orden y dimensión distinto al del brazo robótico. Finalmente se guarda en una nueva carpeta la imagen sin agarres recortada y se escribe en un archivo .csv el centro del punto de agarre escogido así como el vector normal a dicho punto.



Figura 5.2: Ejemplo de posprocesado

5.3. Red neuronal

5.3.1. Objetivo

Se desea desarrollar un sistema capaz de identificar para cada pieza el punto de agarre óptimo así como el vector normal al mismo. Con el fin de posteriormente transmitir esta información a un brazo robótico y que este pueda recoger la pieza.

5.3.2. Estructura

El objetivo final es la creación de una sola red neuronal capaz de no solo localizar las piezas, también ser capaz de identificar los puntos de agarre. De esta forma se puede optimizar mucho el sistema completo mejorando los tiempos de respuesta. Este planteamiento puede presentar varios problemas y dificulta bastante el desarrollo de la red. Además, primero es necesario verificar que una red neuronal sea capaz de determinar el punto de agarre y el vector normal. Por ello se ha optado por desarrollar un sistema modular y con un proceso dividido por fases.

El sistema actualmente implantado y basado en YOLO permanecerá vigente y se encargará de detectar e identificar las piezas. Esta información se transferirá a un algoritmo heurístico que se encargará de escoger qué pieza coger basándose en la posición global del conjunto de piezas. Una vez determinada la pieza se realizará un recorte de la imagen que incluya a dicha pieza y se alimentará a una nueva red neuronal con esta información. Esta red será la encargada de determinar para la pieza dada el punto de agarre y su vector normal. Lo ideal es que esta red sea capaz de trabajar con todas las piezas, pero por con el fin de simplificar lo máximo posible el problema se va a desarrollar un red para cada pieza.

Como se van a desarrollar una gran multitud de redes estas deben de ser pequeñas y eficientes. Es por ello por lo que se ha decidido basarlas en *MobileNetV2* [San+19]. Se trata de una red neuronal convolucional basada en una estructura de residuos invertida y pensada para correr en dispositivos poco potentes. En la figura 5.3 se puede observar su estructura.

Input	Operator	t	c	n	s
$224^2 \times 3$	conv2d	-	32	1	2
$112^2 \times 32$	bottleneck	1	16	1	1
$112^2 \times 16$	bottleneck	6	24	2	2
$56^2 \times 24$	bottleneck	6	32	3	2
$28^2 \times 32$	bottleneck	6	64	4	2
$14^2 \times 64$	bottleneck	6	96	3	1
$14^2 \times 96$	bottleneck	6	160	3	2
$7^2 \times 160$	bottleneck	6	320	1	1
$7^2 \times 320$	conv2d 1x1	-	1280	1	1
$7^2 \times 1280$	avgpool 7x7	-	-	1	-
$1 \times 1 \times 1280$	conv2d 1x1	-	k	-	-

Figura 5.3: Estructura MobileNetV2

Se parte de *MobileNetV2* como base para extraer las características de cada imagen. Pero como el objetivo es una regresión en lugar de una clasificación se debe de eliminar las últimas capas y sustituirlas por una capa 'flatten' seguida de tres capas "fully connected". Las dos primeras capas se encargarán de analizar la imagen y para ello tendrán una dimensión elevada. La última capa será la encargada de generar la salida. Para ello su dimensión será cinco que es el número de salidas que tenemos. Se debe de seguir investigando más pero inicialmente se han obtenido resultados positivos con esta estructura.

Layer (type)	Output Shape	Param #
mobilenetv2 1.00 224 (Function)	(None, 1280)	2257984
dense (Dense)	(None, 1280)	1639680
batch normalization (Batch Normalization)	(None, 1280)	5120
activation (Activation)	(None, 1280)	0
dropout (Dropout)	(None, 1280)	0
dense 1 (Dense)	(None, 320)	409920
batch normalization 1 (Batch Normalization)	(None, 320)	1280
activation 1 (Activation)	(None, 320)	0
dropout 1 (Dropout)	(None, 320)	0
dense 2 (Dense)	(None, 5)	1605
activation 2 (Activation)	(None, 5)	0
Total params: 4,315,589		
Trainable params: 2,054,405		
Non-trainable params: 2,261,184		

Figura 5.4: Estructura de la red neuronal

Partiendo de esta red neuronal se ha entrenado con el conjunto de datos generados en la sección anterior. En la figura 5.5 se puede observar un *mse* para validación mínimo de 0.0111. Lo cual se traduce en un *rmse* de un 10%. Como se trata de pruebas iniciales se cree que todavía se puede mejorar bastante el modelo. Y demuestra que se es capaz de crear una red neuronal para llevar a cabo la tarea propuesta. Otro planteamiento a tener en cuenta es la inclusión de la imagen de profundidad obtenida por la cámara L515. Esta se puede incluir como uno de los tres canales de la imagen o crear una nueva red capaz de tratar ambas imágenes.

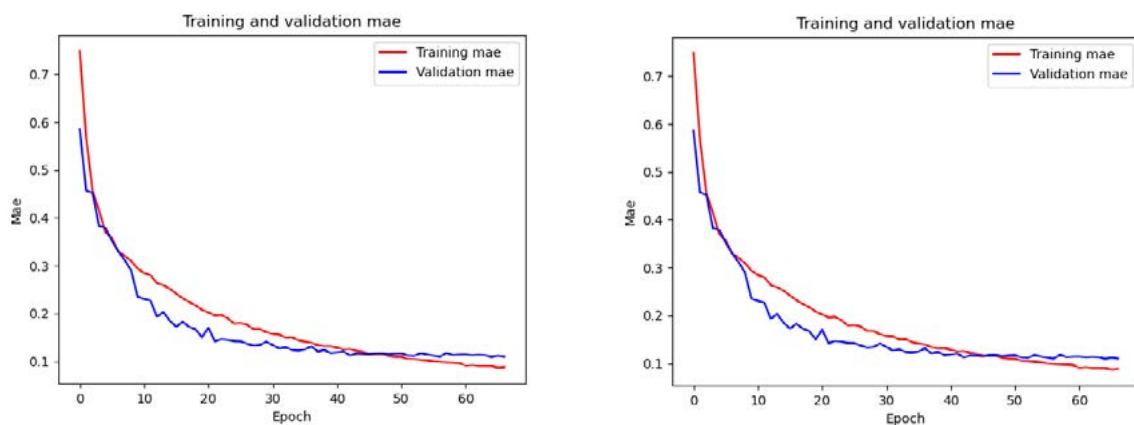


Figura 5.5: Entrenamiento de la red neuronal

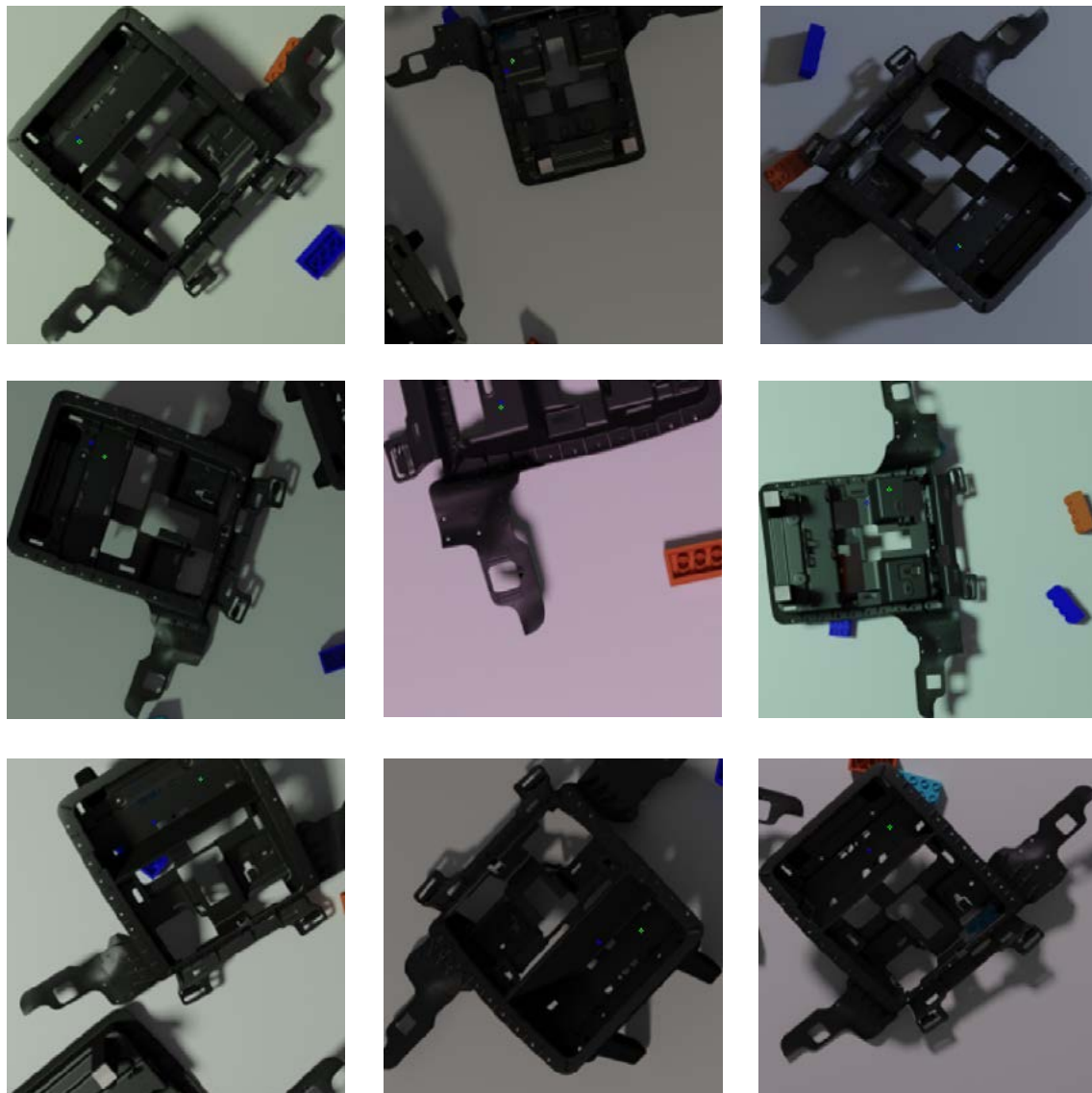


Figura 5.6: Ejemplo de predicciones del centro de agarre de la red neuronal.
En verde el objetivo y en azul la predicción

6. CINEMÁTICA CON RL

6.1. Entorno de trabajo

En esta sección se explicará la configuración del sistema para poder ejecutar el código desarrollado. Para ello utilizaremos archivos *.yaml* y *miniconda*.

6.1.1. Librerías necesarias

El entorno de trabajo utiliza diferentes librerías centradas en algoritmos de aprendizaje, simulación de entornos con físicas, etc.

Paquetes necesarios:

- Python 3.6.
- Plotly Pytest.
- Tensorflow y Tensorflow-gpu 1.14.
- Mujoco 1.5.
- Stable-baselines3 (1.1 o superior).
- sb3-contrib.
- Gym Pandas.
- Pickle5.
- Optuna.

Son necesarias algunas más, pero están todas definidas en el archivo que usará *conda* para instalar las librerías automáticamente. La única librería a instalar manualmente es la del entorno personalizado. También es necesario tener la carpeta llamada *rl-baselines3-zoo* [Raf20] que contiene todos los códigos propios de la librería con el mismo nombre pero que se han modificado para poder usar los entornos personalizados que se han creado.

En cuanto a su funcionalidad, tenemos:

- Plotly y Pytest que nos sirven para evaluar y mostrar información del aprendizaje al usuario.
- Mujoco es el motor de físicas que emplearemos para simular la física del robot.
- Gym es una librería de entornos de aprendizaje por refuerzo que nos proporciona un punto de partida para diseñar nuestro espacio de simulación.
- Stable-Baselines y sus derivados son una serie de programas que nos permiten probar y entrenar diferentes algoritmos de aprendizaje de refuerzo de forma sencilla y modular.

6.1.2. Instalación con Miniconda

Gracias al uso de *miniconda*, la instalación del entorno es realmente sencilla, solo siendo necesario ejecutar un comando:

- `conda env create -f work env.yml`

Recuerde estar trabajando en la carpeta que contiene el fichero correspondiente.

Una vez hecho esto se pueden usar los comandos propios de las librerías para entrenar y comprobar el funcionamiento.



6.2. Entorno personalizado de simulación

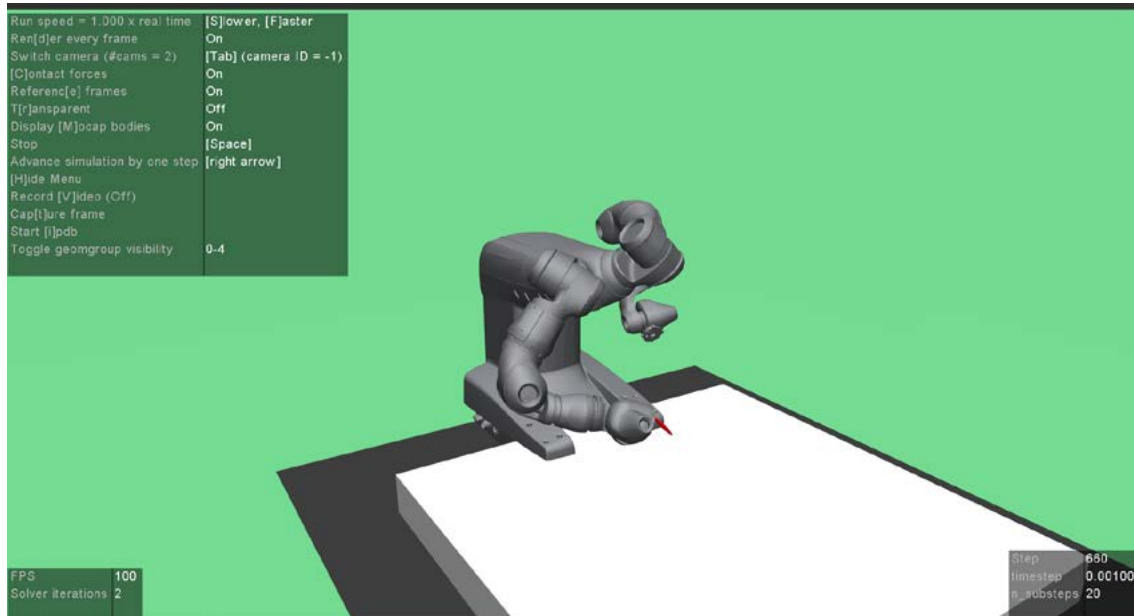


Figura 6.1: Entorno virtual del YUMI

En esta sección se explicará en detalle la librería de entornos personalizados que se ha desarrollado para este proyecto.

6.2.1. Distribución de los archivos

```
/home/user/XXX work_env.yml
___ Gym-ABB
    ___ gym_abb.yml README.md
    _ setup.py
    _ gym_abb
    _ env_kwargs.py
    ___ _init_.py
    _ envs
    _ ...
    rl-baselines3-zoo logs
    _ ...
___ Tensorboard
___ ...
___ hyperparams
___ ...
___ ...
___ enjoy.py
___ train.py
___
___
```

La carpeta del entorno se llama Gym-ABB. En ella podemos encontrar:

- El fichero *gym abb.yml* que contiene la configuración de instalación el entorno.
- El fichero de instalación (*setup.py*) que se ejecuta para incluir los entornos de simulación personalizados en las librerías del entorno de trabajo.
- La carpeta *gym abb* que contiene el resto de *scripts* del programa.

Dentro de la carpeta *gym abb* encontramos:

- Una carpeta con los *scripts* de los entornos.
- Un fichero que almacena los argumentos de personalización de los distintos entornos para que sea fácilmente accesibles y modificables.
- Un fichero de inicialización que se encarga de registrar los distintos entornos creados para poder ser llamados con un *string* y saber la dirección de los ficheros pertinentes para ese entorno.

Dentro de la carpeta *envs/robots* encontramos los archivos *core* del programa:

- Una carpeta con los *assets*, que corresponden a archivos *.xml* y *.stl* que corresponden a las mallas de los distintos elementos del robot y los archivos que describen su configuración para crear el modelo de Mujoco.
- Una carpeta con los ficheros de inicialización de los distintos tipos de entorno del Yumi, en nuestro caso variantes.

Además, se encuentran distintos ficheros:

- *robot env.py* y *yumi env.py* que son los archivos principales que describen el comportamiento del entorno del robot, heredando el segundo del primero.
- *rotations.py*, *error.py* y *utils.py* que son ficheros auxiliares que contienen funciones para convertir tipos de variables y o extraer información de la simulación de Mujoco y gestionar los errores de ejecución.
- Por último, el fichero *move robot.py* que nos permite comunicarnos con el robot físico a través de *yumipy*.

En la carpeta de *assets* los archivos están repartidos en tres carpetas, *stls*, *textures* y *yumi*. Las dos primeras cuentan con archivos visuales que nos permite representar los distintos elementos del entorno y tener en cuenta sus proporciones dimensionales. En la última se encuentran los ficheros *.xml* que corresponden con los entornos propios del robot Yumi de ABB:

- *Shared.xml*: En este fichero se incluyen texturas, materiales, mallas, configuración de clases genéricas, se excluyen algunas colisiones y se definen los actuadores de los brazos del robot.
- *Robot.xml*: Aquí se define el robot Yumi con sus ejes de rotación (límites incluidos), links, formato de visualización, etc. En el brazo derecho tiene definido un objeto tipo *site* que sirve como TCP de referencia para el modelo. Se puede cambiar de sitio pero debe mantener el mismo nombre.
- Archivos *Reach.xml* y *Reach vector.xml*: Son los ficheros correspondientes a los dos entornos creados. Ambos funcionan de forma similar, cargan los dos ficheros anteriores y luego cada uno tiene definido un tipo de *target* distinto, uno es esférico y el otro es una especie de flecha. Esto es así para poder visualizar más fácilmente la diferencia entre un *reach* genérico y uno al que se le especifica llegar un vector de dirección concreto.

6.2.2. Obtención del modelo CAD del Yumi

Para obtener el modelo CAD del robot han sido necesario una serie de pasos:

- Descarga de los modelos CAD de la página web de ABB como archivo *.step*.
- Apertura de los archivos con Autodesk Fusion 360 para asegurar que las mallas de colisión y visuales no contienen errores.
- Se exporta de nuevo el modelo a *.step* y se abre con SolidWorks para comprobar las propiedades dinámicas (masa, inercia, etc).
- Se acondiciona el modelo añadiendo ejes y puntos de referencia para los *joints* que definen su movimiento.
- Se exporta el modelo a URDF con ayuda de un *software* externo "SW2URDF".
- Se revisa el modelo URDF y se exporta con ayuda de la función *Compile* de Mujoco a formato *.xml*.
- Se revisa y corrige el modelo *.xml* para tener una distribución correcta de los elementos del brazo robótico.
- Configuración de los entornos de aprendizaje.

En esta subsección explicaremos la configuración de los argumentos que se le proporcionan a los ficheros del entorno *Reach* del Yumi.

```
- model_name (string):
    path to the environments XML file
- n_substeps (int):
    number of substeps the simulation runs on
    every call to step
- initial_qpos (dict):
    a dictionary of joint names and values that define
    the initial configuration
- target_position (string): the type of target position:
    - ignore: target position is fully ignored
    - fixed: target position is set
    - random: target position is fully randomized according to
        target_range
- target_rotation (string): the type of target rotation:
    - ignore: target rotation is fully ignored
    - fixed: target rotation is set
    - random: fully randomized target rotation around the X, Y and Z
        axis
- target_in_the_air (bool):
    whether or not the target should be in
    the air above the table or on the table surface
- target_offset (float or array with 3 elements): offset
    of the target
- target_range (float):
    range of a uniform distribution for sampling a target
- block_gripper (bool):
    whether or not the gripper is blocked (i.e.
    not movable) or not
- has_obstacle (bool):
    whether or not the environment has an obstacle
- obstacle_range (float):
    range of a uniform distribution for sampling initial
    object positions
- distance_threshold (float, meters):
    the threshold after which a goal is considered achieved
- rotation_threshold (float, radians):
    the threshold after which the rotation of a goal is
    considered achieved
- training (bool):
    whether or not the model is being trained
- reward_type ('sparse' or 'dense'):
    the reward type, i.e. sparse or dense
- alpha_reward (float):
```

6.2.3. Instalación

La instalación es realmente sencilla, solo tienes que tener el entorno de trabajo creado anteriormente activo, estar en la carpeta de Gym-ABB (donde se encuentra el fichero *setup.py*) y ejecutar el siguiente comando:

```
pip install -e.
```

6.3. Algoritmo de aprendizaje e hiper-parámetros

El algoritmo que vamos a implementar es DDPG+HER. En la última versión de *Stable-Baselines3*, HER funciona únicamente como *buffer*, por lo que a la hora de entrenarlo como DDPG+HER hay que definir sus hiperparámetros en el fichero *.yaml* correspondiente a DDPG que se encuentra en la carpeta:

```
../rl-baselines3-zoo/hyperparams/
```

Actualmente están definidos de esta manera:

```
YumiReach-v1:
  env_wrapper:
    - sb3_contrib.common.wrappers.TimeFeatureWrapper
    - utils.wrappers.DoneOnSuccessWrapper:
        reward_offset: 0
        n_successes: 4
    - stable_baselines3.common.monitor.Monitor
  n_timesteps: !!float 20000
  policy: 'MultiInputPolicy'
  buffer_size: 1000000
  batch_size: 2048
  gamma: 0.95
  learning_rate: 0.001
  learning_starts: 1200
  noise_type: 'normal' noise_std:
    0.2
  train_freq: 64
  normalize: True
  tau: 0.005
  replay_buffer_class: HerReplayBuffer
  replay_buffer_kwargs: "dict(
    online_sampling=True,
    goal_selection_strategy='future', n_sampled_goal=4
  )"
}
```

Son una primera aproximación y aún se pueden optimizar con ayuda de Optuna y un tiempo considerable de ejecución.

6.4. Resultados

En esta última sección se hará un resumen de las distintas funcionalidades del *software* y cómo utilizarlas. Las funciones a emplear son principalmente las ya implementadas en *rl-baselines3-zoo*. Para saber en detalle cómo funcionan puedes acceder a la documentación con el siguiente link:

<https://github.com/DLR-RM/rl-baselines3-zoo>

Puedes encontrar la misma información en los archivos *README.md* del programa. Para todos los entornos propios de Gym y para los entornos personalizados que se han incluido.

Actualmente el *software* te permite:

- Entrenar un agente.
- Ensayar un agente entrenado.
- Optimizar hiper-parámetros.

Los algoritmos disponibles son los ya incluidos en *rl-baselines3-zoo* tales como: DDPG, TQC, DQN, SAC, TD3, etc.

Es importante mencionar que la mayor parte de toda la funcionalidad es propia de *rl-baselines3-zoo* [Raf20] y *stable baselines3* [Raf+19], solo se ha acondicionado para poder emplear el entorno personalizado de los robots de ABB.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [Den+19] Maximilian Denninger y col. «BlenderProc». En: *arXiv preprint arXiv:1911.01911* (2019).
- [Raf+19] Antonin Raffin y col. *Stable Baselines3*. <https://github.com/DLR-RM/stable-baselines3>. 2019.
- [San+19] Mark Sandler y col. *MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks*. 2019. arXiv: 1801.04381 [cs.CV].
- [Raf20] Antonin Raffin. *RL Baselines3 Zoo*. <https://github.com/DLR-RM/rl-baselines3-zoo>. 2020.
- [Ble21] BlenderProc. *DLR-RM*. 2021. url: <https://github.com/DLR-RM/BlenderProc>.
- [Fes21] Festo. *Pinza de forma adaptativa DHEF*. 2021. url: <https://www.festo.com/es/es/p/pinza-de-forma-adaptativa-id-DHEF/>.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

ENDESA - e-Distribución**ANÁLISIS DE ACTIVOS ELÉCTRICOS
EN LA SMART CITY DE MÁLAGA****Alumnos:**

Rocío Baixas Durbán
Carmen Domínguez Sanz
Paula Faura García
Álvaro Martínez de Bedoya Vallejo
Belén de Mesa Segura

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas hemos atendido a lo que puede considerarse una “Revolución Digital” y el cambio de paradigma que eso conlleva, viéndose reflejados los cambios tecnológicos incluso en la economía y la sociedad actual.

Cabe mencionar el importante papel de la digitalización de las redes (incorporando técnicas de Inteligencia Artificial y *Big Data*) en dicha revolución, debido al valor e incluso control que actualmente ofrece la posesión de información. La eficiencia en el aprovechamiento de la energía y la capacidad de maximizar el uso de energía de carácter renovable están presidiendo la transformación.

El proyecto PASTORA (*Preventive Analysis of Smart Grids with Real Time Operation and Renewable Assets Integration*), desarrollado en la *Smart City* de Málaga, ha supuesto un gran avance en la digitalización de la red de distribución.

Gracias a la monitorización en tiempo real de las características de cada subestación (tensión, intensidad, potencia...), se pretende estudiar el comportamiento para, de esta manera, entender el funcionamiento de estas, incluyendo las incidencias. Asimismo, mediante el desarrollo de esta red inteligente, no solo se podrán estimar modelos físicos de la red y, de esta manera, resolver errores de forma inmediata y optimizar el mantenimiento de la red, sino que facilitará la integración de las energías renovables.

2. OBJETIVO

El objetivo del proyecto es el estudio de los centros de transformación de la ciudad de Málaga. Para ello se llevará a cabo un análisis de componentes principales (PCA) como continuación del proyecto desarrollado con anterioridad y, seguidamente un modelo de autoencoder para cada una de las subestaciones de la ciudad para comparar y encontrar similitudes entre distintos modelos. En ambos modelos se reduce a dos el número de dimensiones, permitiendo la visualización gráfica de su comportamiento.

A partir de estos modelos, se busca encontrar patrones de conducta y similitudes entre las diferentes subestaciones. Asimismo, en el caso del autoencoder, se buscaría reducir el número de dimensiones, comprendiendo la relación de los datos, para poder reconstruir los datos de nuevo y eliminar el ruido.

3. ESTADO DEL ARTE

La detección de anomalías con PCA y Autoencoders es una estrategia no supervisada útil cuando los datos no están etiquetados, es decir, no se conoce la clasificación real de las observaciones.

A diferencia de otros modelos, el PCA y los Autoencoders no utilizan sus resultados como método de detección de anomalías, sino que utilizan el error de reconstrucción producido al revertir la reducción de dimensión. El error de reconstrucción compara el resultado obtenido con el resultado inicial, considerando los pares desiguales como datos erróneos o ilógicos.

Dado que la búsqueda de ese nuevo espacio ha sido guiada por la mayoría de las observaciones, serán las observaciones más próximas al promedio las que mejor puedan ser proyectadas y en consecuencia mejor reconstruidas. Las observaciones anómalas, por el contrario, serán mal proyectadas y su reconstrucción será peor. Es este error de reconstrucción (elevado al cuadrado) el que puede emplearse para identificar anomalías.

4. MÉTODO USADO PARA RESOLVER EL PROBLEMA PROPUESTO

4.1. Limpieza de datos

Con el objetivo de llevar a cabo la limpieza de los datos que se desean estudiar en primer lugar se ha realizado una edición previa de dicho documento. Primero se ha editado el *header* de algunos datos con el objetivo de simplificar y unificar los nombres, además se ha modificado el formato de la fecha de los datos a otro estándar fácilmente legible. El fichero de datos incluye miles de observaciones por lo que no es de extrañar que algunos de ellos se encuentren en blanco, por lo que una parte muy importante de la limpieza de datos consiste en eliminar los NAs ("Not a Number", es decir, valores vacíos) y *outliers*.

En la limpieza también se han eliminado los datos correspondientes a las fechas duplicadas con *drop_duplicates()*, los datos de fechas duplicadas son aquellos en los que para una misma fecha, hora y subestación hay varias observaciones distintas.

Otro paso a seguir es deshacerse de los datos que a simple vista se puedan identificar como valores erróneos, también llamados *outliers*. En este caso se eliminaron los datos en los que las potencias activas tomaban valores negativos y en los que las potencias reactivas valores positivos. Esto se debe a que se ha supuesto que la potencia activa es positiva cuando la compañía entrega potencia al cliente. Cuando el cliente entrega potencia a la red gracias a paneles solares por ejemplo, la potencia activa sería negativa pero es un caso muy extraño. Por esta razón, se considera que los valores negativos son valores prescindibles para el estudio. En el caso de la potencia reactiva, se ha considerado que los valores tienen que ser negativos puesto que esto supone que las cargas están generando reactiva (son capacitivas). Una vivienda genera potencia reactiva debido al funcionamiento de electrodomésticos como las neveras o los microondas que necesitan de la generación de campos eléctricos o magnéticos para funcionar.

El siguiente paso ha sido desarrollar la visualización del *boxplot* o diagrama de caja, que representa la mediana y los cuartiles, además de los *outliers*. Estos *outliers* son eliminados.

Con el objetivo de conocer más información acerca de la dispersión de los datos se calcula la varianza, de este modo se puede estudiar la variabilidad de sus datos respecto a su media. Previamente es necesario estandarizar los datos de modo que todas las variables se encuentren en la misma escala para poder compararlos entre sí. De este modo todas las variables pasarán a tener media 0 y desviación estándar de 1.

4.2. Análisis de patrones

En este apartado se ha llevado a cabo un estudio de los patrones que presenta la demanda de potencia activa en la red de distribución de Endesa en Málaga. Los meses estudiados son los de octubre, noviembre y diciembre, previos al confinamiento y los meses de marzo abril y mayo, durante el confinamiento.

Ante el gran número de subestaciones a estudiar y la evidente similitud de todas las curvas (la demanda de potencia siempre sigue el mismo patrón: una zona valle durante la madrugada y dos picos de potencia, uno por la tarde y otro por la noche), se ha decidido hacer hincapié en: los dos picos de potencia, la hora a la que empieza a caer la demanda por la noche y las subestaciones que tienen menos demanda y que se suelen corresponder a zonas urbanas alejadas del centro de Málaga con menor población.

En los meses anteriores al confinamiento, la mayoría de los días siguen un patrón que se repite a lo largo del mes. Se pueden diferenciar 3 grupos de días diferentes según estos patrones.

- **Grupo 1:** Durante estos días la subestación con mayor valor de demanda en los dos picos de potencia es la S531. Las subestaciones con menor demanda son la S201, la S68638 y la S868 (estas tres subestaciones se ubican en zonas alejadas del núcleo urbano y en zonas de baja densidad poblacional). Durante estos días la demanda empieza a descender considerablemente a las 21:00 horas.
- **Grupo 2:** A este grupo pertenecen los días en los cuales la subestación con mayor demanda durante la noche es la S531. Por otra parte, durante el pico de la tarde, las subestaciones S531, S76020, S740 y la S499 son las que presentan un pico mayor de demanda de potencia activa. Estas últimas subestaciones se encuentran en el núcleo urbano malagueño, donde más densidad de alojamientos residenciales hay. Las subestaciones con menor demanda son la S201, la S68638 y la S868. Por último, hay que indicar que, a partir de las 21:00 horas, la demanda empieza a sufrir una caída.
- **Grupo 3:** los días correspondiente a los fines de semana se diferencian claramente de los días laborables. La caída de la demanda por la noche se retrasa hasta las 22:00 horas y las subestaciones S201 y S68638 ya no son las que menos demanda presentan, puesto que se interpreta que corresponden a segundas viviendas ocupadas los fines de semana solamente. En cuanto a la subestación con mayor demanda, de nuevo, la S531 es la que tiene un pico mayor, aunque no presenta un descenso de potencia puesto que estamos estudiando unos meses no cálidos donde suponemos un menor movimiento hacia las segundas residencias.

Respecto a los valores picos alcanzados por las subestaciones en octubre y noviembre, cabe destacar, que pocos días alcanzan los 150kW en el pico de la tarde, estando la media en 140kW aproximadamente. En cuanto al pico de la noche, se ha estimado en 120kW.

En diciembre, debido a la Navidad, el grupo 3 es más numeroso puesto que los días no laborables se comportan de manera similar a los fines de semana. Estos días de Navidad presentan una mayor demanda de potencia activa puesto que la mayoría de la gente hace vida en casa durante todo el día. Por ello, la mitad de los días del mes alcanzan unos picos superiores a 150kW tanto por la tarde, como por la noche. Hasta el día 11 de diciembre, las curvas de potencia y los valores se asemejan a las de los meses anteriores, pero a partir del día 12, los valores aumentan considerablemente hasta alcanzar algún pico de 210kW. Finalmente hay que destacar que no se tienen datos hasta el día 11 de diciembre de la subestación S531, por la que presenta mayor demanda es la S740.

Todos estos patrones observados a lo largo de los meses de octubre, noviembre y diciembre dejan de observarse desde el principio del confinamiento decretado en la segunda semana de marzo. En esas fechas, la población malagueña tuvo que recluirse en sus casas y, por ende, la potencia activa consumida por cada ciudadano aumentó en gran medida. La subestación con mayor demanda siguió siendo la S531 excepto algunos días en mayo, cuando el confinamiento se relajó, que otras subestaciones (S740, S612) también presentaron grandes picos de demanda. Como la gente estaba en sus casas, la demanda empezaba a decaer a las 22:00 horas incluso entre semana. Las subestaciones con menor

demanda fueron la S480 y la S868. En cuanto a los valores de potencia demandada alcanzados, llama poderosamente la atención, que los días de marzo en los que la gente estuvo confinada, superan siempre los 180kW tanto por la tarde, como por la noche. En abril estos valores empiezan a disminuir, aunque hubo días con valores muy altos próximos a 180kW, pero de media, se estima que hubo 20kW menos de consumo. Finalmente, en mayo, la media estuvo en 140kW debido al aumento de la temperatura media y la consecuente no utilización de la calefacción.

Por último, se quería reseñar, que la industria tiene su propio centro de transformación, por lo que su demanda de potencia no se ve reflejada en los datos de Endesa.

4.3. Análisis de Componentes Principales (PCA)

En primer lugar, se ha llevado a cabo el Principal Component Analysis (PCA), siguiendo la línea del proyecto desarrollado anteriormente, con la diferencia del lenguaje de programación elegido, que en este caso será Python.

Se trata de un aprendizaje no supervisado, dado que no se predice la salida o variable de respuesta, sino que se pretende extraer la información más importante a partir de las variables de entrada. Sin embargo, es más difícil validar los resultados obtenidos al no tener una variable de salida con la que compararlos.

El PCA identifica las direcciones de mayor varianza para su cálculo (siendo necesario escalar los datos de entrada, como se ha explicado anteriormente, para evitar errores significativos), por lo que es muy sensible a *outliers*.

De esta manera se consigue reducir las dimensiones (es decir, quedándose únicamente con algunas componentes principales), consiguiendo un modelo mucho más sencillo sin perder información relevante. Para ello, se evalúa la varianza explicada acumulada con cada una de las componentes principales y se decide a partir de qué número dicho incremento deja de ser sustancial (es decir, se busca el "codo" de la gráfica).

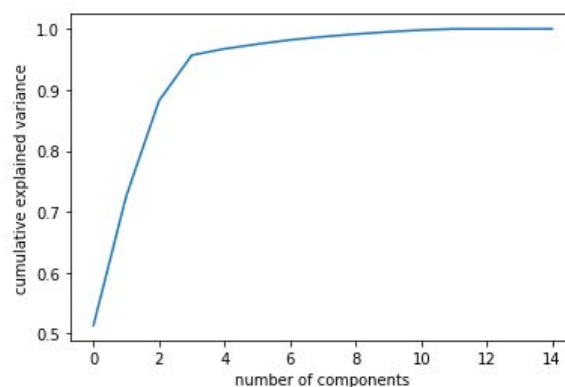


Figura 1: Varianza explicada acumulada en función del número de componentes principales

En la Figura 1 se representa la varianza explicada acumulada en función del número de componentes principales. Como se puede observar, partiendo de 16 variables se podría reducir considerablemente las dimensiones o variables necesarias para explicar la mayor parte de la varianza, dado que entre 2 (varianza explicada acumulada de aproximadamente el 73%) y 4 (varianza explicada acumulada de aproximadamente el 97%) componentes principales se puede comprimir la información de entrada.

Por otro lado, en la Figura 2 se puede observar la representación de cada una de las subestaciones en 3 dimensiones, es decir, habiendo utilizado las tres primeras componentes principales para dicha representación. Se pueden apreciar (detectables por el ojo humano) patrones o líneas de comportamiento (bastante claras o definidas) para cada una de las subestaciones de manera sencilla.

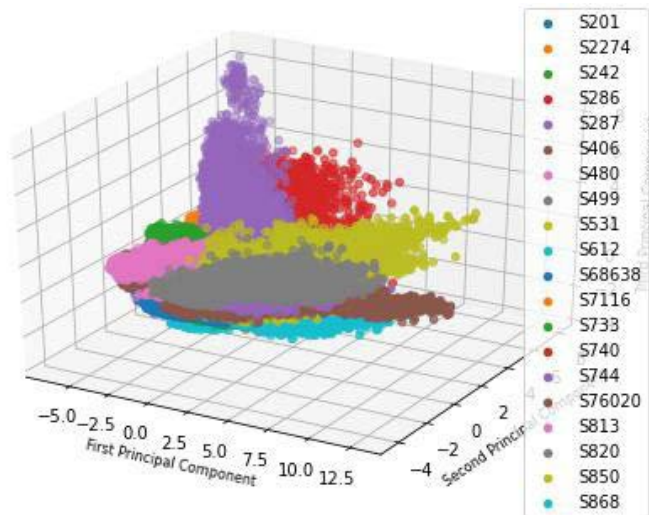


Figura 2: Representación en tres componentes principales

Por último, se ha decidido representar, como se muestra en la Figura 3, las variables del conjunto de datos de entrada frente a cada una de las componentes principales (únicamente se han representado en este caso las seis primeras). De esta manera, se puede comprender la influencia o importancia de cada una de ellas en las componentes principales (de manera directa o inversa, a la hora de explicar la varianza del modelo).

Por ejemplo, en la primera componente principal, se encuentra representado la tensión, la intensidad, la potencia activa, la potencia reactiva inductiva y la potencia reactiva capacitiva de la línea 1, luego de la línea 2 y por último de la 3 (en este orden). Se puede apreciar que mientras que, la tensión tiene baja influencia (e inversa), la intensidad y potencia activa de todas las líneas son las que mejor explican o más información aportan, seguidas de las potencias reactivas.

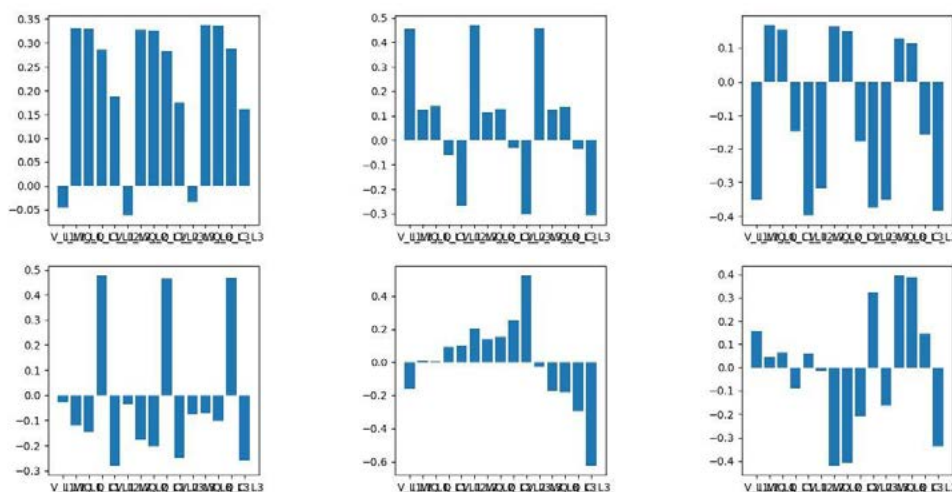


Figura 3: Importancia de las variables de entrada en cada una de las componentes principales.

4.4. Autoencoder

Una vez se ha completado la limpieza del *DataFrame*, se desarrolla un autoencoder para estudiar cada una de las subestaciones de manera independiente, lo que permitirá reducir considerablemente las dimensiones de los datos de entrada (en el denominado *BottleNeck*), además de permitir detectar anomalías de manera más sencilla y eliminar el ruido blanco que se ha podido introducir en el conjunto de datos.

Para entrenar el modelo, el primer paso consiste en separar el conjunto de datos en dos partes: entrenamiento (*train*) y pruebas (*test*). En este caso, el 80% de los datos (elección aleatoria) se destinarán al entrenamiento de los datos y el 20% a las pruebas.

Cabe destacar que se ha decidido escalar los datos, de manera que la media de los datos pase a ser 0 y la desviación típica de los mismos 1. Además, este hecho ayudará a reducir el error absoluto.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

Durante el entrenamiento del autoencoder, se pudo apreciar una curva de pérdidas decreciente como se puede apreciar en la siguiente imagen. Esto indica que los pesos encuentran un error pequeño en las últimas iteraciones. La función de pérdidas se hace a partir del error cuadrático medio.

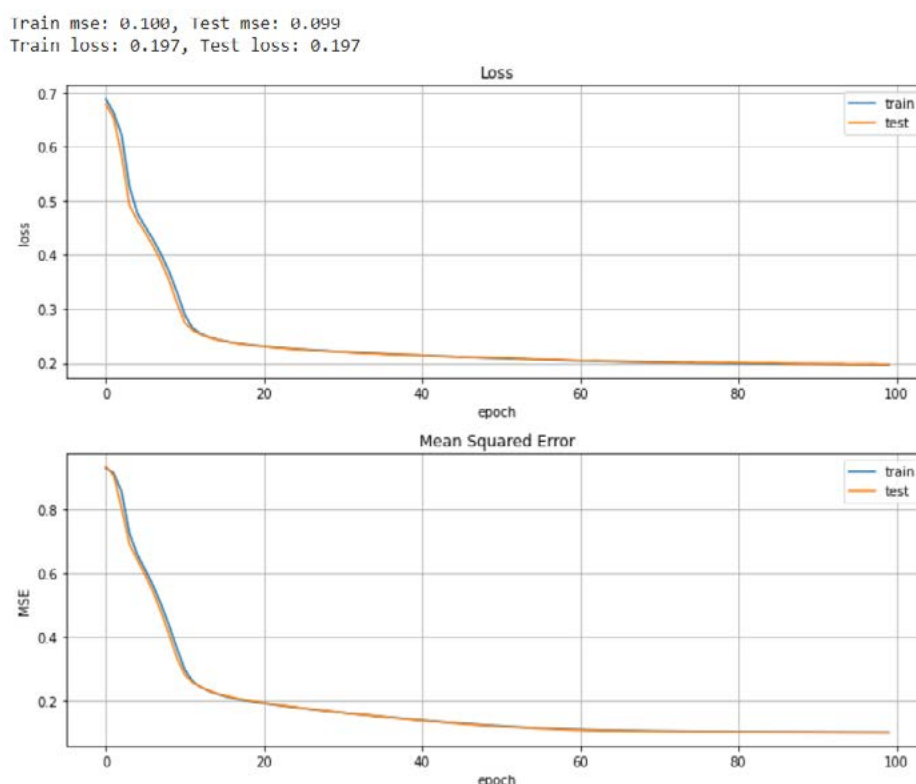


Figura 4: Función de pérdidas

Puesto que cada subestación se comportaba de manera diferente, se entrenó un *autoencoder* para cada una. En la siguiente tabla, se recogen los parámetros empleados para llegar a los mejores modelos.

Subestación	Epocs	Batch size	Learning rate	Final loss
S287	100	90	0,01	0,0735
S744	100	50	0,01	0,1099
S242	100	36	0,01	0,197
S531	100	32	0,03	0,263
S813	100	6	0,01	0,208
S406	100	24	0,01	0,267
S499	100	50	0,02	0,202
S820	100	32	0,01	0,2013
S612	100	48	0,01	0,210
S2274	100	48	0,01	0,218
S480	100	48	0,01	0,1378
S201	100	84	0,01	0,1876
S68638	100	84	0,01	0,197
S733	100	84	0,01	0,0986
S740	100	84	0,01	0,1004
S76020	100	84	0,01	0,0977
S850	100	32	0,01	0,2157
S286	150	32	0,01	0,2264
S7116	150	32	0,01	0,1998
S868	150	32	0,01	0,236

Tabla 1: Resumen datos subestaciones

Al comparar los resultados del *bottleneck* del *autoencoder* con la representación de los datos en las componentes principales, se obtienen figuras muy diferentes. Se puede considerar comprensible al utilizar métodos diferentes. En la siguiente figura se muestra un ejemplo.

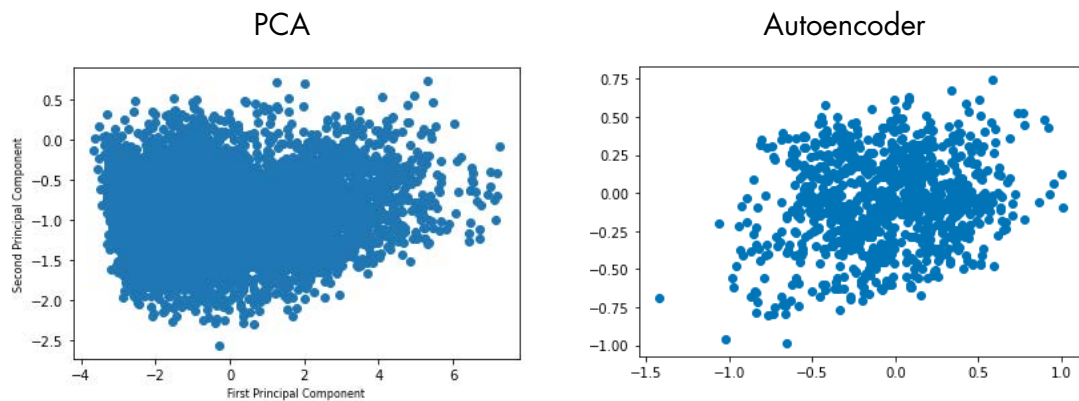


Tabla 2. Comparación Autoencoder con PCA para la misma subestación

6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS SUGERIDOS

La tarea que nos había sido encomendada era la de usar los datos proporcionados para realizar un modelo supervisado cuyo objetivo fuese el de predecir los fallos en las subestaciones. Una vez los datos de las subestaciones se limpiaron, se contrastaron con los datos disponibles de los fallos de las subestaciones. Aparecieron los siguientes problemas:

- De casi 130000 observaciones, solamente 100, aproximadamente, se corresponden con un fallo de la subestación, lo que dificulta en gran medida realizar un modelo supervisado.
- Los fallos observados en la subestación suelen corresponder a fallos aguas abajo de la subestación. Suelen ser fallos de suministro en un solo edificio y a veces en un solo piso de un edificio. Por lo tanto, esto no se corresponde a ningún patrón relacionado con la propia subestación.
- En las horas anteriores al fallo de la subestación, no hay datos que permitan hacerse una idea de la causa del problema. La franja horaria eliminada antes y después de cada fallo es demasiado grande como para poder examinar una posible causa del problema.
- No se disponen de los datos de la temperatura del transformador, siendo esta variable la más importante a primera vista.

Por las razones expuestas anteriormente, el proyecto se tuvo que abandonar dado que no había datos suficientes para comprobar las hipótesis.

MANUAL DE USUARIO

1. INTRODUCCIÓN

A continuación, se muestra el manual de instrucciones para la API generada con el fin de detectar las tolerancias en los planos introducidos como *inputs*.

En el momento en que se ha dejado el proyecto, el proceso era capaz de distinguir entre 3 tolerancias (perpendicularidad, planitud, y concentricidad) con una precisión de 44%.

Es importante saber que el código .py del que trata este documento únicamente sirve para detectar los planos a partir de los pesos y la configuración de la red neuronal entrenada con anterioridad. Para entrenar la red, es necesario un archivo de Google Colab.

2. ESTRUCTURA

El código tiene 4 archivos de tipo .py que se llaman entre sí. Los archivos se podrían reducir, pero se ha decidido dividir el trabajo para asegurar cierto orden y entendimiento. A continuación, un listado de los archivos con su funcionalidad.

- **Main.py** es el archivo que se debe ejecutar. Utiliza las librerías interfaz y tkinter para poder funcionar correctamente. Al principio, se crea la raíz o base de la interfaz gráfica que no es otra cosa que el contenedor base de todos los *widgets* de la interfaz. Después, se elige el tamaño de la ventana de la interfaz. Finalmente, se da comienzo al bucle de aplicación, puesto que el programa funciona como un bucle infinito que no termina de ejecutarse hasta que el usuario así lo requiera.

- **Interfaz.py** contiene una clase con dos funciones que pone en funcionamiento el programa. Abre las ventanas necesarias para pedir al usuario que introduzca un plano y representar el *output*. Desde esta función se hace el llamamiento al resto de funciones.
- **Cropping.py** contiene una clase con funciones que recortan los planos de entrada en imágenes cuadradas de 512x512. Contiene 3 funciones para recortar planos, guardar las direcciones de los planos recortados y reconstruir los planos a partir de los dos anteriores.
- **Ejecuta_yolo.py** se trata de un código basado en el de Nacho de Rodrigo. Este archivo se ha utilizado con anterioridad en otros proyectos, pero se ha modificado. Es importante saber que, aunque se mantenga una estructura parecida, no se trata del mismo archivo y es posible que no funcione para este caso.

3. METODOLOGÍA

En primer lugar, al ejecutar el programa aparece una ventana similar a la que se muestra a continuación. En dicha pantalla hay dos botones, uno para seleccionar un archivo, y otro para salir de la interfaz. A pesar de que al cargar un archivo la interfaz permite seleccionar documentos de todo tipo, desde .jpg hasta .pdf, el programa está diseñado para archivos de tipo .png.



Figura 1: Pantalla principal de la interfaz

Al pulsar "Seleccionar archivo" aparece en la pantalla una ventana en la que se podrá seleccionar un archivo guardado en el ordenador del usuario, una vez escogido el plano es necesario pulsar "Abrir".

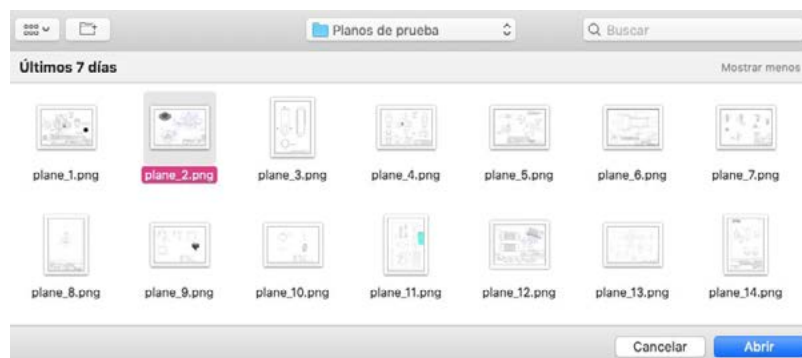


Figura 2: Selección de plano

Una vez elegido el plano este mismo aparece en una nueva ventana emergente junto con el mensaje de “¿Desea obtener las tolerancias de este plano?”, en el caso de pulsar “No”, volverá a aparecer la pantalla de la Figura 2 y se repetirá el proceso de selección hasta que el usuario pulse “Sí”.

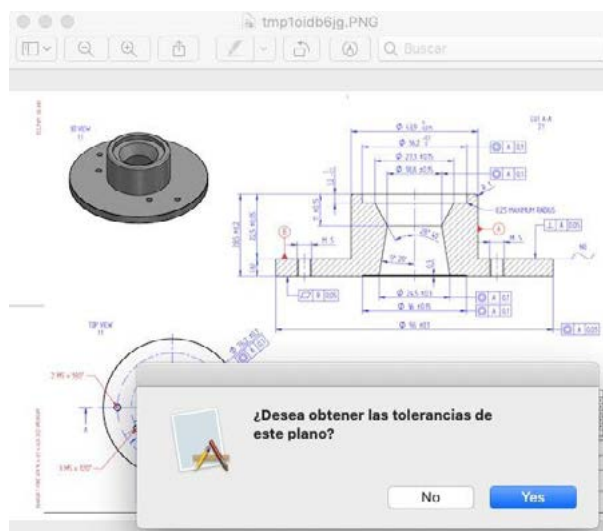


Figura 3: Ventana emergente preguntando si se desea obtener las tolerancias del plano seleccionado previamente

Tras seleccionar el plano deseado el programa se ejecuta, aparece un mensaje que muestra: “El plano se está procesando”.



Figura 4: Ventana emergente indicando que el plano va a procesarse

Por último, aparece una nueva ventana en la que se muestra el plano seleccionado con las tolerancias recuadradas en verde.

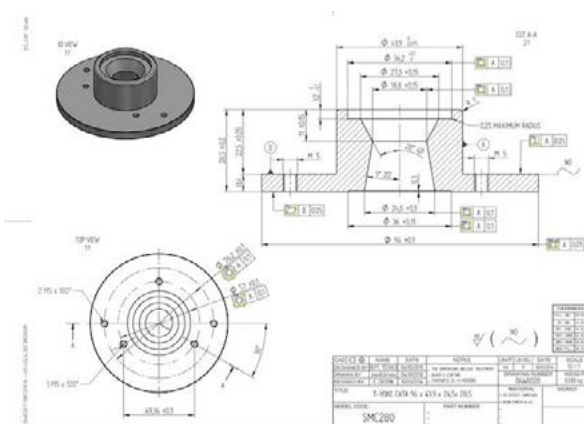


Figura 5: Plano con las tolerancias recuadradas en verde

Las carpetas que aparecen a continuación son las que se utilizan al ejecutar el programa. Cada una de ellas almacena datos distintos con una función concreta. En la carpeta `Cropped_planes`, por ejemplo, se guardan los recortes, de tamaño 512x512, realizados sobre los planos. Mientras que en la carpeta `Cropped_planes_txt`, se almacenan archivos de tipo .csv necesarios para la posterior reconstrucción del plano una vez detectadas las tolerancias.

Más adelante en el punto cinco del documento, llamado *Directorio*, se explica con mayor claridad la utilidad de cada una de estas carpetas.



Figura 6: Carpetas necesarias para la ejecución del programa

4. DIRECTORIO

En primer lugar, aparte de los archivos .py previamente descritos, será necesario disponer/descargar los archivos `yolo-obj.cfg` y `yolo-obj_final.weights`. Dichos archivos son el resultado del entrenamiento del YOLO y serán imprescindibles en el análisis de nuevos planos para la detección de tolerancias (utilizadas en el entrenamiento).

Por otro lado, en el proceso de ejecución del programa, será necesario disponer de las siguientes carpetas (las puede crear el usuario, dado que no contienen ningún archivo antes de la ejecución):

- **PNG_Plane:** Una vez se ha seleccionado el plano en el cual se desea detectar las tolerancias en la interfaz, el plano se introduce en la carpeta `PNG_Plane` con el mismo nombre que tenía. De esta manera, si en un futuro, en vez de querer que la ejecución se realice para un único plano, será posible, dado que el programa está diseñado para ser capaz de detectar las tolerancias de cada uno de los planos que se encuentre en dicha carpeta (en este caso, serán borrados los archivos contenidos en esta carpeta antes de introducir el nuevo plano, de manera que sea el único que se analice, consiguiendo agilizar el proceso).
- **Cropped_planes:** Antes de ejecutar el YOLO sobre cada uno de los planos, cabe destacar que las imágenes que se introducen en el modelo para la detección deben tener unas dimensiones determinadas. Por ello, dado que las dimensiones de un plano cualquiera pueden ser muy diversas, se estandariza el “croppear” los planos, es decir, dividir el plano en varias partes de las mismas dimensiones. Cabe destacar que cada parte contendrá un trocito de la parte anterior, evitando así que al quedar una tolerancia entre dos cortes no fuese detectada. Todos los recortes de cada uno de los planos se guardarán en esta carpeta, especificando el nombre del plano y el recorte correspondiente (número orden).

Cabe destacar que, como resultado, se creará un archivo (fuera de esta carpeta), test.txt, que contendrá el nombre de cada recorte (de cada uno de los planos, con su nombre correspondiente) que se va a analizar, es decir, sobre cada uno de los cuales se va a ejecutar el YOLO.

- **Cropped_planes_txt:** Con relación a la carpeta anterior, será necesario guardar tanto las dimensiones como la posición (coordenadas) del recorte dentro del plano, para lo que se creará un .csv por cada plano que se vaya a ejecutar (uno en este caso) que contenga el nombre de cada recorte y sus características, que se guardarán en esta carpeta.
- **Output_yolo:** En esta carpeta aparecerán las mismas imágenes que en la carpeta cropped_planes pero tendrán la tolerancia recuadrada. Es necesario guardar las imágenes para poder reconstruir el plano después.
- **Planos_Reconstruidos:** Después de ejecutar el código, en esta carpeta aparecerá el plano reconstruido en formato imagen con las tolerancias marcadas. Asimismo, también aparecerá un archivo de Excel con un listado de las tolerancias por plano con las coordenadas y la etiqueta de cada una.

Por último, señalar que todas las carpetas y archivos descritos estarán contenidos en una carpeta llamada API, para una mayor organización del programa y evitar errores en el programa. En el código se utiliza el comando 'os.getcwd()' que obtiene el directorio donde se encuentra el ejecutable, por lo que, se necesita que todas las carpetas se encuentren en la misma ubicación que el main.py.

5. ERRORES

Con el fin de realizar un estudio de la efectividad del código se ejecutaron un conjunto de 376 planos. De estos, 99 tienen al menos 1 tolerancia y 90 dan al menos 1 error. Los errores observados al ejecutar los planos son:

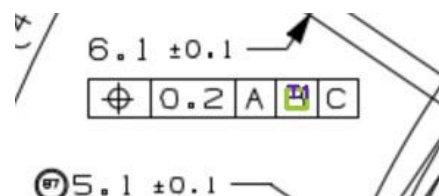
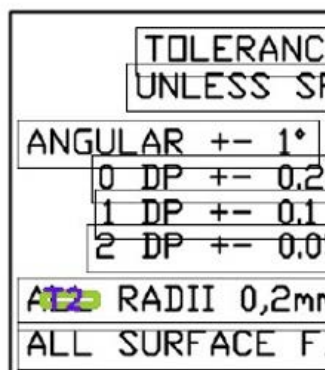


Figura 7: Identifica letras como tolerancias

El error que aparece en la siguiente imagen es causado porque muchas veces al recortar el plano en recuadros de 512x512 se queda una tolerancia entre medias de dos recortes, por tanto, la tolerancia es detectada en ambos lados, y por eso aparece dos veces.

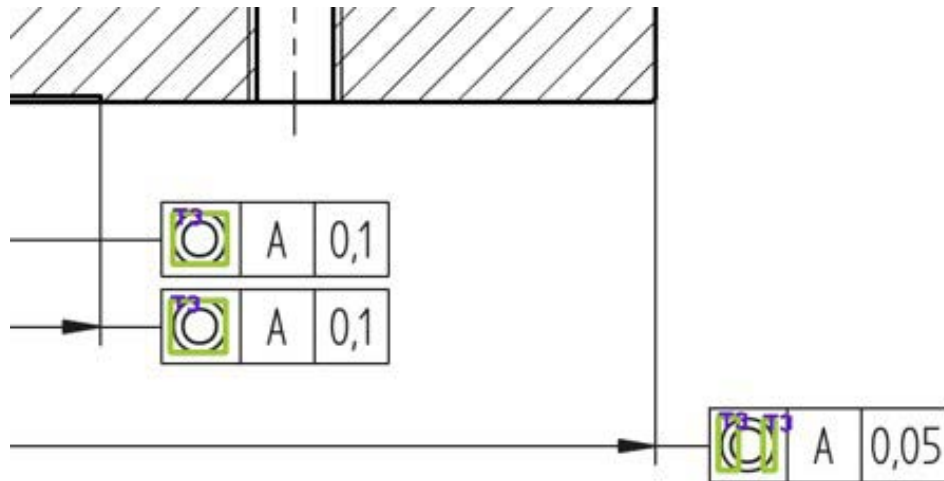


Figura 8: Error debido a cortes de las imágenes (Inferior Derecha)

Otras veces lo que ocurre es que una parte de la geometría de la pieza es detectada como tolerancia cuando en realidad no lo es, un ejemplo de esto es la imagen que se muestra a continuación.

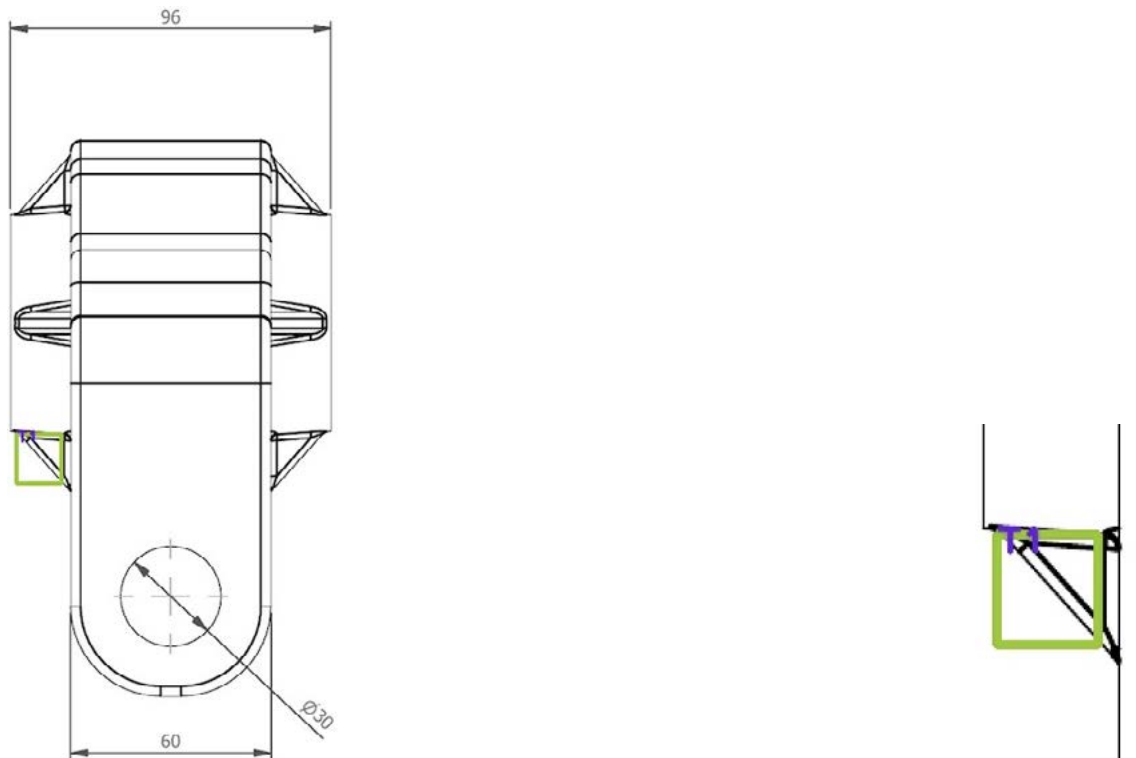


Figura 9: Error en la detección de una tolerancia correspondiente a la geometría de la pieza

6. OTRAS DUDAS

- **Si vuelvo a entrenar el YOLO, ¿Qué debo cambiar?**

Se debe modificar el archivo .weights y .cfg que se encuentran en el directorio. En caso de que su nombre haya sido modificado, se debe introducir el nuevo nombre en las líneas 85 – 86 del archivo interfaz.py. En la siguiente imagen se muestra las líneas a modificar.

```
yolo_cnf = os.path.join(os.getcwd(), "yolo-obj.cfg")  
yolo_wgths = os.path.join(os.getcwd(), "yolo-obj_final.weights")  
nombre_pieza = ['T1', 'T2', 'T3']  
instancia = ejecuta_yolo(yolo_wgths, yolo_cnf, nombre_pieza)
```

- **Si añado más tolerancias a detectar, ¿qué debo cambiar?**

En caso de que existan más tolerancias, además del paso anterior, se debe modificar el array 'nombre_pieza' añadiendo más elementos.

- **¿Qué queda por hacer?**

- o Se debería mejorar la precisión. Para eso es recomendable volver a entrenar el YOLO del Google Colab.
- o Añadir más tolerancias a detectar. La empresa estaba interesada en detectar la palabra 'MATERIAL' en los planos.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

ENDESA - Herramienta de Visualización OCR**DISEÑO DE LA HERRAMIENTA WEB PARA LA REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN EXTRAÍDA CON OCR****Alumnos:**

Diego Begara Bretón

Alfonso Sanz Giner

1. INTRODUCCIÓN

El CIC LAB es el laboratorio de innovación de ICAI destinado a la investigación de temas relacionados con la industria 4.0 por parte de los alumnos de la Cátedra de Industria conectada. En este espacio se organizan proyectos propuestos por las empresas patrono de la cátedra. A lo largo de estos dos meses se han realizado una serie de proyectos de gran importancia entre los que se incluye el que se presenta a continuación.

El proyecto de la herramienta del OCR viene de la mano de Endesa. Endesa es la empresa líder del sector eléctrico español y el segundo operador del mercado eléctrico en Portugal con influencia en otros mercados europeos. Cuenta con cerca de 10 mil empleados distribuidos en sus diversos departamentos. Uno de los objetivos de Endesa es el liderazgo de la transformación tecnológica del sector y para ello forma parte del grupo Enel. El grupo Enel comenzó como una *utility* energética, pero tras tomar contacto con la transformación tecnológica decidió enfocarse en el cambio, desde el análisis de las fuentes alternativas de energía como el hidrógeno verde hasta el uso de IA como herramienta del cambio en los negocios.

De la mentalidad de cambio de Endesa nace la búsqueda de nuevas tecnologías que puedan ser empleadas en la implementación de sistemas innovadores que los pongan al frente de la transformación hacia la industria 4.0. En esta búsqueda es donde nace el proyecto de la herramienta de Endesa-OCR encargado al CIC LAB.

El proyecto tiene como objetivo el diseño de una herramienta funcional para la digitalización de solicitudes basados en la introducción de información en contornos como los mostrados a continuación en la Ilustración 1. La herramienta se ha diseñado con el objetivo de poder digitalizar y agrupar los formularios referentes a uno de los servicios de Endesa.

DATOS DEL TITULAR

Apellido1:	
Apellido 2:	
Nombre:	
N.I.F. o N.I.E.:	

Ilustración 1: Ejemplo de formulario

Para la extracción de la información de los formularios se ha optado por el uso de un OCR (reconocimiento óptico de caracteres) que se trata de un proceso dirigido a la digitalización de textos, los cuales identifican automáticamente símbolos o caracteres a partir de una imagen.

La herramienta se divide en cuatro grandes pasos realizados por dos equipos cuyo trabajo se realiza en paralelo. En primer lugar, se realiza el pre-procesado de la información obtenida del formulario puesto que este se recibe en formato pdf de un número específico de páginas. Se ha de pasar dicho pdf a formato png y tratar los contornos para maximizar la precisión de la herramienta del OCR. El segundo paso se trata de la utilización del algoritmo del OCR para la extracción de la información del texto de la imagen. Tras la extracción de la información se pasará al post-procesado. Este paso se encarga de intentar corregir los fallos de la lectura del OCR. Ejemplos claros del post-procesado es la corrección de caracteres reconocidos como números, como la lectura de 4NTONIO en vez de Antonio en campos de nombre o 6ZB2 en vez de 6782 en campos numéricos. En último lugar se ha desarrollado una herramienta de comprobación de la información extraída por el OCR. El objetivo se trata de disponer de un operario que se encargue de verificar la información extraída.

Este proceso pretende minimizar el número de operarios destinados a la digitalización de documentos puesto que la mayor parte del trabajo se realizará por parte del OCR.

El proyecto de Endesa-OCR se separa en dos grupos. El primer grupo es el encargado del OCR y el segundo el encargado del diseño de la herramienta Web encargada del apartado de la revisión de la información extraída. Esta memoria hace referencia a la parte de la herramienta de comprobación. A continuación, se explicará tanto la herramienta utilizada para el diseño de la herramienta como los recursos y técnicas utilizadas para su realización.

2. RECURSOS

2.1. GitHub

Para el desarrollo de todo proyecto de *software* con cierta complejidad se requiere de una herramienta de control de versiones apropiada, se va a utilizar GitHub siendo la opción más popular y al contar ya con ciertos conocimientos y experiencia de la misma.

Permite la fácil creación de ramas, control de versiones de la principal, unión de ramas y control de acceso al repositorio por colaboradores. Facilitando así el desarrollo de la herramienta por los miembros del equipo y asegurando la seguridad e integridad de todo el código desarrollado.

2.2. Visual Studio Code

Como editor de código se utilizará también una opción muy popular: Visual Studio Code.

Se trata de una herramienta de edición de código fuente con multitud de integraciones y extensiones que permiten su compatibilidad con cualquier lenguaje de programación y aplicaciones como GitHub. De esta última existe la opción de ver los cambios y realizar los comandos de Git pertinentes (*fetch automático, add, commit, pull, push, merge...*) desde la propia interfaz y terminal.

Además de por su integración con Git se ha escogido por sus características de editor como: capacidad de *debugging*, resaltador de sintaxis, detector de errores de sintaxis en tiempo real, instalación multiplataforma...

2.3. Python

La herramienta se va a diseñar en Python, el lenguaje de programación más popular en el mundo. La mayor parte de proyectos de programación en CIC LAB lo han utilizado debido, no solo a su popularidad y código abierto, que permiten una gran cantidad de documentación disponible, sino también debido a su sintaxis sencilla, gran cantidad de librerías y versatilidad.

A pesar de todo lo mencionado anteriormente Python no es el lenguaje más común en diseño web, sino JavaScript. Pero el hecho de que la herramienta OCR se ha realizado por otro equipo en Python, junto con la librería que se menciona a continuación hacen de esta la opción más recomendable.

Solo se utilizan 5 librerías principales:

- `os (os_sys)`: para selección de directorios, carpetas y/o archivos.
- `pandas`: para la obtención de datos y manejo de los mismos en *datasets*.
- `PIL (Pillow)`: para la apertura de la imagen de los pdfs.
- `shutil`: para mover los archivos pdfs una vez hayan sido verificados.
- `dash`: modulo principal del diseño web que se explicará posteriormente.

Todas estas librerías requieren de instalación en cualquier terminal de *conda* con el comando `pip`:

```
pip install os_sys
pip install pandas
pip install Pillow
pip install shutil
pip install dash
```

2.4. Conda

Conda es un gestor de paquetes y entornos de código abierto multiplataforma. Tanto Anaconda como Miniconda son instaladores de *conda* y distribuciones de Python.

Anaconda es un navegador con una gran cantidad de paquetes enfocados a *Data Science* para Python y R. Mientras que Miniconda permite una instalación minimalista de *conda*.

Cualquiera de ambas opciones es viable para el desarrollo y uso de la herramienta en cuestión.

2.5. Dash

Dash es una librería y framework de Python de código abierto diseñada por y para Plotly bajo una licencia de MIT para el desarrollo web de aplicaciones analíticas.

Esta librería permite el diseño de una página web personalizable bajo un servidor Flask para una visualización de datos de forma sencilla e interactiva.

Dash permite la definición de la estructura (HTML), el estilo (CSS) y las funciones y eventos (usualmente programados en JS) en un solo archivo de Python. Cuenta con una serie de módulos principales:

- Dash Core Components: Elementos web como *dropdowns*, *inputs*, *checkboxes*...
- Dash HTML Components: Elementos HTML necesarios para la estructura de la página.
- Dash Bootstrap Components: Librería externa que cuenta con una gran variedad de elementos dinámicos como botones, pestañas (*tabs*)...
- Dash Dependencies: Funciones que permiten crear *callbacks* que aceptan *inputs* y *outputs* como parámetros. Se explicará más en detalle posteriormente.

- Dash Trich Components: Permite la selección y *toggle* de tema entre claro y oscuro entre otros.
- Plotly: Librería de representación gráfica de los *datasets*, en esta página solo se usará *plotly express* para dibujar los contornos detectados por el OCR en la imagen del pdf.

Los únicos módulos que no se instalan automáticamente con Dash es Bootstrap Components y Trich Components:

```
pip install dash-bootstrap-components
pip install dash-trich-components
```

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO CON DASH

El método de diseño web en Dash muy sencillo e intuitivo, el código `app.py` cuenta con la siguiente estructura:

3.1. Preparación del código

Como todo *archive* de código se requiere primero de:

- Importación de módulos y librerías mencionadas anteriormente.
- Definición de constantes, parámetros y variables globales a utilizar.
- Definición de directorios y nombres de los archivos a leer y escribir.

3.2. Extracción, edición y formateo de los datos

La variable global **df** almacena el CSV obtenido de `generarCSV()` obtenido de la extracción de datos del OCR. La función `update_df()` actualiza dicha variable después de la obtención del csv de cada documento.

3.3. Layout

3.3.1. Preparación del layout

Se inicializa la aplicación Dash con los estilos CSS (*Bootstrap components*, *trich* y los iconos de *Font Awesome*), *scripts* de JS, la configuración y el título de la página.

3.3.2. Definición de funciones

Se utilizan funciones para almacenar y cargar elementos HTML del *layout* que son variables, es decir, que devuelven un elemento HTML en función de sus parámetros y el *dataset* cuando se les llama, como las figuras/imágenes (`update_map()`) y los formularios (`update_form()`). Ambas funciones se llaman una vez por cada página cada vez que se muestra un documento.

3.3.3. Definición del layout de la aplicación

La estructura del *layout* es la misma que la de cualquier página en HTML con padres e hijos, pero en vez de usar un lenguaje de etiquetado se definen los elementos como funciones que aceptan como parámetros una lista de sus hijos, su id y su estilo.

Toda la página se incluye en una división (`html.Div()`) con el parámetro *children* con una lista de más elementos: El menú de confirmación de envío, el NavBar, el botón de empezar, el icono de cargando, el contenedor principal ("all", que se actualiza con el contenido de la página), el botón de enviar y el footer.

3.4. Callbacks

Los *callbacks* son funciones que se ejecutan en el servidor a llamada del usuario por medio de un *Input* (botón o evento), y devuelven la información necesaria para que la aplicación cliente se actualice y muestre la información necesaria. La aplicación cuenta con 3 *callbacks*:

3.4.1. Tabs

Cuando el usuario cambia de página del documento se muestra la página seleccionada y se ocultan el resto, por ello el *input* es la página activa y el *output* una lista de estilos ocultos menos el de la misma.

3.4.2. Empezar y enviar

Callback principal que afecta a que botones se muestran, el icono de cargando y el contenido de la página. Debido a que diferentes *callback* no pueden tener el mismo *output*, es decir no se puede mostrar/ocultar la página desde distintos *callbacks*, es necesario unificar ambos botones en un mismo *callback*.

Cuando se pulsa *Empezar* se muestra el botón de cargando hasta que se haya extraído la información y generado la página, entonces se oculta el botón y se muestra la página con el botón de *Enviar*.

Cuando se pulsa *Enviar* se muestra una alerta de aviso de envío de la información de los formularios.

3.4.3. Alert

Si se pulsa el botón de confirmar de la alerta se extrae la información de los formularios, se actualiza el CSV y se mueve el documento pdf a verificados, después se oculta la página y el botón de *Enviar* y se vuelve a mostrar el de *Empezar*.

4. ARCHIVOS Y EJECUCIÓN DEL CÓDIGO

Como se ha mencionado anteriormente Dash permite el diseño de una página web en un solo archivo de Python, pero también son necesarias las imágenes y los archivos de estilo CSS. Además, debido a la integración con la herramienta del OCR, el repositorio cuenta con una serie de carpetas:

- "assets" almacena los archivos CSS, los templates de los archivos pdf, etc.
- "components" contiene el código de Python del NavBar y el Footer.
- "Ventana salida" engloba todos los archivos necesarios de la herramienta OCR junto con el CSV que extrae el OCR "Venta Salida.csv" y en que se guardan los datos verificados "Venta Salida verificados.csv"

4.1. Ejecución sin OCR

La ejecución del código sin OCR se puede realizar con la intención de cambiar aspectos de la aplicación sin la necesidad de esperar al procesamiento de documentos del OCR puesto que esto ralentiza en una gran medida el proceso de compilación. Con tal de facilitar la tarea se han dispuesto dos códigos bases para la aplicación. Uno siendo `app.py` la cual contiene el código necesario para correr la aplicación con la funcionalidad del OCR. Por otro lado, tenemos el código de `app_sin_ocr.py` en el cual se

han comentado las partes de código que llaman a la función del OCR. Con esto se puede realizar una compilación del código de la aplicación con tal de visualizar la misma o de cambiar aspectos funcionales o visuales.

4.2. Ejecución con OCR

Para poder ejecutar el código con la funcionalidad del OCR hay que instalar una serie de requisitos adicionales:

- Tesseract: te permite poder hacer uso del OCR para poder reconocer texto a partir de imágenes
 - o Link de descarga: <https://guides.library.illinois.edu/c.php?g=347520&p=4121425>
- Poppler
 - o Link de descarga Windows: <https://blog.alivate.com.au/poppler-windows/>
 - o Link de descarga mac: <https://brewinstall.org/install-poppler-on-mac-with-brew/>

Además de las librerías instaladas anteriormente se han de instalar también las siguientes en cualquier terminal de *conda* con el comando *pip*:

```
pip install pytesseract pip install cmake  
pip install python-poppler pip install pdf2image  
pip install opencv-python
```

Compilación

El código del OCR se puede compilar de dos maneras.

1. Desde el código de *main.py* dentro de la carpeta de *VentanaSalida*, el cual llamará a la función *generarcsv* y que por tanto procederá al procesado del primer documento de la carpeta de archivos.
2. Desde la aplicación. Una vez compilada la aplicación se procederá al uso de la misma donde se incluye en su código la función pertinente para la compilación del código del OCR.

5. HERRAMIENTA VISUAL

A continuación, se va a realizar un paseo virtual por la herramienta de Endesa-OCR y todos los componentes utilizados que se han explicado con anterioridad. Para entender la aplicación se ha de explicar su disposición en base al procedimiento que se seguirá por parte del usuario.

Guía de Usuario

1. **Arrancar la aplicación:** el usuario iniciará la aplicación mediante la compilación del código fuente desde el cual se accederá tanto a la herramienta visual como al OCR.
2. **Análisis de la página de inicio de la aplicación:** el usuario será recibido por la página de inicio en la cual se encontrará el botón pertinente para iniciar el funcionamiento de la lectura de documentos.
3. **Análisis del documento por parte del OCR:** una vez indicado el comienzo del proceso,

el programa procederá a la lectura de los documentos de la carpeta de manera alfabética. Una vez leído el contenido de este se pasará a la revisión de la información extraída.

4. **Verificación de la información extraída:** una vez la información ha sido extraída por parte del OCR se le mostrará al usuario en la pantalla de revisión en la cual podrá cambiar dicha información en función del contenido de las casillas del documento.
5. **Almacenaje de la información:** una vez se ha terminado de verificar la información se ha de enviar para que se almacene en un CSV donde se apilará la información de todos los documentos revisados en la sesión. Una vez revisado el documento, el pdf se moverá a una carpeta ajena, donde se almacenarán los documentos revisados.
6. **Repetición del proceso:** tras analizar todas las páginas de un documento se pasará al siguiente realizando los mismos pasos que se han enumerado anteriormente.

La aplicación está formada por una serie de componentes de fácil diferenciación, componentes constantes y variables.

5.1. Elementos constantes

Por una parte, tenemos los elementos que serán constantes en la página, consisten en la barra de navegación y el *footer*, los cuales se muestran en la Ilustración 2 y la Ilustración 3. Por un lado, la barra de navegación será constante en la página debido a que se mantiene visible en la parte superior de la pantalla. Por otro lado, el *footer* se mantendrá al final de la página, pero sin mantenerse siempre visible.



Ilustración 2: Barra de navegación de la aplicación



Ilustración 3: Footer de la aplicación

5.2. Elementos variables

En segundo lugar, la herramienta dispone de una serie de elementos variables, los cuales se modificarán según el paso en el que se encuentre el usuario. Estos elementos a su vez se dividen en dos grandes bloques: la página de inicio y la herramienta de verificación.

5.2.1. Página de inicio

La página de inicio es la sección de la aplicación a la cual se accede al comienzo del proceso y también tras finalizar el análisis completo de uno de los documentos. La distribución de la página se puede ver en la Ilustración 4 y se compone de un botón que se ha de pulsar para comenzar el análisis del documento y de una animación de carga que indica al usuario que espere mientras el OCR procesa el documento, la cual se muestra en la Ilustración 5.

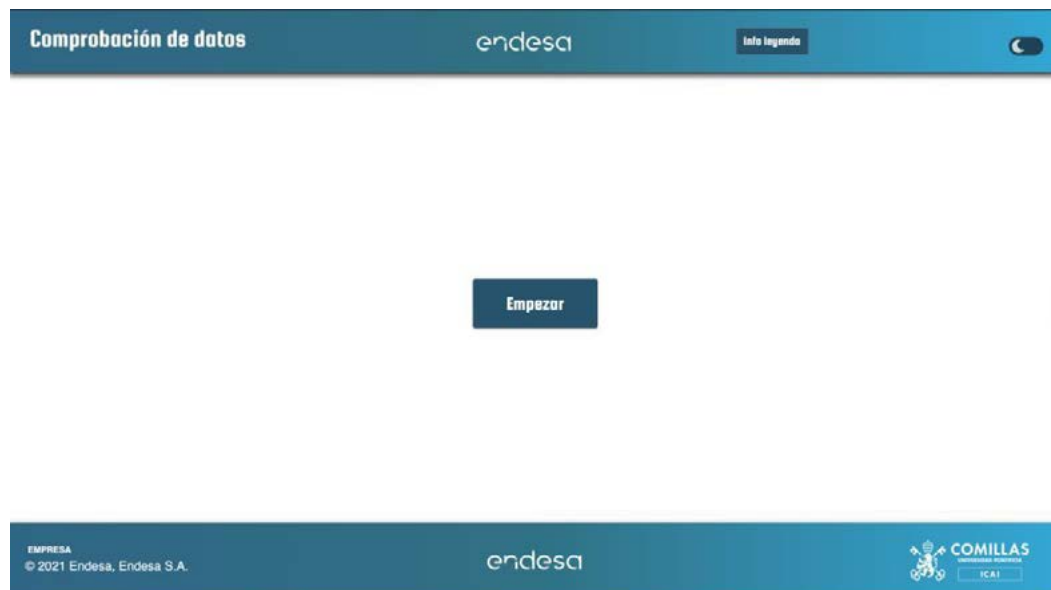


Ilustración 4: Página de inicio de la aplicación



Ilustración 5: Animación de carga

5.2.2. Herramienta de verificación

La herramienta de verificación es la sección principal de la aplicación y dispone de una serie de elementos explicados anteriormente que facilitan en gran medida la experiencia de usuario.

- **Pestañas:** Puesto que el documento está compuesto por distintas páginas, se ha buscado un método para minimizar el espacio que ocupan y para ello se ha diseñado el uso de pestañas como método de navegación entre las páginas del documento. La disposición de las pestañas se puede apreciar en la Ilustración 6.



Ilustración 6: División en pestañas en la aplicación

- **Ventana de visualización del documento:** Una vez analizado el documento se le mostrará cada página del mismo, así como los contornos donde el OCR ha encontrado el texto extraído. Esta disposición se puede apreciar en la Ilustración 7 y Ilustración 8. Los contornos del texto disponen de un color acorde a la confianza que el OCR tiene en la predicción realizada. La leyenda de confianza se encuentra en la barra de navegación y se muestra en la Ilustración 9. La lectura puede ser correcta (confianza 80-100%), intermedia (confianza 20-80%) o lectura incorrecta (confianza 0-20%).

DATOS DEL TITULAR

Apellido 1:

Apellido 2:

Nombre:

N.I.F. o N.I.E.:

DATOS DEL

Dirección:

Municipio:

C.P.: Provincia:

CUPS:

DATOS DE CONTACTO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN

Nº teléfono 1: Nº teléfono 2:

Correo electrónico:

DIRECCIÓN POSTAL A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN

Completar solo en caso de que sea diferente a la dirección del punto de suministro.

Dirección:

Municipio:

C.P.: Provincia:

Significado de los colores

- Lectura correcta
- Lectura intermedia
- Lectura incorrecta

Ilustración 9: Leyenda de confianza

Ilustración 7: Ventana de visualización del documento de la aplicación (texto)

El titular y, en caso de que el titular forme parte de una unidad familiar, todos los miembros de la unidad familiar ☒ AUTORIZAN ☐ NO AUTORIZAN:

Ilustración 8: Ventana de visualización del documento de la aplicación (check- box)

Revisión de la página 1

Apellido 1: ● GARCÍA

Apellido 2: ● GARCÍA

Nombre: ● JAVIER

NIF o NIE: ● 12345678A

Dirección: ● CALLE ALBERTO AGUILERA 25

Municipio: ● MADRID

C.P.: ● 28015

Provincia: ● MADRID

CUPS: ● ES123456789012345678AA

Teléfono 1: ● 612345678

Teléfono 2: ● 612345679

Email: ● JAVIER@CORREO.COM

Dirección: ●

Municipio: ●

C.P.: ●

Revisión de la página 4

Autorizaciones concedidas ☒ Autorizan (1)

Autorizaciones concedidas al ☐ No Autorizan (1)

☒ Autorizan (2)

☐ No Autorizan (2)

Ilustración 11: Formulario de verificación de la aplicación (check-box)

Ilustración 10: Formulario de verificación de la aplicación (texto)

- **Formulario de verificación:** Una vez extraída la información del documento el usuario pasará a la verificación de esta. Esta revisión se realizará en formularios como los mostrados en la Ilustración 10 y la Ilustración 11.
- **Envío de información:** Tras revisar la información de todas las páginas del documento se procederá a pulsar el botón de enviar mostrado en la Ilustración 12 y tras verificar en el mensaje *popup* que se ve en la Ilustración 13 y la Ilustración 14 se procede a almacenar la información en un Excel y se enviará al usuario a la página de inicio para reiniciar el proceso con el siguiente documento.

Enviar el documento (todas las páginas)

Ilustración 12: Botón de envío de la aplicación

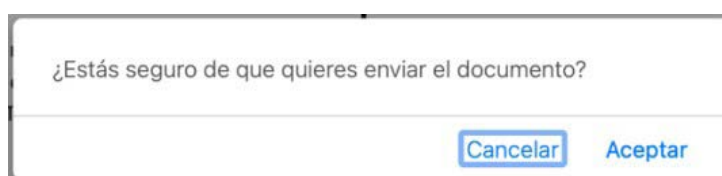


Ilustración 13: *popup* de confirmación (Safari)

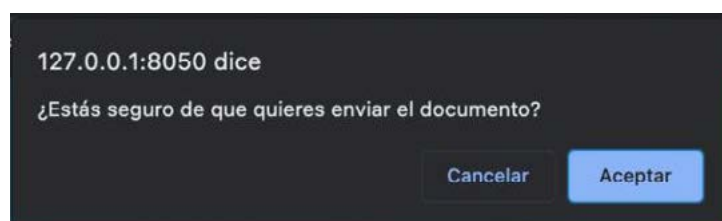


Ilustración 14: *popup* de confirmación (Chrome)

- **Modo oscuro:** Tras evaluar las circunstancias de uso de la aplicación y puesto que en el ambiente de teletrabajo hacia el cual se ha evolucionado se ha decidido que una buena adición a la aplicación es la posibilidad de que el usuario tenga la capacidad de cambiar el modo de visualización a uno con colores más oscuros que no cansen tanto la vista puesto que este trabajo puede realizarse durante un número elevado de horas. El modo nocturno se muestra a continuación en la Ilustración 15 y la Ilustración 16

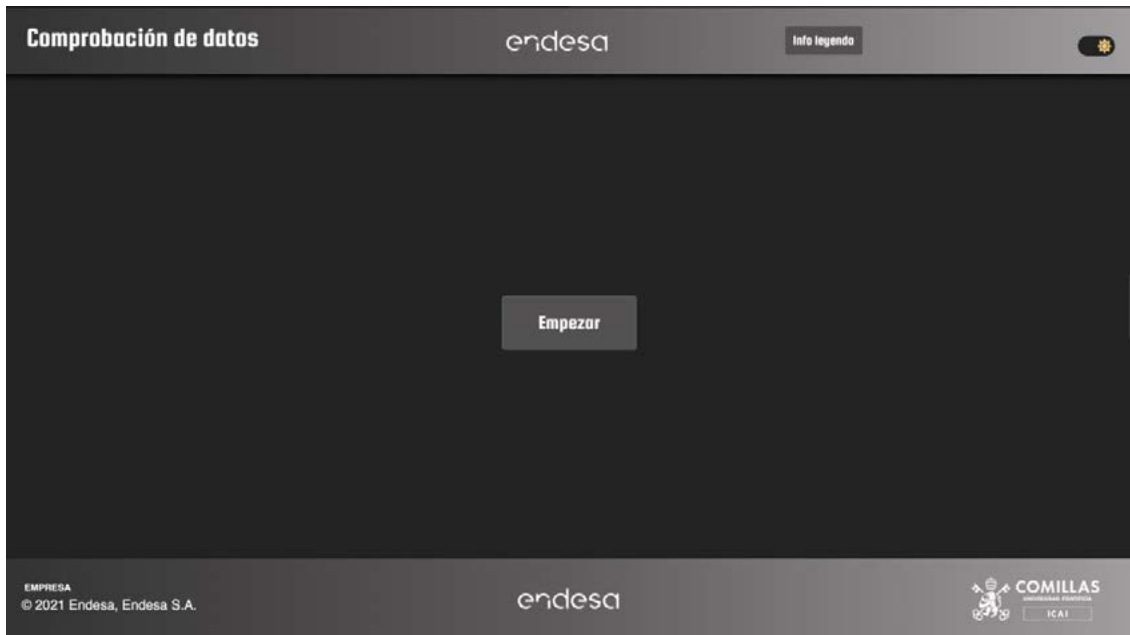


Ilustración 15: Página de inicio de la aplicación (oscuro)

Revisión de la página I	
Apellido 1:	● GARCIA
Apellido 2:	● GARCIA
Nombre:	● JUAN
NIF o NIE:	● 12345678A
Dirección:	● CALLE ALBERTO AGUILERA 25
Municipio:	● MADRID
C.P.:	● 28005
Provincia:	● MADRID
CUPS:	● E S
Nº teléfono 1:	● 912345678
Nº teléfono 2:	● 911234567
Correo electrónico:	● JUAN@CORREO.COM
Teléfono 1:	● 912345678
Teléfono 2:	● 911234567
Email:	● JUAN@CORREO.COM
Dirección:	●

Ilustración 16: Herramienta de visualización (oscuro)



6. CONCLUSIONES

El desarrollo de esta aplicación ha surgido como proyecto después de haber trabajado durante un mes en el diseño de herramientas visuales analíticas de mayor complejidad a nivel de programación. Esto ha permitido una evolución rápida permitiendo terminar el componente de verificación humano necesario para completar el proyecto de Endesa OCR.

Ha sido posible integrar todos los módulos de la herramienta de OCR con el servidor web por medio de la transmisión de datos en forma CSV que se sobrescribe con los datos extraídos de cada documento PDF y finalmente añadir los datos verificados a otro CSV que acumula toda la información verificada en formato de BBDD.

Debido al límite de tiempo se han utilizado métodos de programación pendientes de mejora como la comunicación por CSV en vez de por *dataset* directa y han faltado detalles como mostrar comentarios de los errores detectados en la extracción y asegurar que los datos indicados por el usuario en la aplicación sean correctos (la estructura del *mail*, DNI y las *checkboxes*). Pero la aplicación ha cumplido completamente los objetivos y solo faltaría una revisión y optimización del código y pequeñas ideas que se nos han ido ocurriendo para una implantación futura.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

SAARGUMMI - Herramienta de visualización**DISEÑO DE LA HERRAMIENTA WEB PARA ANALIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS****Alumnos:**

Diego Begara Bretón
Alfonso Sanz Giner

1. INTRODUCCIÓN

El CIC LAB es laboratorio de innovación de ICAI destinado a la investigación de temas relacionados con la industria 4.0 por parte de los alumnos de la Cátedra de Industria conectada. En este espacio se organizan proyectos propuestos por las empresas patrono de la cátedra. A lo largo de estos dos meses se han realizado una serie de proyectos de gran importancia entre los que se incluye el que se presenta a continuación.

El proyecto de SaarGummi Visual Tool viene de la mano de la empresa SaarGummi. SaarGummi se especializa en soluciones de estanqueidad para la industria mundial del automóvil. Juntas estáticas y dinámicas, nuevas soluciones de productos y procesos de producción son la esencia de la empresa, tanto a nivel regional como mundial. En especial la división de SaarGummi España, a la cual se ha dirigido este proyecto, se encarga de la fabricación de juntas de estanqueidad para múltiples modelos de vehículos de distintas marcas como Volkswagen, Seat o Porsche.

SaarGummi es una empresa con 74 años de historia a sus espaldas, y con el tiempo ha llegado la transformación a sus plantas de fabricación, desde la aplicación de mantenimiento predictivo a la búsqueda de minimizar las pérdidas en la producción. En esta búsqueda de la minimización de pérdidas nace la necesidad que se ha pretendido solventar con este proyecto.

El proyecto tiene como objetivo la creación de una herramienta web que permita el análisis del proceso de producción de piezas. Para ello se analizará la validez de una pieza en función de las variables de extrusión a su paso por las mismas. Esto ha permitido que se cree una herramienta que no solo permita evaluar la evaluación temporal de las variables, sino que también permita el estudio tanto de relación entre variables como el valor de las variables para una pieza determinada.

Uno de los principios de diseño de la aplicación ha sido la versatilidad de la misma puesto que se ha propuesto una funcionalidad y estética que permita tanto su utilización en primera línea, al igual que estaría cualquier panel de información sobre la línea de producción permitiendo que los operarios puedan hacer uso de la herramienta, como su análisis por parte del personal más técnico, que utilice para evaluar las propiedades de la línea a un nivel más alto.

2. RECURSOS**2.1. GitHub**

Para el desarrollo de todo proyecto de *software* con cierta complejidad se requiere de una herramienta de control de versiones apropiada, se va a utilizar GitHub siendo la opción más popular y al contar ya con ciertos conocimientos y experiencia de la misma.

Permite la fácil creación de ramas, control de versiones de la principal, unión de ramas y control de acceso al repositorio por colaboradores. Facilitando así el desarrollo de la herramienta por los miembros del equipo y asegurando la seguridad e integridad de todo el código desarrollado.

2.2. Visual Studio Code

Como editor de código se utilizará también una opción muy popular: Visual Studio Code.

Se trata de una herramienta de edición de código fuente con multitud de integraciones y extensiones que permiten su compatibilidad con cualquier lenguaje de programación y aplicaciones como GitHub. De esta última existe la opción de ver los cambios y realizar los comandos de Git pertinentes (*fetch automático, add, commit, pull, push, merge...*) desde la propia interfaz y terminal.

Además de por su integración con Git se ha escogido por sus características de editor como: capacidad de *debugging*, resaltador de sintaxis, detector de errores de sintaxis en tiempo real, instalación multiplataforma...

2.3. Python

La herramienta se va a diseñar en Python, el lenguaje de programación más popular en el mundo.

La mayor parte de proyectos de programación en CIC LAB lo han utilizado debido, no solo a su popularidad y código abierto, que permiten una gran cantidad de documentación disponible, sino también debido a su sintaxis sencilla, gran cantidad de librerías y versatilidad.

A pesar de todo lo mencionado anteriormente Python no es el lenguaje más común en diseño web, sino JavaScript. Pero el hecho de que la extracción y limpieza de datos se ha realizado por otro equipo en Python, junto con la librería que se menciona a continuación hacen de este la opción más recomendable.

Se utilizan 5 librerías principales:

- `os (os_sys)`: para selección de directorios, carpetas y/o archivos.
- `pandas`: para la obtención de datos y manejo de los mismos en *datasets*.
- `PIL (Pillow)`: para la apertura de la imagen de los pdfs.
- `datetime`: integrada en Python para el manejo de fechas.
- `dash`: modulo principal del diseño web que se explicará posteriormente.

Todas las librerías menos `datetime` requieren de instalación en un terminal de *conda* con el comando `pip`:

```
pip install os_sys
pip install pandas
pip install Pillow
pip install dash
```

2.4. Conda

Conda es un gestor de paquetes y entornos de código abierto multiplataforma. Tanto Anaconda como Miniconda son instaladores de *conda* y distribuciones de Python.

Anaconda es un navegador con una gran cantidad de paquetes enfocados a *Data Science* para Python y R. Mientras que Miniconda permite una instalación minimalista de *conda*.

Cualquiera de ambas opciones es viable para el desarrollo y uso de la herramienta en cuestión.

2.5. Dash

Dash es una librería y framework de Python de código abierto diseñada por y para Plotly bajo una licencia de MIT para el desarrollo web de aplicaciones analíticas.

Esta librería permite el diseño de una página web personalizable bajo un servidor Flask para una visualización de datos de forma sencilla e interactiva.

Dash permite la definición de la estructura (HTML), el estilo (CSS) y las funciones y eventos (usualmente programados en JS) en un solo archivo de Python. Cuenta con una serie de módulos principales:

- Dash Core Components: Elementos web como *dropdowns*, *inputs*, *checkboxes*...
- Dash HTML Components: Elementos HTML necesarios para la estructura de la página.
- Dash Bootstrap Components: Librería externa que cuenta con una gran variedad de elementos dinámicos como botones, pestañas (*tabs*)...
- Dash Dependencies: Funciones que permiten crear *callbacks* que aceptan *inputs* y *outputs* como parámetros. Se explicará más en detalle posteriormente.
- Dash Trich Components: Permite la selección y *toggle* de tema entre claro y oscuro entre otros.
- Plotly: Librería de representación gráfica de los *datasets*. Cuenta con dos posibles módulos:
 - Plotly express: Opción de diseño de figuras más intuitiva que permite realizar gráficas con una sola función con parámetros versátiles. Sacrifica versatilidad por una menor dificultad.
 - Graph objects: Opción más compleja y manual, requiere para la información como vectores o de forma individual. Permite una mayor personalización y versatilidad.

Los únicos módulos que no se instalan automáticamente con Dash es Bootstrap Components y Trich Components:

```
pip install dash-bootstrap-components
pip install dash-trich-components
```

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO CON DASH

El método de diseño web en Dash muy sencillo e intuitivo, el código *app.py* cuenta con la siguiente estructura:



3.1. Preparación del código

Como todo archivo de código se requiere primero de:

- Importación de módulos y librerías mencionadas anteriormente.
- Definición de directorios y nombres de los archivos a utilizar.

3.2. Extracción, edición y formateo de los datos

La variable global **df** almacena en una *dataset* el CSV con los datos aportados por SaarGummi una vez se han limpiado. La variable **df2** dicta las variables que se van a visualizar y se pueden añadir más al CSV "ListadoVariables.csv", también indica los nombres completos de las variables, la máquina asociada, el tipo de variable y la posición en el plano de la planta de la fábrica de SaarGummi.

El diccionario `variables_dict` almacena la correspondencia de cada variable `variables` con su nombre completo `column_names` para su visualización.

También se crean 2 *datasets* copia de `df`: `data_str` contiene la fecha como *string* en formato SQL y `data_nuevo` contiene 2 columnas con la fecha y horas separadas.

3.3. Layout

3.3.1. Preparación del layout

Se inicializa la aplicación Dash con los estilos CSS (*Bootstrap Components*, *Trich* y los iconos de *Font Awesome*), *scripts* de JS, la configuración y el título de la página.

3.3.2. Definición del layout de la aplicación

La estructura del *layout* es la misma que la de cualquier página en HTML con padres e hijos, pero en vez de usar un lenguaje de etiquetado se definen los elementos como funciones que aceptan como parámetros una lista de sus hijos, su id y su estilo.

Toda la página se incluye en una división (`html.Div()`) con el parámetro *children* con una lista de más elementos. Se genera así un árbol de elementos padres con hijos como parámetros de funciones:

- *NavBar*: barra superior con visibilidad persistente, muestra una breve información de la página y el botón de *toggle* de cambio de tema.
- *Body block*: bloque principal de contenido.
 - o *Photo scatter*: la primera división muestra la sección del plano de la planta con la línea de producción que se está analizando.
 - o *Collapse buttons*: a continuación, se muestra el menú con los botones de selección de visualización de los gráficos.
 - o *Collapse settings*: menú desplegable con la selección de: periodo, fecha y hora; *dropdown* de selección múltiple; y 2 *dropdown* de selección de variables.
 - o *Gráficos*: Finalmente se definen 3 gráficos vacíos ocultos que se mostrarán cuando se indique.
- *Footer*: barra que se muestra siempre al final de la página.

3.4. Callbacks

Los *callbacks* son funciones que se ejecutan en el servidor a llamada del usuario por medio de un *Input* (botón o evento), y devuelven la información necesaria para que la aplicación cliente se actualice y muestre la información necesaria. La aplicación cuenta con 11 *callbacks*, 4 de figuras y 7 de *collapses*.

3.4.1. Figuras

Los *callbacks* de figuras utilizan uno o ambos *datasets* cargados y devuelven una figura que se mostrará en el gráfico con el id correspondiente. Existen 4 gráficos con sus respectivos *callbacks*:

- *update_map()* se ejecuta al cambiar alguna de las 2 variables X e Y de sus *dropdowns* y se encarga de actualizar el plano con los puntos determinados por las coordenadas de la máquina.
- *line_plot()* muestra el gráfico de líneas con un *slider* y animación para cada ID, una línea mostrando la media de cada variable y un rango en gris con los valores admisibles entre los que pueden estar dichas variables.
- *update_corr_graph()* obtiene la matriz de correlación entre la lista de variables seleccionadas y dibuja el gráfico de correlación.
- *update_graph_scatter()* realiza un gráfico con los valores entre 2 variables X e Y para visualizar su correlación en caso de haberla.

Los 3 últimos *callbacks* realizan un filtrado del *dataset* en función del periodo, fecha y hora seleccionados en las opciones de visualización.

3.4.2. Collapses

Estas funciones permiten mostrar y ocultar partes de la página.

Los 4 primeros cambian la visualización de los 3 gráficos entre solo mostrar líneas en blanco o los gráficos seleccionados. Los 3 siguientes se encargan de mostrar las opciones de los gráficos:

- El de periodo, fecha y hora se muestra al seleccionar cualquier gráfico.
- Los 2 *dropdowns* de selección de variables X e Y se muestran con el scatter plot.
- El *dropdown* de selección múltiple se hace visible en caso de que lo sea el gráfico de líneas.

4. ARCHIVOS Y EJECUCIÓN DEL CÓDIGO

Como se ha mencionado anteriormente Dash permite el diseño de una página web en un solo archivo de Python, pero también son necesarias las imágenes y los archivos de estilo CSS. El repositorio cuenta con una serie de carpetas:

- “*assets*” almacena los archivos CSS, los *templates* de los archivos pdf...
- “*components*” contiene el código de Python del *NavBar* y el *Footer*.
- “*datos*” contiene los archivos CSV del que se extrae la información.

Para ejecutar el código solo es necesario compilar **app.py**, el servidor se crea en Flask y muestra por terminal el enlace al puerto local en que se ha abierto. Clicando se accede a la página.

Debido a el uso de un servidor de desarrollo la primera vez puede dar errores y es recomendable recargar la página al menos una vez para que le dé tiempo a cargar todas las figuras.

5. HERRAMIENTA VISUAL

A continuación, se va a realizar un paseo virtual por la herramienta de SaarGummi Visual Tool y todos los componentes utilizados que se han explicado con anterioridad. Para entender la aplicación se ha de explicar su disposición en base al procedimiento que se seguirá por parte del usuario.

1. **Arrancar la aplicación:** el usuario iniciará la aplicación mediante la compilación del código fuente desde el cual se accederá a la herramienta.
2. **Análisis de la página de inicio de la aplicación:** el usuario será recibido por la página de inicio en la cual se encontrará el mapa de la línea de extrusión y los botones necesarios para desplegar los gráficos que se crean necesarios.
3. **Desplegar gráficos:** tras pulsar cada uno de los botones se desplegará un gráfico en particular con sus respectivos ajustes. los ajustes que se despliegan dependerán de los gráficos que se encuentran visibles.
4. **Seleccionar la información a desplegar:** mediante los ajustes que aparecen con los gráficos se puede cambiar la información que se mostrará de la base de datos. Estos ajustes nos permiten cambiar el periodo que queremos visualizar (día, mes, año...) así como las variables que queremos representar.

5.1. Elementos

En primer lugar, como se ha comentado con anterioridad al iniciar la aplicación el usuario verá un mapa de la línea de extrusión que se va a estudiar y los botones que permitirán que despliegue toda la información que se desea estudiar. La página principal de la aplicación se divide en 4 divisiones diferenciadas.

1. **Barra de navegación:** La barra de navegación se trata de la división superior que se mantendrá constante en la pantalla y que muestra tanto el encabezado con el título y logo como el mapa interactivo de la línea de extrusión donde se mostrarán las variables que se están evaluando en cada momento. Este mapa es reactivo y no hace falta recargar la página para su actualización puesto que irá cambiando con las consignas del usuario. Este encabezado se puede ver a continuación en la Ilustración 1.



Ilustración 1: Barra de navegación de la aplicación

2. **Popover informativo:** Con tal de introducir la aplicación se ha creado un *popover* en la barra de navegación con el título de "info" con tal de que el usuario pueda leer en español o inglés la intención de la aplicación diseñada. El *popover* se puede ver en la Ilustración 2.



Ilustración 2: Popover informativo de la aplicación

3. **Footer:** El *footer* de la aplicación se mostrará siempre al final de la página pero no será estático como la barra de navegación. En el mismo se mostrará información de la aplicación así como los logos de SaarGummi e ICAI. El *footer* se puede ver en la Ilustración 3



Ilustración 3: Footer de la aplicación

4. **Botonera:** A través de los botones que se pueden ver en la Ilustración 1 se accederá a los segmentos desplegables de la aplicación los cuales están divididos en dos secciones adaptativas que permiten que se puedan mostrar de uno en uno o todos directamente sin problemas de visualización. Los gráficos disponibles son un gráfico de líneas, un gráfico de correlaciones y un gráfico de dispersión. La botonera se muestra en la Ilustración 4.

Opciones de visualización



Ilustración 4: Botonera de la aplicación

Tras la elección de uno de los gráficos para mostrar se desplegará dicha división, así como sus ajustes pertinentes. A continuación, se van a mostrar cada una de las opciones.

5.1.1. Gráfico de líneas

El gráfico de líneas sirve para la evaluación de los valores de las variables que han formado una pieza, así como su validez a la hora de rechazar o aceptar una pieza.

Los ajustes del gráfico de líneas se muestran en la Ilustración 5. En primer lugar, los ajustes del gráfico nos permiten la selección del periodo que se quiere mostrar y una vez elegido nos da la posibilidad de elegir el punto de inicio del análisis mediante un selector de fecha y de hora. Una vez elegido el periodo, se pasará a elegir las variables de la línea que se quieren evaluar. Como se puede ver en la Ilustración 5 por defecto se encuentran todas las variables seleccionadas y se pueden reorganizar a gusto del usuario, así como disminuir y aumentar el número de estas que se quiere que se muestren en el gráfico.

Opciones de selección de fecha y periodo

Periodo de Visualización: Año [x] ▼

Fecha seleccionada: 19/5/2021

Hora de día: [4] [8] [12] [16] [20] [24]

Opciones de selección de variables:

[x] Temp Extrusor-60 [x] Temp Extrusor-90 [x] Temp Extrusor-Vert [x] Pres Cabezal [x] Pot Hornos Microondas [x] Vel Hornos Vulcanizados 1 [x] Vel Hornos Vulcanizados 2 [x] Vel Hornos Secado ▼

Ilustración 5: Ajustes del gráfico de líneas

Una vez elegidas las variables a mostrar así como el periodo que se quiere mostrar se podrá realizar un análisis de piezas del periodo deseado. Este análisis tendrá mayor facilidad puesto que la aplicación dispone de un botón de "Play" que iniciará una animación que nos permitirá ver en una línea las variables de cada ID de pieza y se irá avanzando por ID. Conforme cambie de ID de pieza la línea de valores irá cambiando por lo que cuando la línea salga de las bandas de confianza demarcadas en el gráfico en color gris se podrá decir que dicha pieza es defectuosa. El gráfico animado de líneas se puede ver en la Ilustración 6.

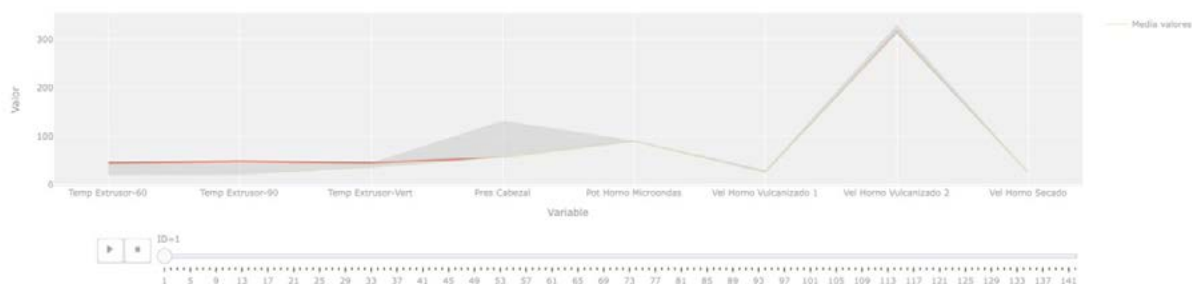


Ilustración 6: Gráfico de líneas

5.1.2. Gráfico de correlación

En el gráfico de correlación los ajustes se reducen a la selección del periodo a visualizar como se puede apreciar en la Ilustración 7.

Opciones de selección de fecha y periodo

Periodo de Visualización: Año [x] ▼

Fecha seleccionada: 19/5/2021

Hora de día: [4] [8] [12] [16] [20] [24]

Ilustración 7: Ajustes del gráfico de correlación

El gráfico de correlación, que se puede ver en la Ilustración 8 nos indica mediante un código de colores que se muestra en la barra situada en la parte derecha del gráfico la correlación entre las variables de la línea. Esta información se puede utilizar para realizar una selección fundamentada de las variables que se muestran en el gráfico de líneas introducido en el apartado anterior o para analizar en mayor profundidad mediante el gráfico del *scatterplot* que se introducirá a continuación.

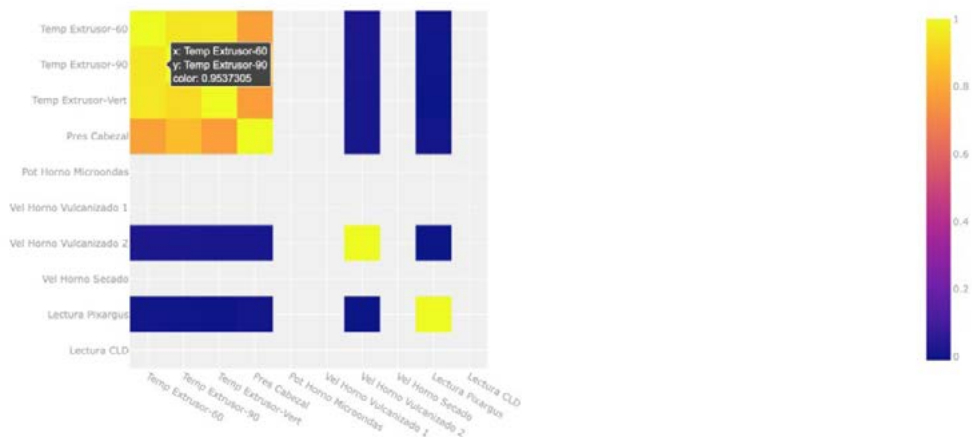


Ilustración 8: Gráfico de correlación

5.1.3. Scatterplot

Los ajustes del *scatterplot* son por un lado la selección de periodo que se ha introducido con anterioridad y por otro lado la selección de variables que se quieren mostrar. Como se puede ver en la Ilustración 9 nos permite seleccionar la variable que se desea mostrar en el eje x y el eje y de manera separada, lo que nos da la capacidad de personalizar el gráfico para que el usuario pueda sacar el mayor partido a la herramienta.

Ilustración 9: Ajustes del scatterplot

Como se puede ver en la Ilustración 10, el gráfico de correlación muestra el valor de cada uno de los ID de productos incluidos en el periodo seleccionado por el usuario para ambas variables. Debido a que al ser un proceso de poca desviación entre variables se ha decidido otorgarle un *alpha* de 0.2 a cada punto, con ello nos permite evaluar la densidad de piezas en un mismo valor, dándonos así los valores de funcionamiento normal y facilitando el análisis de *outliers*.

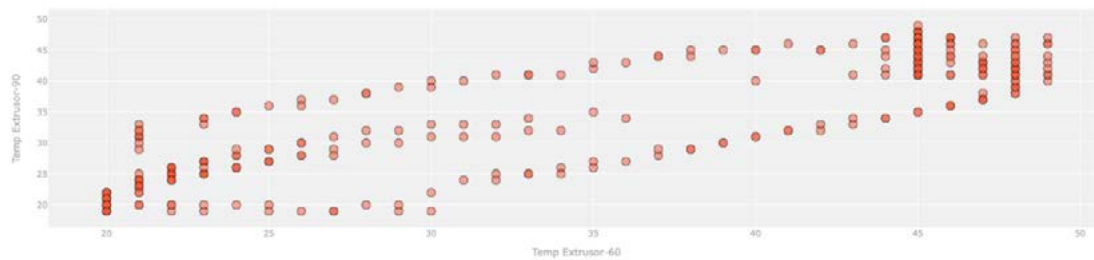


Ilustración 10: Scatterplot

5.1.4. Modo oscuro

Tras evaluar las circunstancias de uso de la aplicación y puesto que en el ambiente de teletrabajo hacia el cual se ha evolucionado se ha decidido que una buena adición a la aplicación es la posibilidad de que el usuario tenga la capacidad de cambiar el modo de visualización a uno con colores más oscuros que no cansen tanto la vista puesto que este trabajo puede realizarse durante un número elevado de horas. El modo nocturno se muestra a continuación en las Ilustraciones 11-17.



Ilustración 11: Página de inicio de la aplicación (oscuro)



Ilustración 12: Ajustes del gráfico de líneas (oscuro)

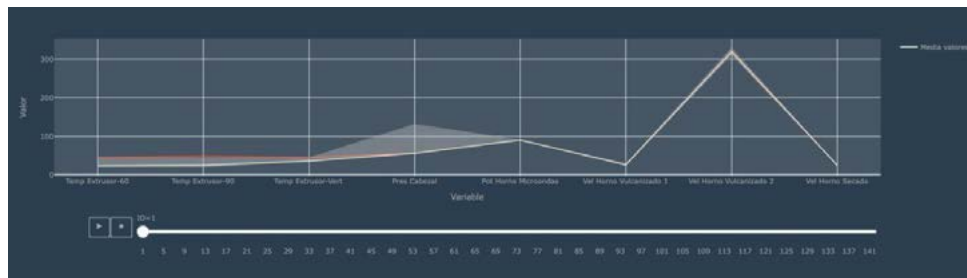


Ilustración 13: Gráfico de líneas (oscuro)



Ilustración 14: Ajustes del gráfico de correlación (oscuro)

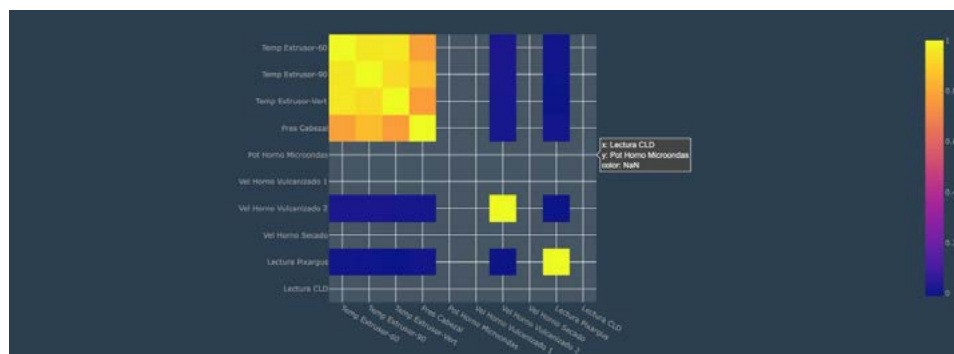


Ilustración 15: Gráfico de correlación (oscuro)



Ilustración 16: Ajustes del scatterplot (oscuro)

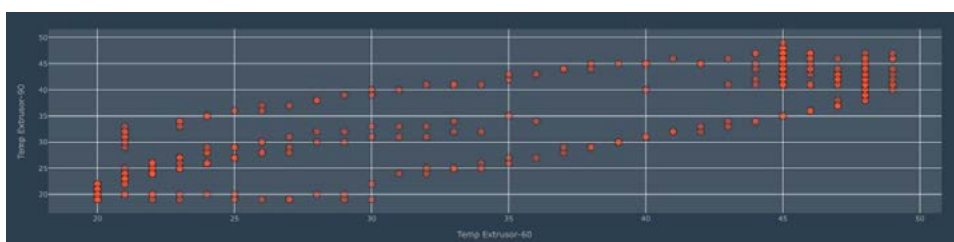


Ilustración 17: Scatterplot (oscuro)

6. CONCLUSIONES

La aplicación se ha desarrollado con el objetivo de ser utilizada como método de análisis de la producción ya sea en línea como en post-producción. Pero los datos aportados durante el proceso de diseño han estado limitados a los suministrados por el equipo de limpieza y análisis de SaarGummi. Y las posibles gráficas se han producido en búsqueda de encontrar soluciones visuales que puedan aportar información útil.

La aplicación ha pasado por numerosas etapas y ha contado con múltiples gráficas distintas buscando utilidad e innovación. El framework de Dash en Python utilizado nos ha permitido probar formas de representación muy variadas: representaciones 3D, diagramas de cajas, *scatterplots* de burbujas... Todos ellos se han ido programando como figuras y almacenando en archivos de código de prueba o libretas de Jupyter notebook, con el fin de experimentar y en un posible futuro recibir *feedback* de la empresa acerca de la información que le podría ser útil.

En resumen, la aplicación tiene una base de programación muy versátil y podría utilizarse perfectamente en un servidor centralizado para obtener una representación gráfica de las variables de producción en tiempo real, pero se necesita definir una serie de objetivos y utilizar unos datos completos y bien definidos con descripciones claras de las variables y sus rangos límites.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

POLÍTICA INDUSTRIAL**ESTUDIO DEL PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA: IMPACTO DE LA DIGITALIZACIÓN****Alumno:**

José Ramón Martínez Cano

1. INTRODUCCIÓN

La influencia de la COVID-19 desde marzo de 2020 ha tenido un gran impacto sobre la economía europea, viéndose más acentuado en las economías más dependientes del sector terciario, especialmente de las verticales relacionadas con la movilidad y el ocio/turismo como puede ser el caso de España. Sin embargo, la llegada del programa europeo de estímulos bautizado como Next Gen EU, puede suponer una lanzadera en la recuperación económica del país algo que podría permitir a España situarse como una potencia en ciertos sectores con potencial de futuro y con la capacidad de hacer nuestra economía más resiliente.

Esta crisis ha puesto de manifiesto la fragilidad de la economía española y su cadena de suministro. La dependencia de España del sector turístico ha resultado muy negativa en el contexto actual debido a las restricciones a la movilidad de las personas, tanto entre países y regiones, como dentro de las propias ciudades. De hecho, estas necesarias restricciones y la imposibilidad de acceder a diversos recintos han supuesto el fin de 5 años de crecimiento de la economía española resultando en una caída del PIB del 10,8%, la mayor caída desde la guerra civil. Así mismo, durante los primeros meses de la pandemia se sufrió escasez de productos imprescindibles como EPI o mascarillas, lo que ha potenciado la necesidad de implantar una industria local competitiva internacionalmente. Esta es conocida como "glocal". Una industria implantada en un ámbito local pero competitiva internacionalmente, gracias a las nuevas tecnologías.

Para poder paliar los efectos causados por la pandemia, el gobierno de España decidió inyectar una gran cantidad de recursos, para incrementar las medidas de seguridad, tratar de sostener el tejido productivo, el empleo y las rentas de las familias, lo que permitió mitigar en los momentos más fuertes de la crisis sanitaria el impacto económico y social en el país. Sin embargo, esta inyección de recursos también ha supuesto un incremento muy importante de la deuda española que ha llegado a alcanzar máximos históricos. España ha pasado de tener una deuda del 95,5% al 119,9% como porcentaje del PIB en un solo año llegando a ser uno de los países más endeudados de la Unión Europea.

Todas estas inyecciones de dinero pueden considerarse suficientes para paliar en cierta medida los efectos de esta crisis, pero no son suficientes para poder volver al crecimiento económico. Por otro lado, esta crisis ha escenificado el desequilibrio estructural en la economía española entre las industrias productivas y otros sectores, lo que ha llevado a poner el foco en la necesidad de mejorar procesos de transformación estructural y en la digitalización.

Para ayudar a los estados miembros a gestionar esta crisis, la Comisión Europea ha puesto en marcha una serie de medidas orientadas en su esencia a relajar las restricciones presupuestarias en relación con el déficit, que podrían haber supuesto las reglas previas a la explosión de la pandemia. Entre otros estímulos, en el Consejo Europeo del pasado mes de julio se acordó un paquete global de fondos

europeos de 1,82 billones de euros a lo largo del plazo 2021-2027 para sustentar la recuperación de la pandemia de la COVID-19 y las prioridades a largo plazo de la UE en diferentes ámbitos de actuación.

De estos 1,82 billones, 750.000 millones serán dedicados al plan Next Generation EU, cuyo objetivo es impulsar proyectos de cierto valor estratégico e impulsar el valor de la economía de cada región. Por todo ello, se hace necesario disponer de esta inyección de dinero extra que suponen los fondos para afrontar un triple objetivo: apoyar la crisis sanitaria, impulsar a medio plazo un proceso de transformación estructural, y llevar a largo plazo un desarrollo más sostenible y resiliente, para poder afrontar una crisis posterior sin que el país se vea tan afectado.

Tras el acuerdo, España recibirá un total de 140.000 millones de euros entre los cuales 72.700 serán en subvenciones y 67.300 en préstamos. Estas ayudas están destinadas en un corto plazo de tiempo ya que el 70% están comprometidas entre 2021 y 2022, y el resto con un plazo máximo hasta el año 2024.

Para poder generar estas inmensas cantidades de dinero, la Comisión Europea ha decidido generar deuda en forma de bonos. Estos son bonos europeos mancomunados, lo que permite mutualizar la deuda y los riesgos de todos los países bajo el paraguas del Banco Central Europeo. Así se emite deuda con mayor garantía que la deuda soberana de cada país ya que la responsabilidad del pago estaría compartida.

La emisión de los primeros bonos generó gran expectación en los inversores ya que recibieron una demanda 7 veces superior en su lanzamiento, lo que refleja la confianza de los compradores en la recuperación de los estados miembros. Esta confianza se debe también a que estos bonos han sido evaluados con la calificación más alta por parte de las empresas de calificación de riesgos (Moody's, S&P, Fitch).

Para poder recibir estos fondos, el gobierno de España presentó el pasado 30 de abril de 2021 el "Plan de recuperación, transformación y resiliencia" (PRTR). Este plan traza la hoja de ruta para la modernización de la economía española, la recuperación del crecimiento económico y la creación de empleo tras la crisis del COVID-19, además de preparar el país para afrontar los retos del futuro.

2. EXPLICACIÓN DEL PLAN

El Plan de Recuperación, transformación y resiliencia (PRTR) prevé la movilización de más de 140.000 millones de euros de inversión pública hasta 2026, con una fuerte concentración de las inversiones y reformas en la primera fase del plan Next Generation EU, que cubre el periodo 2021-2023, con el fin de impulsar la recuperación y lograr un máximo impacto contra cíclico.

De estos 140.000 millones, 72.700 millones de euros llegarán en forma de subsidios, y 67.300 millones llegarán en forma de préstamos con bajo interés.

Un 70% de los fondos se dedicará a paliar la crisis generada por la emergencia sanitaria. El restante 30% se decidirá en 2022 con los datos que reflejen la evolución económica entre 2020 y 2022.

2.1. Ejes transversales

Para ello, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) incorpora una importante agenda de inversiones y reformas estructurales, que se interrelacionan y retroalimentan para lograr cuatro objetivos transversales: avanzar hacia una España más verde, más digital, más cohesionada desde el punto de vista social y territorial, y más igualitaria.

Sobre estos 4 ejes transversales, gira todo el PRTR en el cual se han creado 10 políticas palanca para poder materializar estas ideas.



Figura 1: Ejes transversales del PRTR

Desde la agenda urbana, la lucha contra la despoblación y el desarrollo de la agricultura hasta la modernización y refuerzo del sistema fiscal y de pensiones, pasando por la resiliencia de infraestructuras y ecosistemas, la transición energética, la modernización de la Administración, del tejido industrial y de la pyme y la recuperación del turismo, la apuesta por la ciencia y el refuerzo del Sistema Nacional de Salud, el impulso de la educación y la formación profesional continua, el desarrollo de la nueva economía de los cuidados, las nuevas políticas públicas del mercado de trabajo o el impulso de la industria de la cultura y el deporte.

Alrededor de estos 4 ejes transversales se enumeran las políticas palanca destinadas a materializar las inversiones en proyectos reales gracias a las inversiones y reformas realizadas

2.2. Políticas palanca



Figura 2: Políticas palanca del PRTR

PALANCA I: Agenda urbana y rural, lucha contra la despoblación y desarrollo de la agricultura

Resulta necesario articular medidas específicas para la España despoblada que impulsen la innovación social y territorial y faciliten el desarrollo de nuevos proyectos profesionales, la fijación de población, la atracción de talento, la prestación de servicios, así como un uso sostenible de nuestros recursos.



I. Agenda urbana y rural, lucha contra la despoblación y desarrollo de la agricultura

1. Plan de choque de movilidad sostenible, segura y conectada en entornos urbanos y metropolitanos
2. Plan de rehabilitación de vivienda y regeneración urbana
3. Transformación ambiental y digital del sistema agroalimentario y pesquero

Figura 3: Componentes políticas palanca 1

PALANCA II: Infraestructuras y ecosistemas resilientes

Las infraestructuras tienen la capacidad de movilizar grandes volúmenes de inversión a corto plazo y de generar un impacto estructural sobre el conjunto de la sociedad y la economía. Para el desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza, el refuerzo de la adaptación y resiliencia climática en infraestructuras.



II. Infraestructuras y ecosistemas resilientes

4. Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad
5. Preservación del espacio litoral y los recursos hídricos
6. Movilidad sostenible, segura y conectada

Figura 4: Componentes políticas palanca 2

PALANCA III: Transición energética justa e inclusiva

El desarrollo de un sector energético descarbonizado, competitivo y eficiente permite movilizar inversión privada significativa, aportando certidumbre y un marco normativo previsible, aprovechar el enorme potencial renovable de nuestro país y las cadenas de valor existentes para reforzar la competitividad de cara a los mercados domésticos y de exportación.

Permite además un posicionamiento estratégico en sectores de rápido crecimiento a nivel global en los que nuestro país puede liderar.



III. Transición energética justa e inclusiva

7. Despliegue e integración de energías renovables
8. Infraestructuras eléctricas, promoción de redes inteligentes y despliegue de la flexibilidad y el almacen
9. Hoja de ruta del hidrógeno renovable y su integración sectorial
10. Estrategia de Transición Justa

Figura 5: Componentes políticas palanca 3

- Infraestructuras eléctricas, promoción de redes inteligentes y despliegue de la flexibilidad y el almacenamiento.

PALANCA IV: Una Administración para el siglo XXI

Administración pública que actúe como tractor de los cambios tecnológicos, impulsando innovaciones, acompañando al sector privado, activando a los sectores y creando nuevos modelos de negocio replicables y escalables en el conjunto de la economía. Se plantea por ello una modernización de la Administración para responder a las necesidades de la ciudadanía y la economía en todo el territorio.

Se basa en la digitalización de los servicios y del funcionamiento de la Administración, y la transición energética de la infraestructura y del parque público y que por su efecto arrastre sobre el resto de la economía.

**IV. Una Administración para el siglo XXI****11. Modernización de las Administraciones públicas**

Figura 6: Componentes políticas palanca 4

- Modernización de las Administraciones públicas.

PALANCA V: Modernización y digitalización del tejido industrial y de la pyme, recuperación del turismo e impulso a una España nación emprendedora

Es necesario abordar una modernización del ecosistema de industria-servicios orientado a la digitalización y transición energética, para ganar en competitividad y contribuir de este modo a los objetivos de desarrollo sostenible. También es necesario impulsar proyectos transfronterizos y participar activamente en los Proyectos Importantes de Interés Común Europeo, con el fin de posicionar a la industria y servicios españoles a la vanguardia de la innovación y desarrollo tecnológico en áreas claves como los sistemas en la nube, la microelectrónica, la comunicación por satélite o las baterías para la automoción.

Del mismo modo y teniendo en cuenta la importancia que tienen en el tejido empresarial, las pymes deben formar parte de este proceso para que la digitalización y la transformación ecológica sean una realidad en España. Es clave mejorar el clima de negocios, favorecer la inversión e impulsar la creación y crecimiento empresarial, aumentando el tamaño y la productividad de las empresas y consolidando a nuestro país como un lugar de referencia en el apoyo al emprendimiento y en particular a las *startups* tecnológicas, con un enfoque integral, adoptando las mejores prácticas internacionales para hacer de España una nación emprendedora.

En esta misma línea, es necesario impulsar un plan coherente de digitalización de toda la cadena de valor en sectores tractores, que permita aprovechar plenamente las sinergias y oportunidades de los nuevos desarrollos tecnológicos y de gestión de datos en el ámbito de la cadena agroalimentaria y logística, el comercio, el turismo, la salud o la movilidad.

Finalmente, es necesario prestar una especial atención al turismo como sector gravemente afectado por la crisis, dado su peso en nuestra economía y el alto grado de competitividad internacional del mismo.

Se incluyen los siguientes componentes:



Figura 7: Componentes políticas palanca 5

- Política industrial España 2030.
- Impulso a la pyme.
- Plan de modernización y competitividad en el sector turístico.
- Conectividad digital, impulso de la ciberseguridad y despliegue del 5G.

PALANCA VI: Pacto por la ciencia y la innovación. Refuerzo a las capacidades del Sistema Nacional de Salud

No puede abordarse una transformación de país con visión de futuro sin basarse en la ciencia y el conocimiento. La crisis sanitaria ha puesto a la ciencia en un lugar preeminente y ha revelado la insuficiencia de la inversión en ciencia e innovación en general, y en particular en algunos sectores estratégicos determinantes, como la Inteligencia Artificial o el sistema de salud.

- Estrategia nacional de inteligencia artificial.

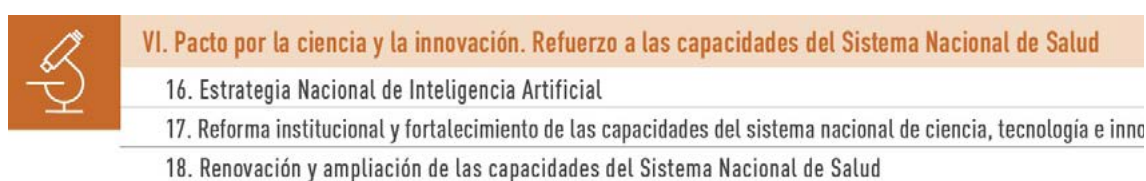


Figura 8: Componentes políticas palanca 6

PALANCA VII: Educación y conocimiento, formación continua y desarrollo de capacidades. El refuerzo del capital humano es fundamental para que el Plan de inversiones y reformas tenga el impacto deseado, tanto en la generación de actividad a corto plazo, como en el refuerzo estructural de la economía y las nuevas oportunidades laborales a medio y largo plazo.

- Plan Nacional de Competencias Digitales (digital skills).
- Plan estratégico de impulso de la Formación Profesional.
- Modernización y digitalización del sistema educativo, incluida la educación temprana de 0 a 3 años.

	VII. Educación y conocimiento, formación continua y desarrollo de capacidades
	19. Plan Nacional de Competencias Digitales (<i>digital skills</i>)
	20. Plan estratégico de impulso de la Formación Profesional
	21. Modernización y digitalización del sistema educativo, incluida la educación temprana de 0 a 3 años

Figura 9: Componentes políticas palanca 7

PALANCA VIII: Nueva economía de los cuidados y políticas de empleo

	VIII. Nueva economía de los cuidados y políticas de empleo
	22. Plan de choque para la economía de los cuidados y refuerzo de las políticas de inclusión
	23. Nuevas políticas públicas para un mercado de trabajo dinámico, resiliente e inclusivo

Figura 10: Componentes políticas palanca 8

PALANCA IX: Impulso de la industria de la cultura y el deporte

	IX. Impulso de la industria de la cultura y el deporte
	24. Revalorización de la industria cultural
	25. España hub audiovisual de Europa (<i>Spain AVS Hub</i>)
	26. Plan de fomento del sector del deporte

Figura 11: Componentes políticas palanca 9

PALANCA X: Modernización del sistema fiscal para un crecimiento inclusivo y sostenible

	X. Modernización del sistema fiscal para un crecimiento inclusivo y sostenible
	27. Medidas y actuaciones de prevención y lucha contra el fraude fiscal
	28. Adaptación del sistema impositivo a la realidad del siglo XXI
	29. Mejora de la eficacia del gasto público
	30. Sostenibilidad a largo plazo del sistema público de pensiones en el marco del Pacto de Toledo

Figura 12: Componentes políticas palanca 10

Debido a la llegada más próxima de fondos, en el próximo gráfico se detalla el reparto de la llegada de ayudas a fondo perdido. Así, se detallan las reformas e inversiones que se desplegarán en el periodo 2021-2023, por un total próximo a 70.000 millones de euros, con una concentración importante en los ámbitos de la transformación verde (40,29%) y digital (29,58%), y una apuesta clara por la educación y formación (10,5%), la I+D+i (7%) y el refuerzo de la inclusión social y la cohesión en todo el territorio.

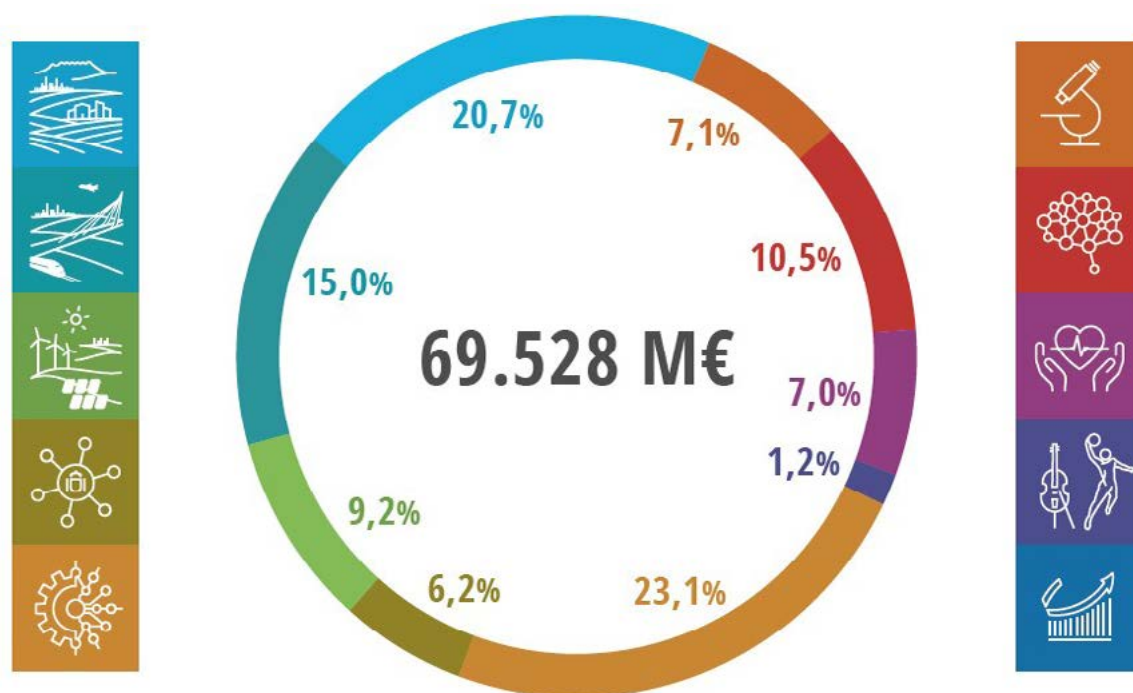


Figura 13: Reparto inicial de fondos PRTR

Con el fin de lograr un efecto anti-cíclico e impulsar la actividad económica y el empleo ya en la segunda parte de 2021, los Presupuestos Generales del Estado prevén una inversión de 27.000 millones de euros alineada con el Plan de Recuperación. Finalmente, la llegada de estos fondos para el año 2021 será de 19.000 millones tal y como confirmó el presidente del gobierno tras la aprobación del PRTR.

Realizando un análisis más severo al papel que nos conlleva este documento, se puede ver que la palanca 5 (Modernización y digitalización del ecosistema de nuestras empresas) es la más orientada a promover políticas digitales. Sin embargo, en muchas otras, como la palanca 4 (Una administración para el siglo 21), la palanca 6 (Pacto por la ciencia y la innovación y el refuerzo del sistema nacional de salud) o la palanca 7 (Educación y conocimiento, formación continua y desarrollo de capacidades) también tienen o necesitan una fuerte componente digital para su desarrollo.

En PRTR está marcado por un corto plazo muy fuerte, ya que es más que necesaria la llegada de los fondos europeos para poder así paliar los efectos de la crisis y no tener falta de liquidez. Para poder cumplir las fechas marcadas para recibir estas ayudas, el pasado 16 de junio la Unión Europea aceptó un gran número de planes de recuperación de diferentes países, incluyendo el PRTR español, y se dio luz verde para generar las primeras ayudas.

Tras la aprobación del plan por parte de la unión europea, se confirma la llegada de las primeras ayudas a finales del mes de julio, por un valor de 19.000 millones de euros y se espera que, gracias a la reforma del plan de pensiones pendiente de aprobar, lleguen las siguientes ayudas a final de año. A partir de ahí las siguientes ayudas estarían condicionadas por el cumplimiento de los hitos destinados para las ayudas anteriores y pendientes de una reforma laboral por parte del ejecutivo que parece estancada.

2.3. Consecuencias

Una vez analizadas las cuantiosas ayudas que van a llegar y la situación política y social de España, se puede ver que el país se encuentra en una situación excepcional de coyuntura. Esta situación basada en 4 puntos principales se puede aprovechar de manera muy correcta, relanzando la economía o desaprovechar debido a no focalizarse en proyectos tractores.

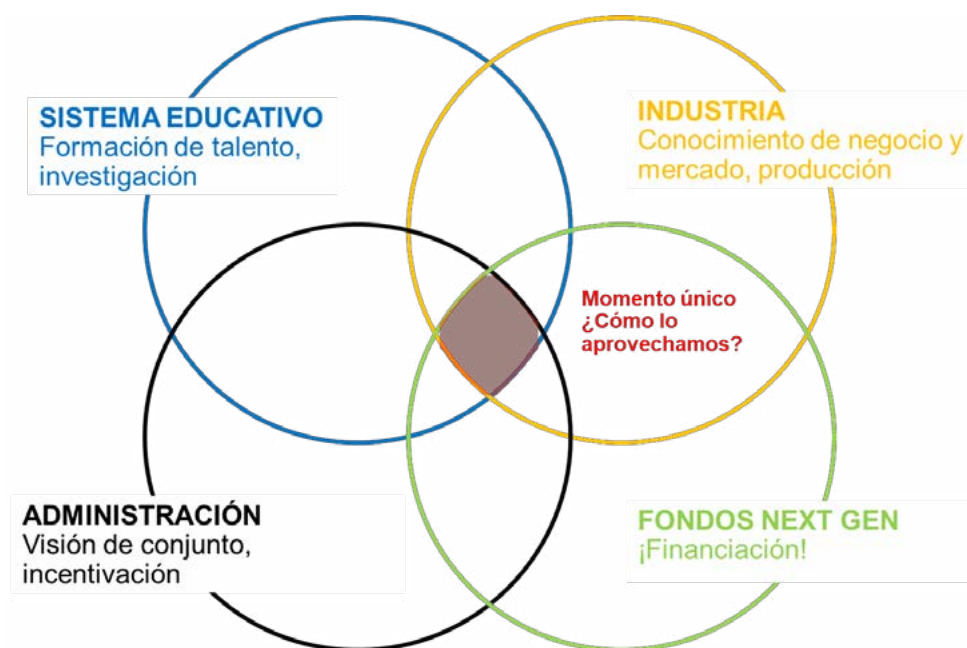


Figura 14: Coyuntura actual

El primer punto es el sistema educativo. España debe replantearse si el sistema educativo está lo suficientemente avanzado a nivel tecnológico y digital, y si esto está teniendo el impacto propulsor necesario en la economía. Se realizan grandes inversiones en este sector, pero habría que tratar de impulsar la digitalización para estar a la vanguardia mundial y a la par con los países más desarrollados, para obtener beneficio en el futuro. Además, también hay que plantear la importancia que tiene el talento en este sector y el efecto innovador que tiene sobre la industria.

El segundo punto por estudiar es el sector industrial. España se compone de una industria pequeña y muy basada en pymes. Pese a ser de pequeño tamaño se puede afirmar que tiene un amplio conocimiento del negocio y del mercado, y puede competir internacionalmente. Este sector industrial está muy relacionado con el sector educativo ya que requiere de procesos de formación continua y espera la llegada de nuevos trabajadores con las habilidades necesarias para desempeñar el trabajo de manera óptima.

El tercer punto clave es la administración. Es necesario disponer de un entorno regulatorio favorable que tiene que desarrollar una visión de conjunto e impulsar políticas adecuadas para incentivar la digitalización. También es importante fomentar los marcos de colaboración público-privados para promover la innovación y lanzar proyectos tractores de la economía.

Y, por último, el punto que lo une todo para poder aprovechar todas estas oportunidades que se presentan es la financiación. España va a recibir una cuantiosa cantidad de dinero y se encuentra en un momento único para relanzar su economía gracias a todos estos fondos, sin embargo, también lo podría desaprovechar realizando proyectos que no tengan el impacto deseado.

2.4. Inversiones y reformas

A continuación, se exponen todas las inversiones y reformas y se subrayan las que en mayor medida implican un contexto digital. Así conseguimos tratar la importancia de la digitalización industrial gracias a las ayudas europeas.

INVERSIONES

TABLA 2: Los 20 programas tractores de inversión		M€ 2021-23
1. Estrategia de Movilidad Sostenible, Segura y Conectada		13.203
2. Programa de Rehabilitación de Vivienda y Regeneración Urbana		6.820
3. Modernización de las Administraciones públicas		4.315
4. Plan de Digitalización de pymes		4.066
5. Hoja de Ruta del 5G		3.999
6. Nueva Política Industrial España 2030 y Estrategia de Economía Circular		3.782
7. Plan Nacional de Competencias Digitales		3.593
8. Modernización y Competitividad del Sector Turístico		3.400
9. Desarrollo del Sistema Nacional de Ciencia e Innovación		3.380
10. Despliegue e integración de energías renovables		3.165
11. Nueva Economía de los Cuidados		2.492
12. Nuevas Políticas Públicas para un Mercado de Trabajo Dinámico, Resiliente e Inclusivo		2.363
13. Preservación del Litoral y Recursos Hídricos		2.091
14. Plan Estratégico de formación Profesional		2.076
15. Modernización y Digitalización del Sistema Educativo		1.648
16. Conservación y restauración de ecosistemas y biodiversidad		1.642
17. Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable		1.555
18. Infraestructuras Eléctricas, Redes Inteligentes, Almacenamiento		1.365
19. Renovación y Modernización del Sistema Sanitario		1.069
20. Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial		500

Figura 15-1: Inversiones PRTR

REFORMAS

TABLA 3: Las 20 principales reformas del Plan de recuperación

1. Ley de cambio climático y transición energética
2. Desarrollo de un sistema energético, robusto y flexible, despliegue e integración de renovables
3. Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable
4. Resiliencia y Adaptación de Ecosistemas, Desarrollo y Conectividad de Infraestructuras Verdes
5. Ley de Aguas y Plan Nacional de Depuración, Saneamiento, Eficiencia, Ahorro y Reutilización
6. Modernización de la Política Agrícola y Pesquera - Protección del suelo y uso eficiente del agua
7. Política de Residuos e Impulso de la Economía Circular
8. Modernización del Sistema Nacional de Ciencia y Apoyo a la Innovación
9. Estrategia de Movilidad Sostenible y Conectada
10. Nueva Política de Vivienda
11. Modernización de la Justicia
12. Modernización y Digitalización de la Administración
13. Mejora de la Calidad Regulatoria y Clima de Negocios - Reforma concursal
14. Modernización y Refuerzo del Sistema Nacional de Salud
15. Modernización y Refuerzo del Sistema Educativo, de Formación Profesional y de la Universidad
16. Nuevas políticas públicas del Mercado de Trabajo: hacia un estatuto de los trabajadores del siglo XXI
17. Nuevas Economía de los Cuidados
18. Refuerzo de las Políticas de Inclusión y Servicios Sociales
19. Modernización y Progresividad del Sistema Fiscal
20. Refuerzo del Sistema de Pensiones

Figura 15-2: Reformas PRTR

REPARTO A CADA POLÍTICA Y COMPONENTES

TABLA 10: Distribución de la inversión entre las diferentes palancas y componentes		M€	%
	I. Agenda urbana y rural, lucha contra la despoblación y desarrollo de la agricultura	14.407	20,7%
	1. Plan de choque de movilidad sostenible segura y conectada en entornos urbanos y metropolitanos	6.536	9,4%
	2. Plan de rehabilitación de vivienda y regeneración urbana	6.820	9,8%
	3. Transformación ambiental y digital del sistema agroalimentario y pesquero	1.051	1,5%
	II. Infraestructuras y ecosistemas resilientes	10.400	15,0%
	4. Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad	1.642	2,4%
	5. Preservación del espacio litoral y los recursos hídricos	2.091	3,0%
	6. Movilidad sostenible, segura y conectada	6.667	9,6%
	III. Transición energética justa e inclusiva	6.385	9,2%
	7. Despliegue e integración de energías renovables	3.165	4,6%
	8. Infraestructuras eléctricas, promoción de redes inteligentes y despliegue de la flexibilidad y el almacenamiento	1.365	2,0%
	9. Hoja de ruta del hidrógeno renovable y su integración sectorial	1.555	2,2%
	IV. Una Administración para el siglo XXI	4.315	6,2%
	11. Modernización de las Administraciones públicas	4.315	6,2%
	V. Modernización y digitalización del tejido industrial y de la pyme, recuperación del turismo e impulso a una España nación emprendedora	16.075	23,1%
	12. Política Industrial España 2030	3.782	5,4%
	13. Impulso a la pyme	4.894	7,0%
	14. Plan de modernización y competitividad del sector turístico	3.400	4,9%
	15. Conectividad Digital, impulso de la ciberseguridad y despliegue del 5G	3.999	5,8%
	VI. Pacto por la ciencia y la innovación. Refuerzo a las capacidades del Sistema Nacional de Salud	4.949	7,1%
	16. Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial	500	0,7%
	17. Reforma institucional y fortalecimiento de las capacidades del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación	3.380	4,9%
	18. Renovación y ampliación de las capacidades del Sistema Nacional de Salud	1.069	1,5%
	VII. Educación y conocimiento, formación continua y desarrollo de capacidades	7.317	10,5%
	19. Plan Nacional de Competencias Digitales (digital skills)	3.593	5,2%
	20. Plan estratégico de Impulso de la Formación Profesional	2.076	3,0%
	21. Modernización y digitalización del sistema educativo, incluida la educación temprana de 0 a 3 años	1.648	2,4%
	VIII. Nueva economía de los cuidados y políticas de empleo	4.855	7,0%
	22. Plan de choque para la economía de los cuidados y refuerzo de las políticas de inclusión	2.492	3,6%
	23. Nuevas políticas públicas para un mercado de trabajo dinámico, resiliente e inclusivo	2.363	3,4%
	IX. Impulso de la industria de la y cultura del deporte	825	1,2%
	24. Revalorización de la industria cultural	325	0,5%
	25. España hub audiovisual de Europa (Spain AVS Hub)	200	0,3%
	26. Plan de fomento del sector del deporte	300	0,4%
	X. Modernización del sistema fiscal para un crecimiento inclusivo y sostenible	—	—
	27. Medidas y actuaciones de prevención y lucha contra el fraude fiscal	—	—
	28. Adaptación del sistema impositivo a la realidad del siglo XXI	—	—
	29. Mejora de la eficacia del gasto público	—	—
	30. Sostenibilidad a largo plazo del sistema público de pensiones en el marco del Pacto de Toledo	—	—
Total		69.582	100%

Figura 16: Reparto de ayudas PRTR

Vistas las inversiones y reformas y la cantidad de recursos destinados a PRTR, es importante ver el impulso a la recuperación económica a corto plazo tratando de evitar una intensa caída de la inversión pública y privada como la registrada en España como consecuencia de la anterior crisis financiera.

Las estimaciones actuales apuntan a que la plena ejecución de las inversiones y reformas podrían suponer un impulso aproximado de 2 puntos porcentuales en promedio anual durante el período de ejecución, la creación de más de 800.000 puestos de trabajo en el periodo de ejecución del Plan, y la mejora de la vertebración del país mediante la fijación de población en todo el territorio.

Además de este crecimiento económico se espera que la llegada de los fondos europeos reducirá la desigualdad en la distribución de la renta y podrá recompensar a dos colectivos especialmente golpeados en el confinamiento como son las mujeres y los jóvenes.

Por otro lado, a parte de las principales consecuencias de los fondos de recuperación, también es el momento de encarar un proceso de reindustrialización y digitalización para fortalecer el país en futuras crisis. Por ello se ha estudiado el proceso de digitalización necesario para alcanzar a ser una economía puntera mundial.

España se encuentra en una buena posición para encarar este proceso, con varias fortalezas evidentes. Es país líder en el despliegue de redes de fibra óptica. También la Comisión ha reconocido recientemente el esfuerzo de España en materia de digitalización en el índice DESI (Digital Economy and Society Index), que mide el índice de digitalización de los países europeos, por delante del resto de grandes países europeos y reconociendo su posición destacada en servicios públicos digitales.

El proceso de digitalización tendría importantes efectos en la productividad, el crecimiento y la creación de empleo, además de las mejoras de bienestar y de acceso a productos y servicios, tal y como señalan diversos estudios. Según un informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2018), en los países de la OCDE, un incremento del 1% en la intensidad de digitalización del país supone un aumento del PIB per cápita de un 0,14%. En España, una mejora de 10 puntos en el índice DESI podría suponer un aumento promedio de un punto del PIB per cápita real de España.

España está liderando el proceso para elaborar una Carta de Derechos Digitales, que pueda orientar el proceso legislativo y regulatorio a nivel nacional y europeo en los próximos años, y abordar también la modernización del marco laboral y de los mecanismos de concertación social.

2.5. PERTEs

Vista la importante situación en la que se encuentra España, es importante saber cómo se van a materializar estas ayudas en proyectos reales.

Para ello se empezó recogiendo manifestaciones de interés (MDIs). Las MDIs permiten realizar un mapeo de los posibles grandes proyectos con los objetivos y condicionantes de las empresas participantes y la justificación de su efecto tractor, así como también de sus impactos estimados sobre el crecimiento económico.

De las MDIs se obtienen los PERTEs (Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica). Este es el mecanismo mediante el cual el gobierno gestionará parte del dinero procedente de los fondos europeos para la crisis del coronavirus.

En el plan de recuperación emitido a Bruselas se han enviado 6 partes:

- Vehículo eléctrico.
- Industria aeroespacial.
- Agricultura sostenible.
- Sistemas de salud resilientes.
- Hidrogeno verde.
- Inteligencia artificial.

Los criterios para declarar un proyecto PERTE son:

1. Que represente una importante contribución al crecimiento económico.
2. Que permita combinar conocimientos, experiencia, recursos financieros y actores económicos.
3. Que tenga un importante carácter innovador.
4. Que sea importante cuantitativa o cualitativamente.
5. Que favorezca la integración y el crecimiento de las pequeñas y medianas empresas.
6. Que contribuya de forma concreta, clara e identificable a uno o más objetivos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Actualmente, los PERTEs más maduros son el del vehículo eléctrico, el de la industria agroalimentaria, el del sector aeronáutico y el de la industria farmacéutica. El único PERTE aprobado a día de hoy es el del vehículo eléctrico.

- PERTE del vehículo eléctrico:

El PERTE del vehículo eléctrico será el primero en ver la luz y será llevado próximamente al Consejo de ministros. Este implicará a 5 ministerios diferentes e incluirá toda la cadena de valor incluyendo la fabricación de las baterías y el ensamblaje, entre otras operaciones. También se quiere que las fábricas estén repartidas por todo el país ya que España es el segundo fabricante de coches a nivel europeo y el noveno a nivel mundial. Este PERTE tendrá una importante colaboración público-privada entre el gobierno junto con Grupo Volkswagen e Iberdrola.

Una vez visto el posible efecto que pueden tener los PERTEs y la necesidad de que respondan a las expectativas requeridas, se necesita que estos sean lo más amplios posible y que estén enfocados desde un enfoque múltiple pudiendo relanzar la economía de la manera más eficiente posible. Por ello es necesario que estos se aborden desde una perspectiva interministerial para poder canalizar un proceso industrial conjunto.

Para ello y pese a las dificultades que presenta, es importante abordar los problemas con un enfoque "cooperativo". Esto consiste en unificar empresas que sobre el papel son competencia para desarrollar capacidades optimizando el capital necesario y así dotar a la industria de habilidades digitales competitivas.

Se supone que las grandes empresas son las que van a llevar la voz cantante de estos proyectos, pero es fundamental que las pymes se vean beneficiadas en temas de sostenibilidad económica y de liquidez. Las pymes representan la mayor parte de las empresas en España por tanto si el proceso de digitalización no se produce en ellas puede producir un efecto ancla tanto en el resto de las empresas como en la economía española.

Analizando mas en detalle este PERTE, el ejecutivo ha sacado algunas conclusiones interesantes sobre los objetivos a conseguir.

Este PERTE espera obtener 4.295 millones de euros inversión pública con la consecución de 19.714 millones de inversión privada. Además con el impulso a la movilidad eléctrica, para que esta sea posible, también se espera la creación de 50.000 puntos de recarga eléctrica entre 2021 y 2023.

Actualmente la industria del automóvil representa el 10% del PIB y a final de este proyecto se espera obtener como objetivo 15% PIB en el año 2030.

La inversión más preciada de este plan es la construcción de fábrica de celdas de baterías en España. También está la reconversión de la fábrica de Seat (Martorell- Barcelona) para fabricar coches eléctricos.

Esta fábrica estaría destinada para realizar la construcción del coche eléctrico más pequeño junto a la fábrica navarra de Volkswagen.

La implantación de este plan de recuperación implica a la industria auxiliar tal y como empresas de automoción como Gestamp o Grupo Antolín, en el ámbito de la generación eléctrica como Iberdrola, en el punto de las telecomunicaciones como Telefónica o especialistas en minería como las reservas de litio existentes en Extremadura.

3. IMPACTO SOBRE LA INDUSTRIA

3.1. Impacto sobre pymes

Tras todo lo visto anteriormente, es necesario abordar el problema de que la industria española está fuertemente formada por pymes y estas no tienen una componente digital fuerte. Este último año han desaparecido una gran cantidad de pymes por problemas de liquidez, reduciendo puestos de trabajo y competitividad empresarial, lo cual se podría solucionar con un apoyo mayor gracias a la llegada de los fondos europeos.

También de este problema nace la falta de material básico sufrida en la pandemia, lo que ha puesto en relieve la necesidad de tener una industria básica en España que promueva la fabricación de componentes básicos. La adaptación a las economías de escala y al depender una gran cantidad de recursos, tales como pueden ser EPIs o mascarillas de países asiáticos, ha supuesto un problema de suministro. Al no recibir estos productos y al no estar adaptados a su fabricación, España tuvo escasez de ellos en los meses más críticos de pandemia.

España, como país, sufre un importante problema de escala, el cual le hace muy difícil crecer o llegar a tener la masa crítica para llegar a alcanzar a ecosistemas que se dan en América o en Asia. En España hay menos capital, menos fondos de capital riesgo, menos *startups*... Lo cual le impide desarrollar ideas innovadoras para poder competir internacionalmente.

Para abordar este problema, en vez de mirar solo a España como país, se podría hablar de una soberanía europea que gracias a la obtención de pactos europeos podría actuar como cadena de suministro continental sin restricciones fronterizas. Así cada país de la unión puede especializarse en un sector y

proveer de alimentos y útiles básicos al resto en cualquier época de crisis. Así también se puede activar un canal de competencia contra las economías más potentes del mundo como pueden ser Estados Unidos y China.

Por último, pero no menos importante, hace falta impulsar y promover el talento para realizar una digitalización de la economía. El talento es fundamental para el desarrollo de un país. Un impulso a la educación en todas sus variantes supone un impacto directo al tejido productivo debido a la llegada de trabajadores más preparados para afrontar nuevos problemas. Gracias a ello las empresas tendrían que invertir menos recursos en educación, lo cual puede suponer una contratación más flexible y una reducción del desempleo.

Además, es de especial importancia tratar planes de reeducación de trabajadores actuales para poder estar actualizados a las necesidades actuales y no verse pisados por las nuevas generaciones. Al final en cualquier caso de despido pueden verse mucho más preparados para cualquier trabajo que aparezca, lo que supone una reincorporación laboral mucho más temprana.

En conclusión, España ha sido uno de los países más afectados debido a la crisis de la COVID-19 ya que es una economía basada en el sector terciario. Sin embargo, gracias a la llegada de los fondos europeos Next-Gen EU, el país puede relanzar su economía para poder situarse a la vanguardia mundial. España va a recibir 140.000 millones de euros gracias a la aprobación del "Plan de recuperación, transformación y resiliencia", del cual se esperan sacar proyectos tractores, conocidos como PERTEs para poder relanzar la economía. Sin embargo, para poder realizar el crecimiento adecuado hay que saber la situación real en la que se encuentra España y a los problemas que se enfrenta. Es fundamental no olvidar a la pyme en este proceso y fomentar el talento y la educación como motor propulsor de la recuperación.

3.2. Comparación internacional. Países punteros.

Uno de los puntos clave con la llegada de los fondos de recuperación bautizados como Next Gen EU, es el proceso de digitalización presente en la mayoría de las políticas palanca. Se ha identificado al proceso de digitalización como un atributo capaz de propulsar la economía a niveles previos a la pandemia, el cual puede facilitar muchos de los procesos realizados actualmente, que pueden verse anticuados o poco automatizados.

Para conocer por qué este proceso es tan importante en el impulso de la economía, se ha decidido estudiar los efectos históricos que ha tenido la digitalización tanto en España como en otros países y los proyectos propulsores que esta puede llegar a tener.

En los últimos años, la digitalización se ha convertido en un motor de crecimiento económico imprescindible para España, aportando entre 2013 y 2018 una media anual de hasta 7.500 millones de euros al PIB. Esto demuestra que es necesario un ejercicio de concienciación a todos los niveles para comprender los beneficios que la digitalización tiene sobre las empresas y sobre el país, tanto en situaciones de normalidad, como en momentos de crisis como los que se están viviendo actualmente.

Para entender la contribución de la digitalización en España, podemos ver en la siguiente imagen la subida de 0,6 puntos porcentuales de la economía digital al PIB de España. Con estos datos, sabiendo además que España no se encuentra a la cabeza de los países más digitalizados, como veremos posteriormente, hace prever un amplio ámbito de crecimiento con repercusión directa a la economía pudiendo ser un sector tractor durante los próximos años

CONTRIBUCIÓN DIRECTA DE LA ECONOMÍA DIGITAL AL PIB DE ESPAÑA (%)



Figura 17: Contribución de la economía digital al PIB de España

En este contexto, es conveniente entender que para que la digitalización suponga un avance económico como en años anteriores, ya no solo basta con implantar de una manera adecuada la digitalización, sino también hace falta impulsar la formación de las personas, que son una parte importante de este cambio, y necesitan los conocimientos necesarios para realizar este proceso. Por tanto, un aspecto que cualquier organización deberá tener siempre presente es que tanto los recursos tecnológicos, como los humanos, serán indispensables para desarrollar el pleno potencial de esta transformación en cualquier área del negocio, por lo que los fondos europeos destinados a digitalización deben realizar un proceso de formación tanto industrial como personal para poder optimizar los recursos invertidos.

Haciendo un estudio sobre cómo puede mejorar España a niveles de digitalización y optimizar los recursos invertidos, es necesario realizar una comparativa internacional para saber qué políticas son necesarias implantar en nuestro país para poder parecernos a nuestros competidores más directos.

Para ello, se ha estudiado el índice DiGiX 2020 cuyo objetivo es conocer el estado de la digitalización en todo el mundo para comparar los niveles de los distintos países e identificar las áreas que requieren medidas en seis dimensiones: infraestructura, asequibilidad, adopción por parte de los usuarios, adopción por parte de las empresas, adopción gubernamental y regulación. Los resultados para 2020 muestran una mejora global gracias al grado de digitalización en 99 países, en comparación con 2019.

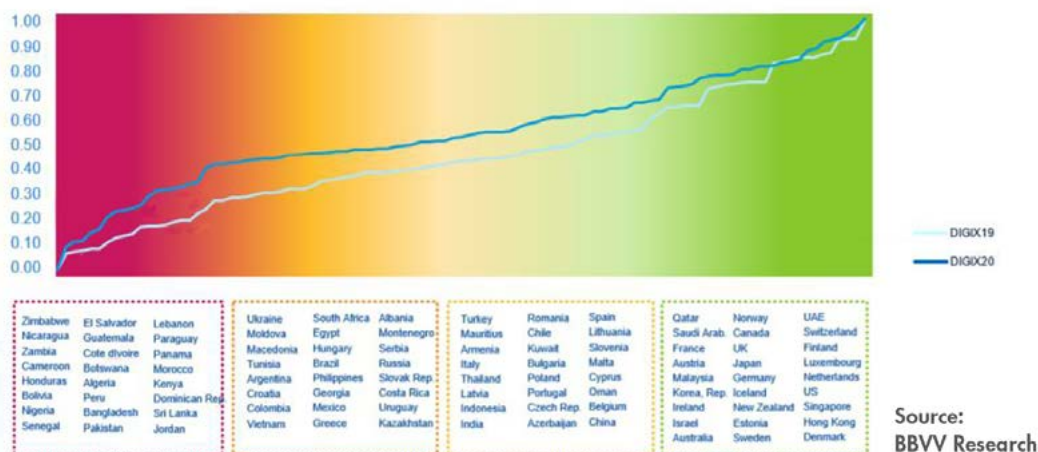


Figura 18: Cambio de digitalización de países el último año

Sin embargo, existe una amplia brecha digital entre países, especialmente entre los países desarrollados y los emergentes, como se muestra en la siguiente imagen. Representa la relación entre DiGiX (puntuaciones en el eje vertical) y el PIB per cápita (en el eje horizontal).

DIGIX AND GDP PER CAPITA BY REGION

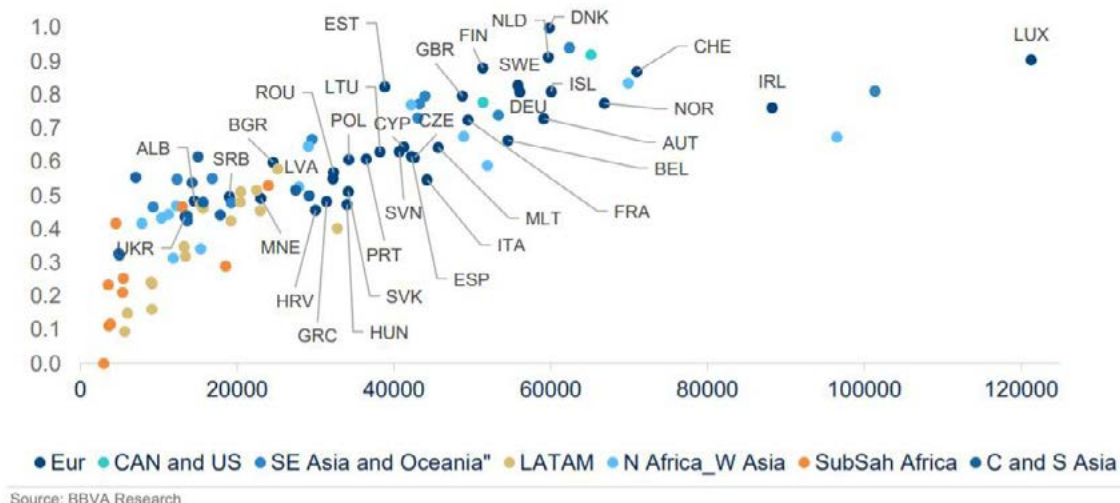


Figura 19: Relación digitalización- PIB

Por tanto, el ranking final de los países más digitalizados, siguiendo los parámetros establecidos por este índice, sitúan a España como una economía digitalizada, pero sigue estando lejos de la cabeza de los países más digitalizados del mundo. Por tanto, los fondos europeos pueden impulsar este proceso y tener una repercusión directa con el crecimiento económico.

La carrera hacia la digitalización en el mundo

2020 DiGiX: índice multidimensional del grupo de digitalización (0-100, países seleccionados)

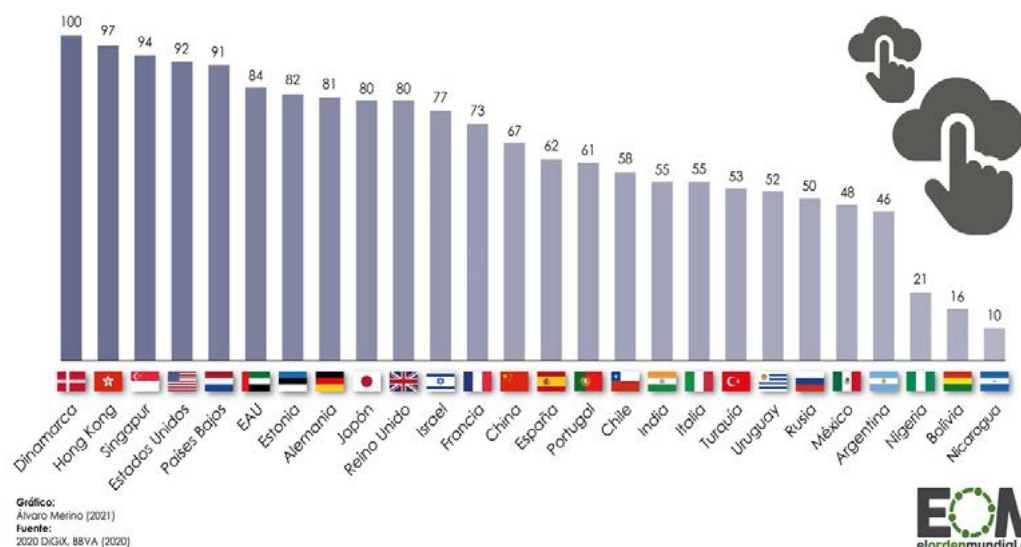


Figura 20: Índice Digix digitalización

También, gracias a los gráficos anteriores podemos observar que la digitalización en el mundo ha crecido de un año a otro, lo cual indica el rumbo que están siguiendo la mayoría de las naciones para poder establecer un proceso de crecimiento mundial. Por último, es importante destacar la importante diferencia entre países a nivel de digitalización, lo cual supone un empobrecimiento cada vez más severo de los países menos desarrollados.

Santiago Carbó, catedrático de Análisis Económico de la Universidad de Granada y director de Estudios Financieros de Funcas afirma que “España está siempre por debajo de la media europea”. Según el Índice de Economía y Sociedad Digital que elabora la Comisión Europea, aunque España ha ido ganando posiciones en los cinco parámetros que mide este barómetro (DIGIX), aún continúa por detrás del resto del continente en todos los indicadores salvo en este último. “Y eso que la UE está a su vez rezagada respecto a otros bloques de países”, añade el experto.

A continuación otro índice interesante de medición, aunque algo más anticuado es *The enabling digitalization index* (EDI) 2018. Este índice se establece comparando 5 parámetros que son regulación, conocimiento, conectividad, infraestructura y tamaño. Este índice sitúa a España en el puesto 27 y no destaca especialmente en ningún parámetro, situando a España en un puesto relativamente bajo en comparación con la media de los países desarrollados.

EDI 2018

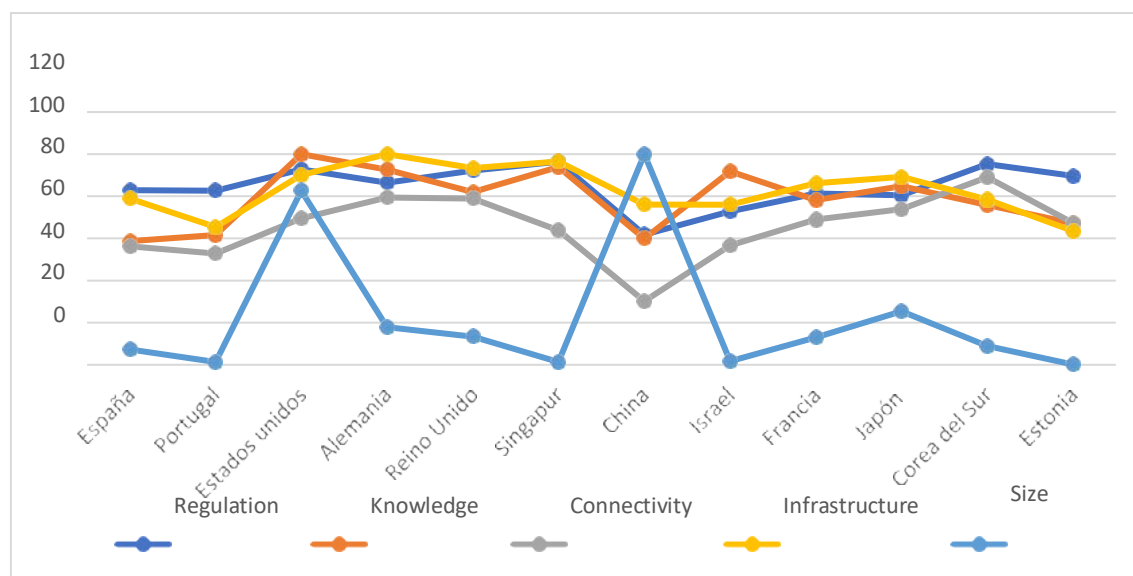


Figura 21: Índice EDI digitalización

En el gráfico anterior, se puede ver que España no destaca en ningún sector, pero se puede observar que está por debajo que el resto de países en “conocimiento”, por tanto puede ser un aspecto importante a mejorar.

PAÍS	Ranking (DIGIX)	CONOCIMIENTO	INNOVACION	INVERSIÓN	REGULACIÓN Y FISCALIDAD	INFRAESTRUCTURA	Gasto I+D (% del PIB) 2018	Científicos cada 10000 habitantes	Desempleo 2019	Inversion en digitalización (millones)
España	35					Políticas de impulso a los despliegues de banda ancha de colaboración público-privada que han permitido que España ocupe una posición de liderazgo. Mayor red de fibra en la UE y cobertura 4G superior al 99,5%	1,24%	25	15,40%	14.932,59 €
Portugal							1,36%	45	,50%	2.790,50 €
Estados Unidos	4	Aprendizaje online en más de cuarenta estados que aumenta la productividad y reduce costes		Mercado de capital centrado en mercados de valores	Ayudar a los reguladores a comprender mejor las nuevas tecnologías	Reducción de barreras regulatorias para el despliegue de small-cells para el 5G	2,79%	83	5,80%	486.936,50 €
Alemania	14	Formación digital continua de los empleados (Work 4.0)	Estrategia de Inteligencia Artificial				3,13%	60	4,40%	105.055,63 €
Reino Unido	16	Promover la mejor manera de impulsar la formación continua tanto en trabajadores como desempleados que buscan volver al mercado laboral. Returner programme	Colaboración público-privada (DIGITAL CATAPULT)	Un sistema fiscal adecuado, un marco regulatorio dinámico y una infraestructura y talento que favorece el entorno para hacer negocios			1,71%	43	4,70%	41.397,34 €
Singapur	3	Formación digital (Student Learning Space)			Tasas impositivas favorables y exenciones para la inversión en Investigación y Desarrollo	Atracción de inversión en infraestructura de centros de datos	1,94%	32	3,10%	6.132,03 €
China	28			Made in China 2025. impulsar la reestructuración y el desarrollo de su sector industrial mediante I+D; y creación de fondos de inversión extranjera en moneda local			2,13%	13	4,90%	250.774,04 €
Israel	20				Supresión de las barreras regulatorias para potenciar una actividad digital innovadora que compita con los retos y oportunidades que plantea la era digital		4,54%	140	4,30%	14.234,85 €
Francia	25						2,20%	47	7,30%	51.992,73 €
Japón	15		80 por ciento de todos los fondos de I+D provienen del sector privado, lo que le hace muy importante en innovación y tecnología				3,20%	80	2,80%	134.263,94 €
Corea del Sur	22						4,55%	80	3,10%	66.484,28 €
Estonia	11						1,40%	37	6,80%	363,13 €

Tabla 1: Comparación países políticas digitales

Por último, como se muestra en la tabla anterior se ha decidido realizar una comparativa de una serie de países del entorno, los cuales destacan en ciertos procesos de digitalización y pueden ser ejemplo para España para propulsar sus políticas digitales e intentar estar a la cabeza de la digitalización mundial.

En la tabla se expone al principio las principales políticas industriales y a continuación ciertos indicadores relativos de el impacto que tiene la digitalización en estos países.

Gasto en I+D (% PIB)

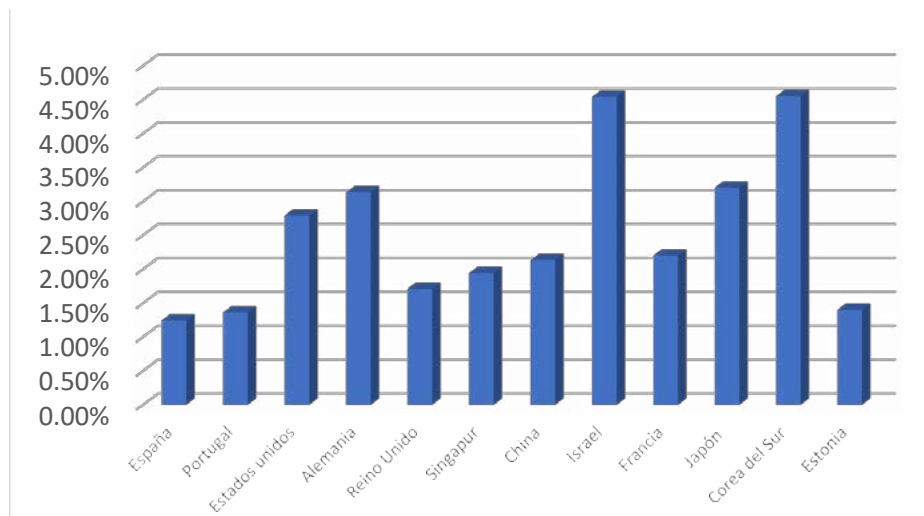


Figura 22: Gasto I+D (% PIB) países digitalizados

Primero se puede ver en la figura anterior el gasto en I+D como porcentaje del PIB. Aquí se ve que España se encuentra a la cola de los países que menos invierte entre los seleccionados, y podemos ver dos casos curiosos que se encuentran a la cabeza como Israel y Corea del Sur.

Gasto en I+D (TOTAL)

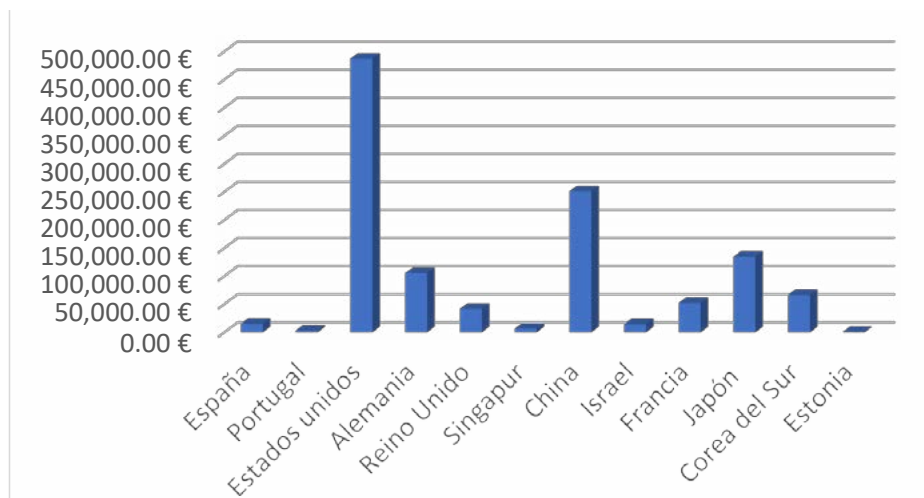


Figura 23: Gasto I+D (total) países digitalizados

Sin embargo, a la hora de comparar este gasto en términos absolutos, se puede ver que al final los que más dinero invierten por el tamaño de la economía, son las dos potencias mundiales Estados Unidos y China.

Científicos cada 10.000 habitantes

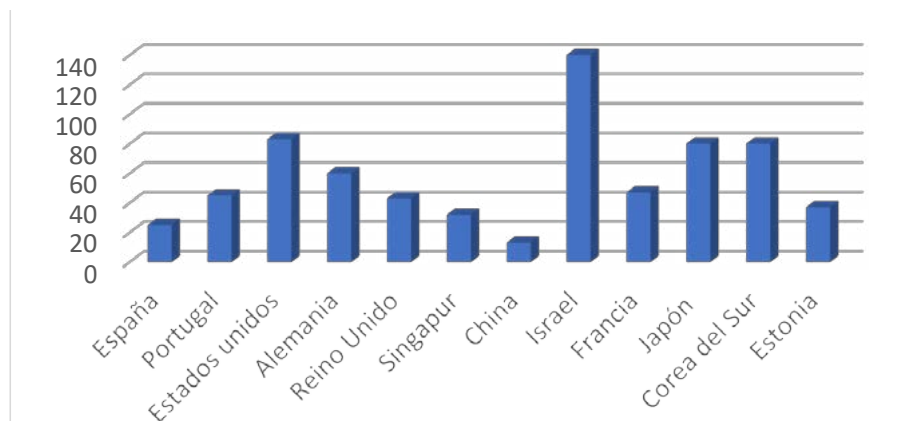


Figura 24: Científicos cada 10.000 habitantes países digitalizados

Un factor especialmente curioso, y del cual hizo incapie Gil Gidrón en la ponencia para la Cátedra de Industria Conectada, es la cantidad de científicos por cada 10.000 habitantes con la que cuenta cada país. Aparte de destacar el especial repunte de Israel, se puede observar que España no destaca en este apartado, estando de los últimos entre los países comparados.

También llama la atención el pequeño valor de China en términos de científicos. Sin embargo, se puede deber a ser una economía en vías de desarrollo y en la cantidad de población que tiene, que puede atenuar mucho estas cifras y no ser representativas.

% Desempleo

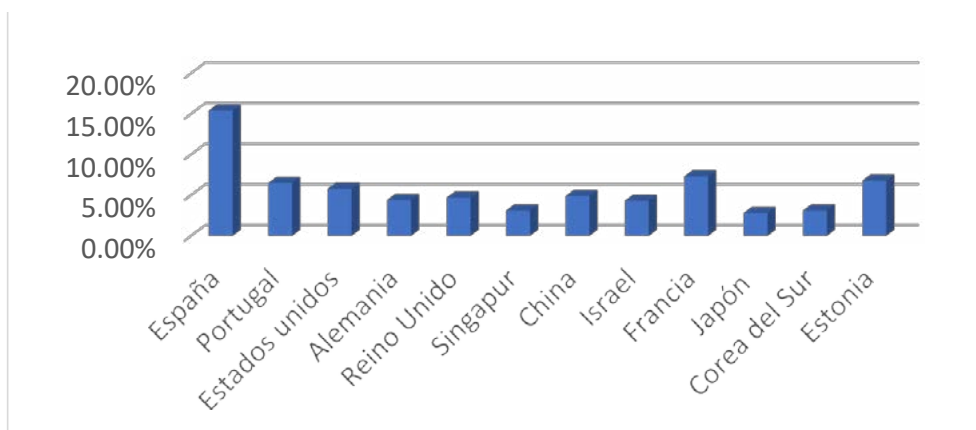


Figura 25: % Desempleo países digitalizados

Un grafico más que conocido, pero algo desagradable, es la relación encontrada entre digitalización y desempleo. No puede ser casualidad que España siendo el país menos digitalizado de los comparados en estos gráficos, también es el país con más desempleo. La relación entre cada euro invertido en digitalización y en conversión a puestos laborales, puede ser un gran indicador para poder materializar todas estas ayudas en la población.

3.3. Impacto de la digitalización en el empleo

Es más que evidente que se piensa que la llegada de la digitalización puede tener un impacto negativo en el empleo, ya que puede desplazar trabajadores, ahorrar trabajo humano, y aumentar aun más la brecha salarial entre trabajadores cualificados y no cualificados. Aunque esto no es real actualmente, es un motivo de los posibles que pueden pasar, pero se espera que como en anteriores revoluciones industriales, todo trabajador salga adelante y sea un beneficio común para la sociedad.

La apuesta fundamental es proteger al profesional por la vía de su cualificación: habilitar al trabajador para que sea capaz de adquirir las nuevas competencias que son necesarias para desempeñar su nueva tarea.

Cabe destacar el proceso conocido como *"lifelong learning"*. Este consiste en que un trabajador tiene que estar toda su vida reciclándose a nuevas tecnologías existentes. El aprendizaje continuo por parte de los trabajadores supone una adopción de las nuevas tecnologías más positiva por parte tanto del trabajador como de la empresa, y un recurso para poder mantener la competitividad empresarial en el sector.

Una teoría similar es la que promueve la universidad de Stanford con el concepto de *"openloop university"*. Este concepto rompe por completo con el pensamiento de tener la necesidad de estudiar en la universidad tan solo una vez. El trabajador va a tener que volver a la universidad varias veces en su vida laboral para aprender las habilidades que requiera el mercado en ese momento, lo cual puede tener un gran impacto tanto para el ambiente universitario, ya que se nutre de capacidades laborales con gente que ha estado recientemente trabajando, como para el trabajador, que recibe educación de las necesidades que están surgiendo. El resto de los estudiantes de menor edad se verán beneficiados ya que obtendrán una amplia red de contactos y un punto de vista diferente de lo que el futuro laboral les puede ofertar. La conexión entre el mundo laboral y la universidad sería mucho más estrecha.

Para poder realizar todas estas peticiones que requiere el mercado laboral, es necesaria una reestructuración de los sistemas educativos. La educación actual tarda más en implantar las nuevas tecnologías que el mundo laboral, y cuando los estudiantes salen al mercado laboral necesitan un proceso de adopción y aprendizaje de estas, lo cual incrementa los gastos. Si todas estas habilidades vinieran aprendidas de la universidad, las empresas apostarían mucho más por la contratación temprana de estudiantes, lo cual tendría un impacto muy positivo en la contratación temprana de estudiantes, incremento de salarios a jóvenes profesionales y en la reducción del paro juvenil.

Viendo la necesidad de formación continua y el rápido avance de la tecnología, un pilar fundamental es la formación en tecnologías digitales. La digitalización ha creado más de 2 millones de empleo en la última década y además 1,75 millones de empleos serán creados antes de 2030.

Por otro lado, se sabe que el incremento en digitalización puede tener un efecto destructor de empleo, debido a la automatización de los trabajos. Conforme al empleo capaz de ser automatizado, se sabe que los empleos de nivel de cualificación media y baja suponen riesgo de automatización, ya que se disminuye el riesgo de error de los trabajadores a un 2,5%, 2 veces menor que el error humano. La consecuencia directa de la automatización es el abaratamiento de la materia producida y el incremento en competitividad internacional.

El 46% de los empleos está en riesgo de ser automatizado, y la readaptación de las personas que pierdan el empleo puede suponer un riesgo social.

Ahora bien, la digitalización y automatización, puede suponer la readaptación de trabajadores en otros territorios lejanos al territorio previo de trabajo. Esta adopción por temas legales y al estar en un entorno liberalizado no tendría que suponer un problema en la movilidad, pero se ha visto que la

realidad no es así. La gente crea una serie de arraigos personales a su entorno de trabajo, lo que dificulta el cambio de ciudad o país por parte de los trabajadores. Este concepto se conoce como “*sticky economy*”, o economía pegajosa, en la que un trabajador puede necesitar más incentivos económicos en el caso de ver la necesidad de realizar un cambio de ciudad o país.

Realizando una visión internacional, para ver las debilidades y fortalezas de los diferentes niveles de digitalización de cada país, podemos ver que Europa está lejos de las economías más innovadoras de Asia y EE UU. Y, dentro de Europa, España está muy por detrás del resto de los países de su entorno. La inversión en I+D se ha estancado en España en el 1,25% del PIB, frente a la media europea que alcanza el 4% o la de los países más avanzados que están en el entorno del 6%.

También es importante poner a estudio la inversión en *Venture Capital* que tiene España, la cual es muy baja comparado con países punteros en este sector como es el caso Israel y Estados Unidos. La inversión en *Venture Capital* es cada vez más importante para relanzar proyectos innovadores, quitando la presión que pueden tener las pymes al tratar de financiarse, lo cual puede suponer un estancamiento por falta de capital.

Por otro lado, la regulación en proyectos de innovación también puede suponer trabas a la hora de crear proyectos lanzadera para la economía. Bajar la regulación en este sector puede ser clave ya que la vida de las *startups* en España es de 2,4 años, y no pueden tener paros de producción por retrasos de pagos o por temas administrativos. Digitalizar lo máximo posible el sistema público puede suponer un avance en temas administrativos, y quitar todas las trabas posibles.

Sin embargo, los fondos de recuperación pueden ayudar a superar los retos que plantea la digitalización en España, un país bien apuntalado por infraestructuras digitales.

Según el Índice de Economía y Sociedad Digital que elabora la Comisión Europea, aunque España ha ido ganando posiciones en conectividad, uso de servicios de internet, capital humano, integración de tecnología digital y servicios públicos digitales —los cinco parámetros que mide este barómetro—, aún continúa por detrás del resto del continente en todos los indicadores salvo en este último.

En conclusión, España se encuentra en una buena posición para encarar el proceso de recuperación, con varias fortalezas evidentes. Es país líder en el despliegue de redes de fibra óptica. También la Comisión ha reconocido recientemente el esfuerzo de España en materia de digitalización en el índice DESI (Digital Economy and Society Index), que mide el índice de digitalización de los países europeos, por delante del resto de grandes países europeos y reconociendo su posición destacada en servicios públicos digitales.

El proceso de digitalización tendría importantes efectos en la productividad, el crecimiento y la creación de empleo, además de las mejoras de bienestar y de acceso a productos y servicios, tal y como señalan diversos estudios. Según un informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2018), en los países de la OCDE, un incremento del 1% en la intensidad de digitalización del país supone un aumento del PIB per cápita de un 0,14%. En España, una mejora de 10 puntos en el índice DESI podría suponer un aumento promedio de un punto del PIB per cápita real de España.

4. CONCLUSIÓN

En conclusión, en la realización del estudio de los fondos europeos y digitalización se puede obtener que:

- Los fondos europeos que van a llegar a España en los próximos años son de especial importancia para la recuperación económica del país, debido al gran impacto que tienen que tener. La crisis del coronavirus ha realizado la caída mas grande del PIB desde la guerra civil y estos fondos

solo pueden atenuar algo el golpe o servir para relanzar la industria y tecnología del país en los próximos años.

- Una vez vista la importancia de los fondos, es fundamental que estos estén destinados a proyectos tructores de la economía para poder así tener un impacto en la recuperación económica y en el empleo. La aprobación de estos va algo lenta pero es fundamental que esté realizada sobre pasos firmes y seguros para no malgastar el dinero recibido. Aparte es importante ponerse a trabajar en los préstamos que por ahora no están siendo tratados porque es otra importante partida de dinero que también puede tener un importante efecto tractor.
- Como se ha visto con la llegada de los fondos europeos, es fundamental centrarse en el ámbito de la digitalización, ya que es y va a ser uno de los principales propulsores de la economía mundial. España se encuentra a día de hoy en una segunda división de los países más desarrollados del mundo y necesita subir de categoría para poder relanzar su economía al máximo posible.

5. REFERENCIAS:

1. PWC_Siemens, "Claves e inversiones estratégicas para Índice de contenido," 2021.
2. Gov. España, "Plan de recuperación, transformación y resiliencia," vol. 53, no. 9, 2021.
3. S. L. U. Deloitte Consulting, "El impacto de la digitalización en España Contribución de las empresas de DigitalES a la economía española," 2019.
4. CaixaBankResearch, "Next Generation EU: a golden opportunity for the Spanish economy." [Online]. Available: <https://www.caixabankresearch.com/en/economics-markets/public-sector/next-generation-eu-golden-opportunity-spanish-economy>. [Accessed: 28-Jun-2021].
5. "EL NIVEL DE DIGITALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA Informe sobre en España."
6. C. Innovación Transformación, "Digitalización de Europa."
7. "How Europe's Telcos Can Help Build a Vibrant Digital Economy | BCG." [Online]. Available: <https://www.bcg.com/publications/2021/how-europes-telcos-can-accelerate-economic-and-social-progress>. [Accessed: 28-Jun-2021].
8. "Los retos de España para reducir su brecha digital con los líderes mundiales | Economía | EL PAÍS." [Online]. Available: https://elpais.com/economia/2020/12/02/actualidad/1606930058_305319.html. [Accessed: 28-Jun-2021].
9. "Así avanza la digitalización en España | Economía | EL PAÍS." [Online]. Available: https://elpais.com/economia/2019/04/23/actualidad/1556019543_586222.html. [Accessed: 28-Jun-2021].
10. "España introduce su economía en el acelerador digital | Digitalización | Tecnología | EL PAÍS." [Online]. Available: <https://elpais.com/tecnologia/digitalizacion/2021-04-05/espana-introduce-su-economia-en-el-acelerador-digital.html>. [Accessed: 28-Jun-2021].



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.

SAARGUMMI IBÉRICA - Análisis de línea extrusora

RECOPIACIÓN DE PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Alumnos:

Ángel Sánchez Sierra
Blanca de María Prieto
Álvaro Morate Solís
Pablo Bobo Marco
Gonzalo García Galán
Blanca Gonzalez Felipe
Nicolás Olabarría García

1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este documento es recopilar los problemas y soluciones que se han llevado a cabo durante la realización del análisis de la línea extrusora de SaarGummi Ibérica. También se incluirá al final del documento un apartado de conclusiones que recogerá las más significativas. Este documento seguirá una organización cronológica empezando el 31 de mayo de 2021 y finalizando el 21 de julio de 2021.

2. PROCESO DE DESARROLLO

2.1. Semana 1 – Del 31/5 al 4/6:

Resumen: Inicio de proyecto y familiarización con el entorno de trabajo.

Durante esta semana, los alumnos becados de la Universidad Pontificia de Comillas se familiarizaron con programación en R y Python.

Se realizaron los siguientes cursos en la página Coursera:

- Programa especializado: *Data Science: Foundations using R* – Johns Hopkins University.
- *Python for Data Science, AI & Development* – IBM.

Se utilizó como referencia el libro:

- *Introduction to Machine Learning with Python* – Andreas C. Müller & Sarah Guido.

Por otro lado, también se estableció un repositorio en Github, donde se pueden almacenar códigos y archivos de forma remota. A la hora de crear dicho repositorio siempre se tuvo en cuenta las políticas de privacidad de protección de datos de SaarGummi. Por ende, el repositorio de GitHub, únicamente se utilizó como plataforma para compartir código entre los integrantes del proyecto.

2.2. Semana 2 – Del 7/6 al 11/6:

Resumen: Primer análisis de los datos de SaarGummi y visita a fábrica en Loeches.

El lunes 7 de junio de 2021 se recibió el primer set de datos de la línea de extrusión en Loeches. Se realizó un primer estudio de variables, analizando el significado de cada variable.

Para ello, se realizaron varios histogramas, *boxplot* y gráficos de dispersión en función del tiempo para establecer rangos normales de funcionamiento, delimitar posibles valores atípicos o valores vacíos.

Además, para compartir los programas mediante GitHub, se elaboraron diferentes códigos para manejo y almacenamiento de datos que aseguren la privacidad de los mismos. Entre otros, la finalidad de estos programas era cambiar el nombre de las variables de tal modo que no se viese expuesto ningún contenido confidencial.

Tras este estudio inicial se detectó un gran número de intervalos de tiempo en los cuales las variables estaban vacías o bien eran nulos, tal como muestra la variable L1_E90_INT_PV en la Figura 1. Se dedujo que se trataban de periodos de parada de la línea o de desconexión de sensor. La subida de referencia a partir del 10 de mayo da a entender que hubo un cambio de pieza en la línea de extrusión, por lo que se deberá analizar de forma independiente.

Se utilizó también el coeficiente de correlación de Pearson para determinar si había una relación lineal clara entre variables (Figura 2). Si se diera el caso, se determinó la posibilidad de eliminar alguna variable con el objetivo de reducir carga computacional durante el entrenamiento de los distintos modelos.

A su vez, se editaron los archivos csv para su posterior lectura en los códigos de programación. El problema principal al que se enfrentó fue la ausencia de información de variables así como la falta de variables de salida (ni los datos del PIXARGUS ni del CLD se incluían en estos primeros datos). Se realiza una reunión y una visita a la empresa en los días 8 y 9 respectivamente, con el fin de clarificar el proceso y las variables que lo comprenden lo antes posible.

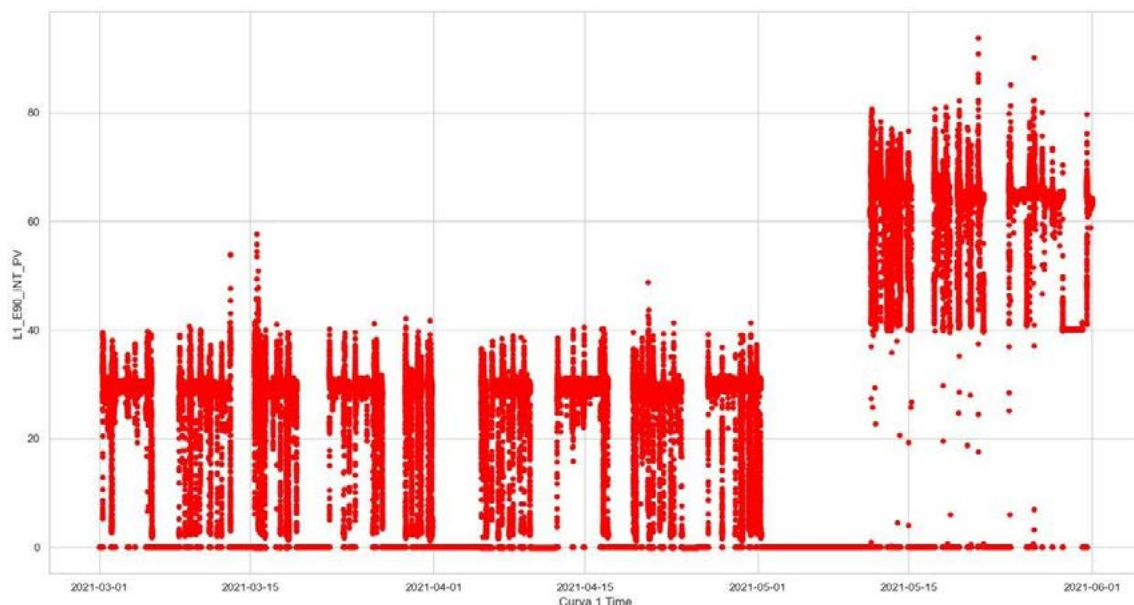


Figura 1 - Gráfico de dispersión L1_E90_INT_PV y tiempo

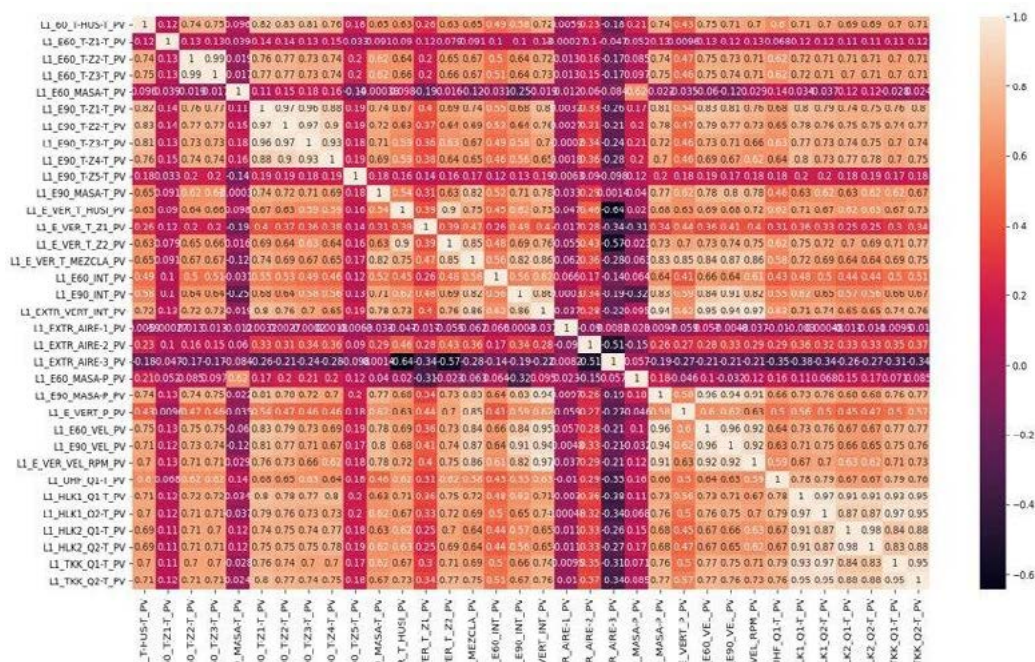


Figura 2 - Matriz de correlación de Pearson entre variables de entrada

Tras la visita, se acordó con SaarGummi recibir una nueva serie de datos con información más desarrollada del significado: unidades, valores nominales e intervalos de funcionamiento de cada variable. A la espera de esta nueva serie de datos se fue preparando un pseudocódigo para el procesamiento automático de datos.

2.3. Semana 3 – Del 4/6 al 18/6:

Resumen: Inicio de procesamiento de datos finales de SaarGummi.

El lunes 14 se adquieren los datos definitivos de la línea en distintos formatos (.log, .xlsx ...), y divididos de manera poco convencional, por lo que requerirán de una estandarización y unificación de los mismos en formato .csv para el análisis posterior.

Se continuó preparando un *script* para el procesamiento de datos y posterior implantación de modelos de regresión. El *script* incluye:

- Procesado básico de archivos confidenciales:
 - o Limpieza de archivos.
 - o Unificación de archivos .log.
 - o Ajustes de tiempo de las variables.
 - o Coordinación entradas y salidas.
- Pseudocódigo de división de datos para *cross-validation* (*train set* y *test set*).
- Pseudocódigo para establecer una regresión lineal (librería *sklearn*).
- Pseudocódigo para establecer una regresión por Perceptrón Multicapa o MLP (librería *sklearn*).

2.4. Semana 4 – Del 21/6 al 25/6:

Resumen: Realización de gráficos para la visualización de las variables y eliminación de outliers.

Se repite el proceso de análisis de los datos realizado en la semana 2 con los rangos proporcionados por la empresa. Se observa que al eliminar las variables fuera de rangos, se pierde gran parte de la información. Un ejemplo de esta situación aparece en el documento de *Extrusoras_PresionAireBoquilla* donde el 97,1% de los datos es negativo (Figura 3).

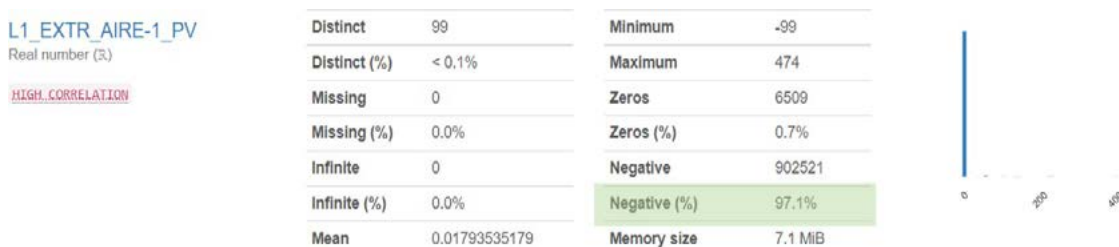


Figura 3 - Resumen de características de variable L1_EXTR_AIRE-1_PV

Por otra lado, en la descripción de las variables del archivo *Extrusoras_Presiones* se indica que se tratan de temperaturas y varía entre 0 y 100 °C. En cambio, analizándolos se llega a la conclusión de que eso tampoco puede ser posible al tener una gran parte de datos negativos o superando el límite superior.

L1_E60_MASA-T_PV	Temperatura	°C	0	100
L1_E90_MASA-T_PV	Temperatura	°C	0	100
L1_E_VER_T_MEZCLA_PV	Temperatura	°C	0	100

Figura 4 - Tabla de variables en *Extrusoras_Presiones* con sus respectivos rangos

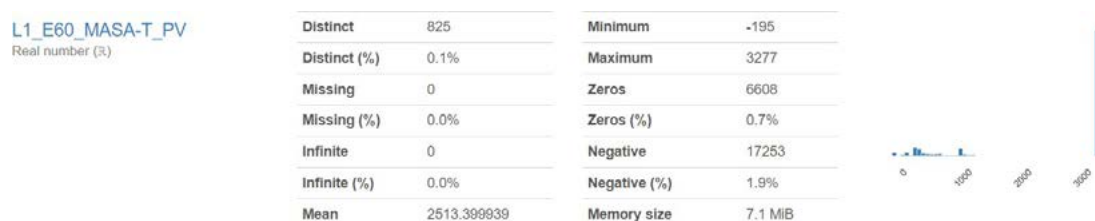


Figura 5 - Resumen de comportamiento de variable L1_E60_MASA-T_PV

2.5. Semana 5 – Del 28/6 al 2/7:

Resumen: Unión de entradas con salidas con diferentes tiempos y periodos.

Aunque las entradas del SCADA tienen el mismo periodo de muestreo de 10 segundos, las salidas CLD tienen un periodo de muestreo de 7 segundos mientras que PIXARGUS tiene un periodo variable de 0.5 a 7 segundos en función de la pieza producida, lo que impide la correcta unión de variables de salida y entrada. La razón de esta disparidad en el periodo de muestreo de cada variable se debe a la naturaleza de las mismas. Las variables del SCADA, como la temperatura de hornos y extrusoras,

tienen comportamientos muy inerciales por lo que las variaciones son muy lentas. En cuanto al CLD, se toma una única medida por cada pieza. Por último, es necesario tomar varias medidas de geometría de cada pieza con el PIXARGUS, ya que la forma del perfil es muy variable. Al tener periodos y tiempos de recogida de datos distintos, se complica y prolonga el tiempo necesario para unir los datos de forma automática. El periodo limitante lo establecen las entradas del SCADA, por lo que se recomienda cambiar los periodos de muestreo para que todos sean iguales entre el SCADA y CLD, y recoger datos siempre en los mismos tiempos en el SCADA y CLD.

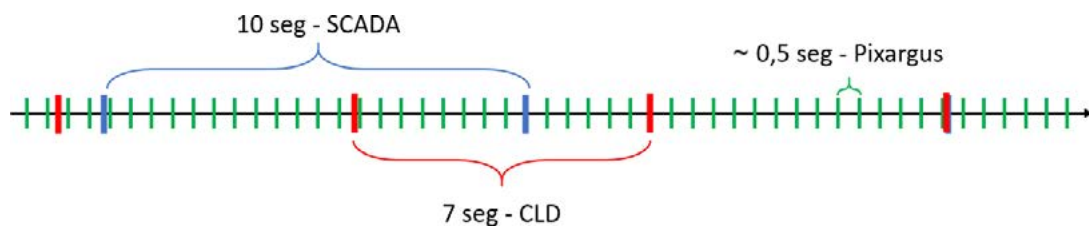


Figura 6 - Representación de distribución temporal de datos

DESFASES

	Velocidad	Tiempo retraso CLD	Minutos	Segundos	
E06407	0,2682	294,3477987	4,905797	54,34779869	0:04:50
		308,9057634	5,148429	8,905763421	0:05:10
		279,9635558	4,666059	39,9635558	0:04:40
		245,93607	4,098935	5,93607003	0:04:10
		181,1762215	3,019604	1,176221543	0:03:00
		31,68746004			0:00:30
E05096	0,26617	296,6423714	4,94404	56,64237142	0:05:00
		311,313822	5,188564	11,31382199	0:05:10
		282,1459969	4,702433	42,14599692	0:04:40
		247,8532517	4,130888	7,853251681	0:04:10
		182,5885712	3,043143	2,588571214	0:03:00
		31,93447797			0:00:30
E05321	0,2782	283,8174436	4,730291	43,81744358	0:04:40
		297,854594	4,964243	57,85459402	0:05:00
		269,9478	4,49913	29,94780004	0:04:30
		237,1376548	3,952294	57,13765481	0:04:00
		174,6946037	2,911577	54,69460368	0:03:00
		30,55383442			0:00:30
E06525	4,6380	17,02403827			0:00:20
		17,8660196			0:00:20
		16,19210441			0:00:20
		14,22407468			0:00:10
		10,4785935			0:00:10
		1,832690902			

Tabla 1 - Desfases observados en la toma de datos

2.6. Semana 6 – Del 5/7 al 9/7:

Resumen: Reestructuración de datos en función de pieza.

Al unir las entradas sin *outliers* con la salida se observa que apenas hay datos para la salida de CLD, quedando solo 18 días de los 3 meses de datos iniciales, lo que reduce considerablemente los datos de entrenamiento del modelo.

Además, no se es capaz de hacer el retardo de las variables de PIXARGUS para que coincidan con los del SCADA ya que, al quitar los *outliers* los intervalos de tiempos dejan de ser constantes.

Se pretenden eliminar los retardos uniendo las variables del SCADA sin ningún preprocesado previo, es decir, sin eliminar *outliers* ni valores vacíos. Una vez unido se añadirán los retardos teniendo en cuenta la diferencia de tiempos entre dos datos consecutivos. Como los datos de entrada están tomados cada 10 segundos (intervalo de obtención de datos del SCADA), si el intervalo de tiempo es superior a 10 segundos se considera como el inicio de un nuevo día, por lo que los datos del día anterior no deben interferir en el siguiente. Se seguirá el diagrama de flujo que se muestra a continuación:

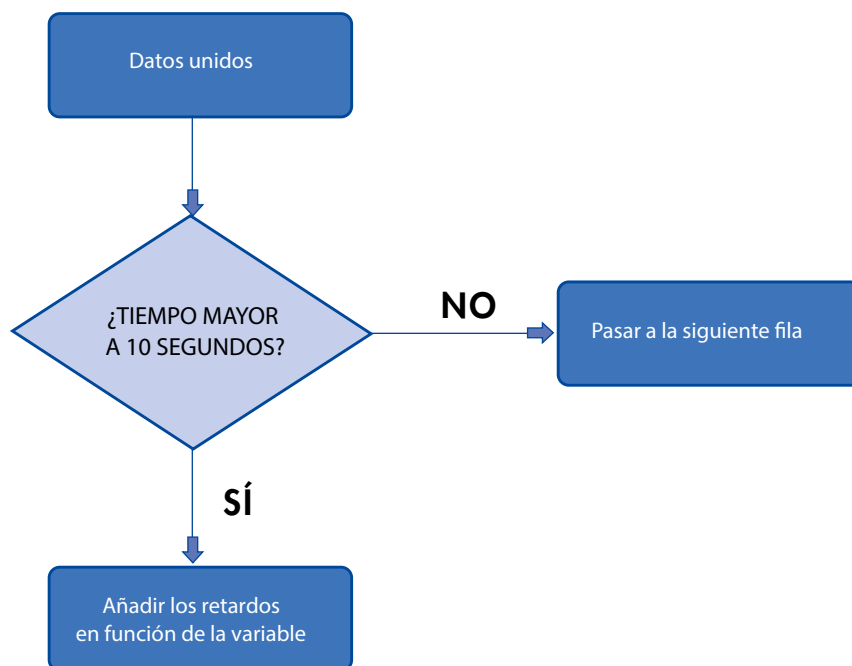


Figura 7 - Funcionamiento del algoritmo

Retardos y distancias dentro de la línea de extrusión

Una vez se tiene el documento final de entradas y el de salidas, ambos por separado, hay que cambiar el origen de tiempos de alguno de los dos para que sean contrastables y agrupables en una tabla mayor.

El paso previo a calcular los desfases ha de ser el cálculo de distancias entre una maquinaria y la siguiente mediante el esquema de la planta en Autocad, proporcionado por Saargummi. De dicho archivo se obtuvo la tabla que se muestra a continuación, en la que se recogen las distancias.

	Distancias [m]
Extrusoras de 60 y 90	78.9573
Extrusora vertical	82.8624
Magnetrones	75.0988
Horno 3 (HLK)	65.9711
Horno 2 (HLK)	48.5996
Horno 1 (TKK)	8.5

Tabla 2 - Distancias entre PIXARGUS y el origen en metros

Una vez se tienen las distancias, con la velocidad calculada a partir de los datos de PIXARGUS tal y como se explica en el subapartado siguiente, se calculan los tiempos de desfase con la fórmula de desplazamientos básica. Sirvió para esto un código con un bucle que recorriera todos los archivos y calculara la media y la desviación estándar de todas las velocidades en cada intervalo.

	Velocidad [m/s]	Tiempo retraso PIXARGUS [s]
E06525	0.4638	188.5672918
		196.987105
		180.2479531
		160.5676558
		123.112844
		36.65381803
	Velocidad [m/s]	Tiempo retraso CLD [s]
E06525	0,4319	182,8233687
		191,865516
		173,8891224
		152,7541942
		112,5309831
		19,68150676

Tabla 3 - Tiempos de desfase de la línea 1 y velocidad de producción con el mismo código de color que la anterior

Velocidades

Para poder determinar los retrasos entre cada una de las variables, es necesaria la determinación de la velocidad de funcionamiento de la cinta. Dicho dato fue calculado mediante la comparación de las diferencias de metros y tiempos en cada toma de medidas.

Con estas velocidades, se puede sacar una media y una desviación típica. Estos datos serán los que se utilicen en el cálculo de los retrasos de variables.

El análisis de la cadena de producción se centrará únicamente en la **pieza E06525** a petición de

SaarGummi. Se tiene información de 3 meses de datos del SCADA de manera continua, sin embargo, en otros archivos como *CLD_Zona_Fina* presentan saltos considerables de varios días, reduciendo el número de datos con los que trabajar al unir ambos archivos.

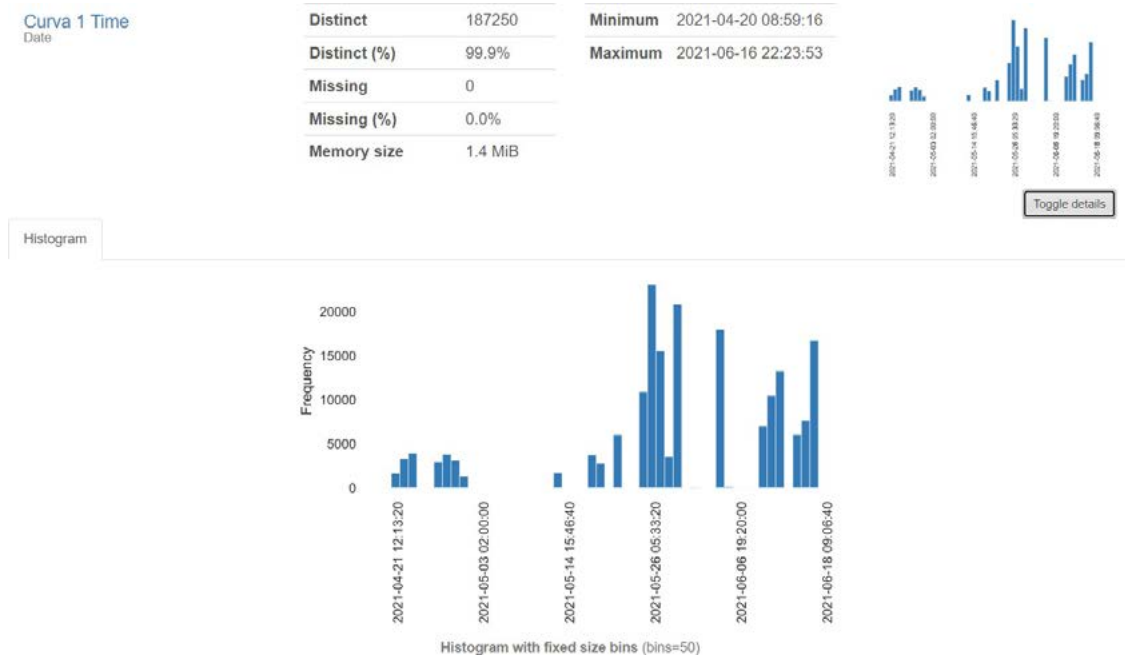


Figura 8 - Salidas Compresión

Las figuras que se representan a continuación muestran los estados de la línea y los intervalos de producción de las piezas de la variable de compresión con los datos obtenidos hasta la fecha. Cada línea vertical representa un mismo día de datos. Las gráficas muestran que durante dicho periodo la línea se encontraba mayoritariamente en producción repartidas entre las piezas E06525 y E06523.

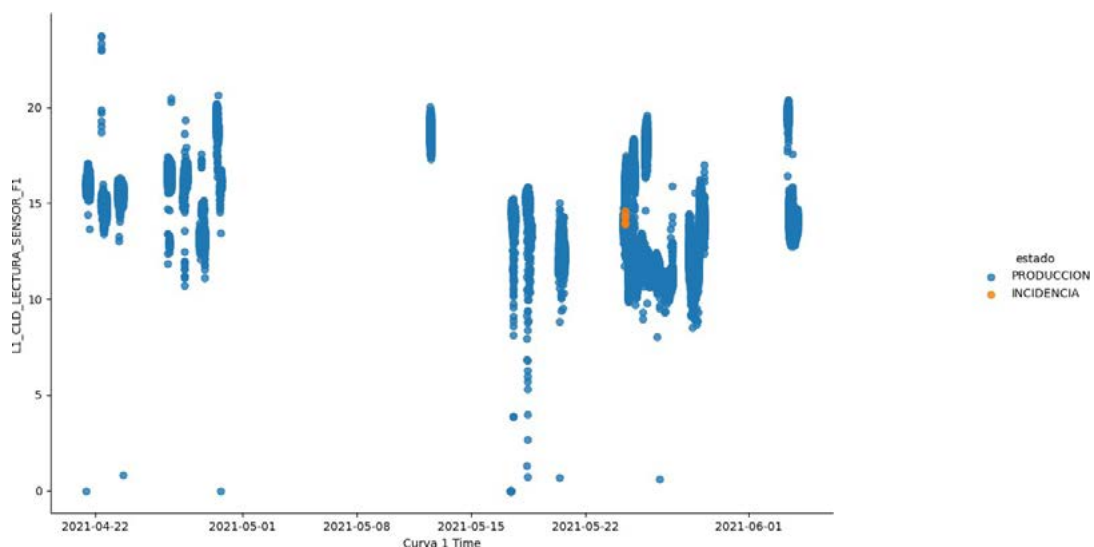


Figura 9 - Estado de la línea.CLD

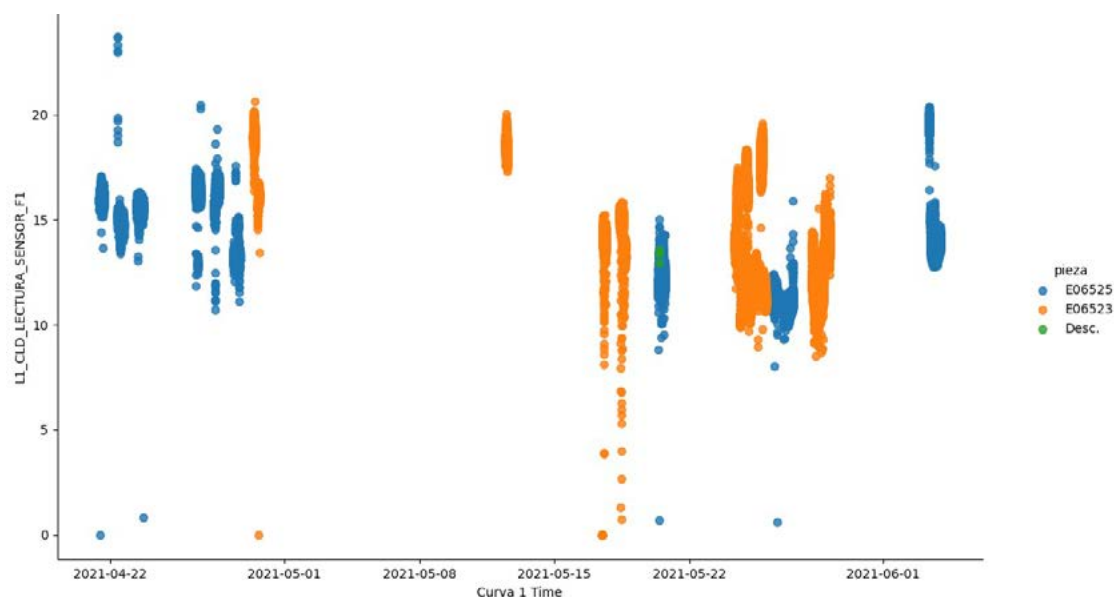


Figura 10 - Clasificación de piezas producidas.CLD

2.7. Semana 7 – Del 12/7 al 16/7:

Resumen: Unión de datos en intervalo por piezas y nuevos datos.

Durante esta semana se cambió a una metodología de remuestreo con un periodo de 1 segundo de las entradas del SCADA con interpolación para las variables. La razón detrás de esta decisión se debe a que, según SaarGummi, debido a su inercia, los datos no varían mucho dentro del intervalo de 10 segundos. Al instaurar un periodo de 1 segundo, se pierden menos datos del CLD y PIXARGUS al unirse al SCADA, mejorando la precisión de los modelos de regresión.

Esta nueva metodología se pudo llevar a cabo, ya que se recibió un nuevo fichero de datos con una estructura más precisa y rangos más adecuados que las anteriores recepciones. Como se acaba de mencionar, los datos no seguían la misma estructura global que los recibidos anteriormente, por lo que ha sido necesario hacer otro preprocesado con su consiguiente tiempo invertido. Por otro lado, aunque se recibieron los datos del SCADA hasta julio, los de PIXARGUS no los acompañaban, alcanzando hasta el 16 de junio. Esto ralentizó el proceso de análisis al no disponerse de las salidas de los nuevos datos.

En la tabla mostrada a continuación, se incluye la información de algunas de las variables recibidas en esta nueva remesa. Analizando la tabla se llega a la conclusión de que los porcentajes de valores que son cero (inferiores al 50%) no son preocupantes ya que de ellos se puede obtener información del proceso. Por otra parte, en la columna de valores frecuentes preocupan los porcentajes tan altos de valores iguales dentro de una misma variable ya que podría deberse a un posible error de medición del sensor.

	Porcentajes de 0	Valores más frecuentes
L1_E60_T-HUS-T_PV	25.9%	-
L1_E60_T-Z1-T_PV	25.9%	-
L1_E60_T-Z2-T_PV	25.9%	-
L1_E60_T-Z3-T_PV	26.6%	-
L1_E60_MASA-T_PV	-	74.1% (3277)
L1_E90_T-Z1-T_PV	28.5%	-
L1_E90_T-Z2-T_PV	25.9%	-
L1_E90_T-Z3-T_PV	25.9%	-
L1_E90_T-Z4-T_PV	25.9%	-
L1_E90_T-Z5-T_PV	25.9%	-
L1_E60_INT_PV	-	56.9% (0.2)
L1_E90_INT_PV	-	57.7% (0.0503)
L1_EXTR_VERT_INT_PV	-	57.7% (0.018)
L1_EXTR_AIRE-1_PV	-	92.3% (-3)
L1_EXTR_AIRE-2_PV	-	93.2% (-3)
L1_EXTR_AIRE-3_PV	-	-
L1_E60_MASA-P_PV	-	-
L1_E90_MASA-P_PV	19.4%	-
L1_E60_VEL_PV	66.5%	-
L1_E90_VEL_PV	64.7%	-
L1_E_VER_VEL_RPM_PV	67.4%	-
L1_UHF1_MW1-POT_SP	-	82% (90)
L1_UHF1_MW2-POT_SP	-	81.7% (90)
L1_UHF1_MW1-REFLEX_PV	68.1%	-
L1_UHF1_MW2-REFLEX_PV	60%	-
L1_UHF_CINTA-V_PV	33.2%	-
L1_HLK1_CINTA-V_PV	38.5%	35.1% (26.6)
L1_TKK_CINTA-V_PV	25.8%	47.3% (25)

Tabla 4 - Información de la nueva remesa de variables de entrada procedentes del SCADA

Se realiza un modelo lineal de clasificación utilizando todas las variables, resultando en:

	Resultados
MSE	0.05
R ²	-0.06

Matriz de Confusión	
Estado 0	Estado 1
63800	42
3547	46

Tabla 5 - Medida de confianza de modelo de clasificación lineal con todas las variables de entrada

A continuación se muestra la distribución de los datos en función de si han sido correctamente predichos.

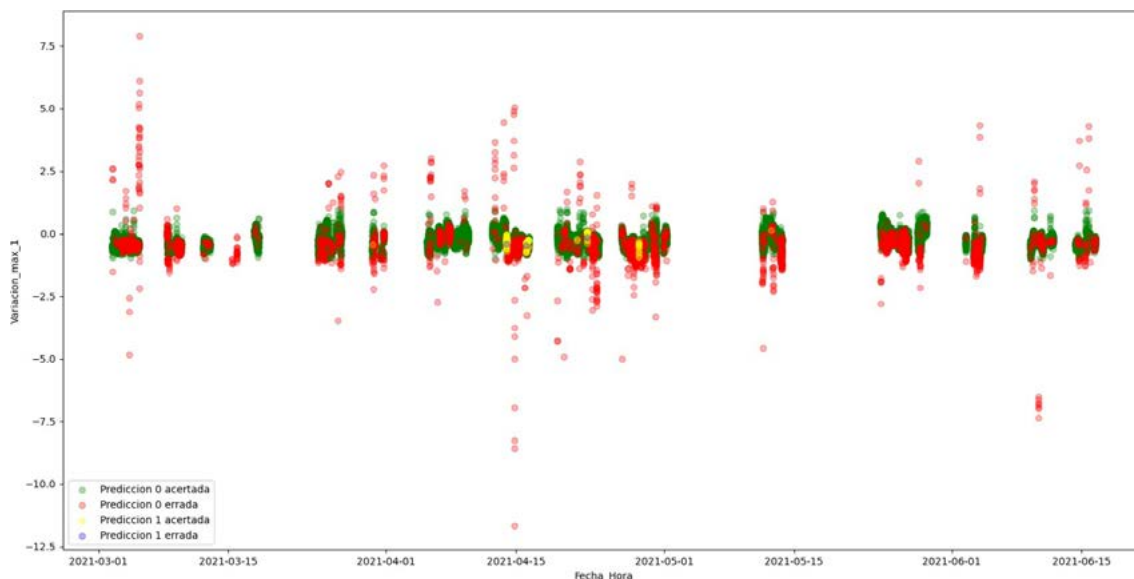


Figura 11 - Clasificación de estado de Variación1

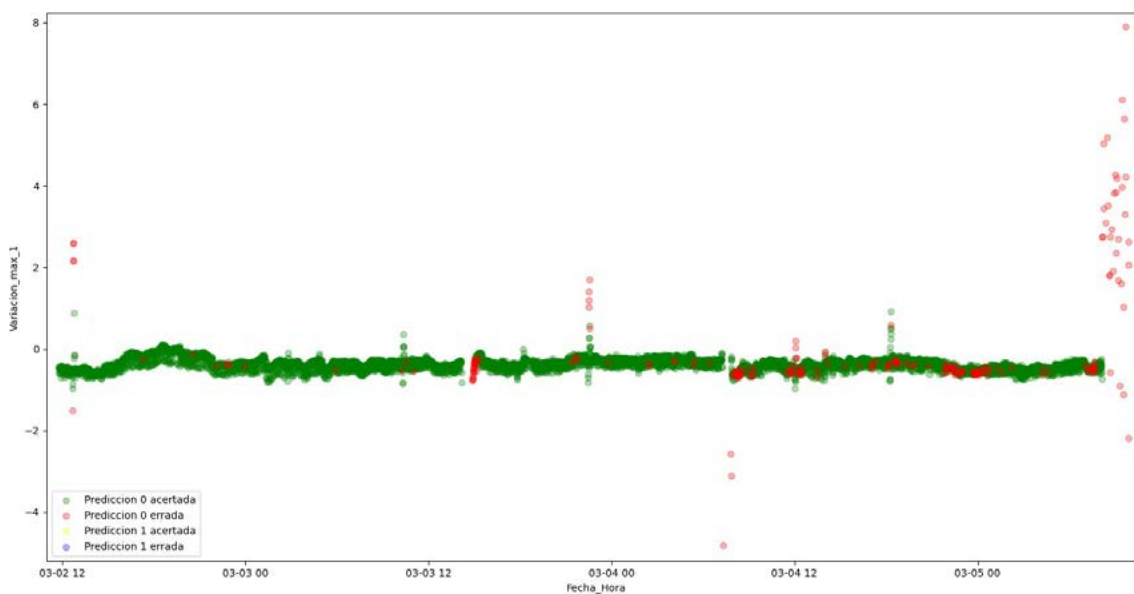


Figura 12 - Zoom al primer set de valores

Los datos de PIXARGUS hasta el 16 de junio de 2021 se combinan en un mismo archivo sin filas vacías y se convierten al tiempo del SCADA (Adelantándolo 5 minutos y 24 segundos) . A continuación, se muestra un diagrama de flujo que representa el trato de los datos iniciales de PIXARGUS hasta alcanzar el archivo final.

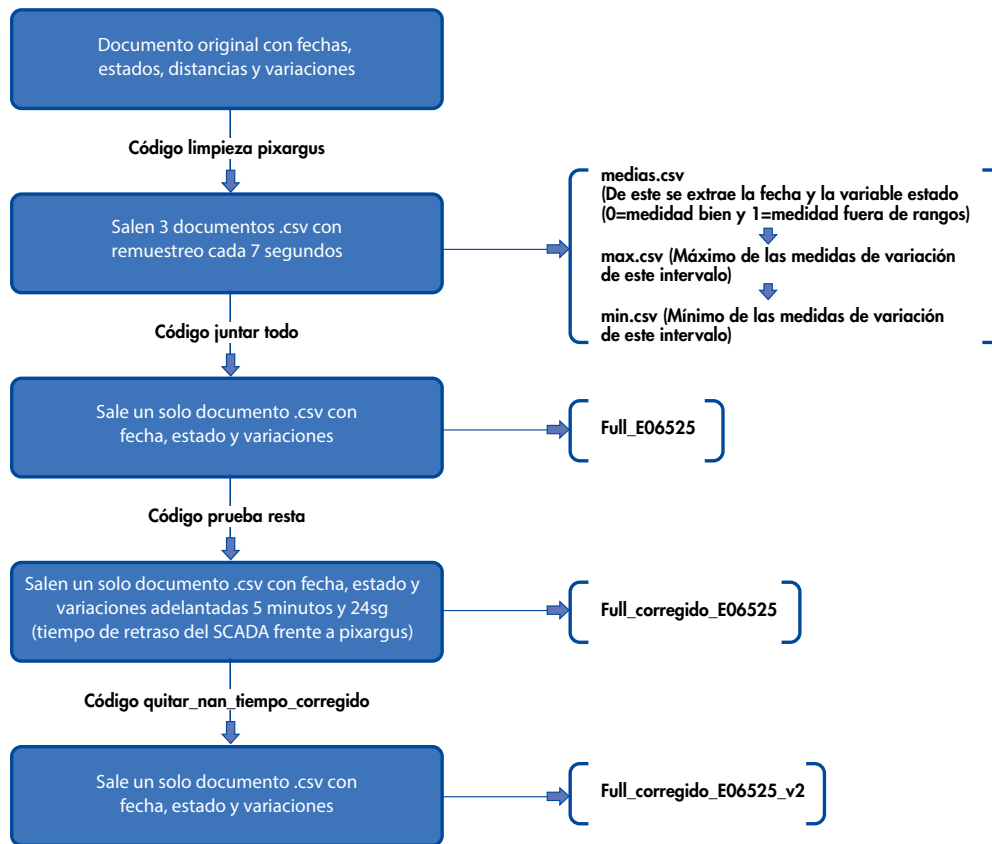


Figura 13 - Diagrama de flujo datos iniciales

2.8. Semana 8 – Del 19/7 al 21/7:

Resumen: Análisis e iteración de los modelos de Regresión Lineal y MLP (Multilayer Perceptron) para las cuatro salidas de interés: variación máxima y mínima de las medidas 1 y 3.

Se realizan los modelos iniciales comparando solo las dos dimensiones que se muestran en la Figura 14.

Nombre	IDMedic	Modo	Ref. [mm]	Tolerancia 1	Tolerancia 2	Intervención 1	Intervenc
Medida 1	tub2	dist X	30.917	1.00	-1.00	0.75	-0.75
Medida 3	tub1	dist Y	17.117	1.00	-1.00	0.75	-0.75

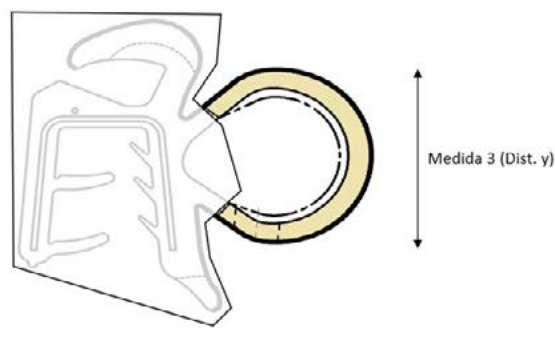


Figura 14 - Variaciones en mm objeto de los modelos

2.8.1. Regresión lineal multivariable

Se parte de los datos mostrados en la Figura 12 y se decide realizar una regresión lineal multivariable de todas las entradas en relación a cada salida.

Esto significa que habrá 4 modelos por cada ejecución del código de regresión según las salidas que se enumeran a continuación.

- Variación_max_1
- Variación_min_1
- Variación_max_3
- Variación_min_3

Se ha decidido excluir la medida de Variación 2 de los modelos ya que esta proporciona información de la geometría de la aleta superior, que no es objeto de estudio de este proyecto según informaciones directas del equipo de trabajo de la fábrica de Saargummi.

De cada uno de los modelos se extraerá la variable con el p-valor y el coeficiente de determinación (R^2) más elevados. De esta forma se podrá evaluar la precisión del modelo así como el porcentaje de la varianza que explica cada modelo.

A continuación, se retirará la variable con el p-valor más elevado y se repetirá la ejecución, tratándose de un proceso iterativo. El final de este proceso vendrá marcado por la obtención de unos p-valores para las variables inferiores al umbral de 0,05 típico definido en todo modelo así como de un valor de R^2 lo más alto posible.

El proceso se llevará a cabo retirando manualmente variables de una en una para evitar pasar por alto posibles relaciones internas entre variables. Estos procesos iterativos se recogerán en las tablas mostradas a continuación.

Variación_max_1	Variable(s) con p-valor más alto	P-VALOR	R^2	Nº de variables restantes
ITERACIÓN 1	L1_60_THUS-T_PV	0.892	0.524	43
ITERACIÓN 2	L1_HLK1_Q1-T_PV	0.698	0.524	42
ITERACIÓN 3	L1_TKK_Q2-T_PV	0.298	0.524	41
ITERACIÓN 4	L1_E60_TZ3-T_PV	0.015	0.524	40

Tabla 6 - Modelo referente a la medida titulada Variación máxima 1

Variación_min_1	Variable(s) con p-valor más alto	P-VALOR	R^2	Nº de variables restantes
ITERACIÓN 1	L1_60_THUS-T_PV	0.796	0.561	44
ITERACIÓN 2	L1_TKK_Q2-T_PV	0.732	0.561	43
ITERACIÓN 3	L1_HLK1_Q1-T_PV	0.499	0.561	42
ITERACIÓN 4	-	-	-	-

Tabla 7 - Modelo referente a la medida titulada Variación mínima 11

Variación_max_3	Variable(s) con p-valor más alto	P-VALOR	R ²	Nº de variables restantes
ITERACIÓN 1	L1_TKK_Q1-T_PV	0.740	0.489	44
ITERACIÓN 2	L1_UHF1_MW2-REFLEX_PV	0.776	0.489	43
ITERACIÓN 3	L1_E60_MASA-T_PV	0.650	0.489	42
ITERACIÓN 4	L1_E90_VEL_PV	0.473	0.489	41

Tabla 8 - Modelo referente a la medida titulada Variación máxima 3

Variación_min_3	Variable(s) con p-valor más alto	P-VALOR	R ²	Nº de variables restantes
ITERACIÓN 1	L1_UHF1_MW1-POT_SP	0.271	0.534	44
ITERACIÓN 2	L1_E90_VEL_PV	0.005	0.534	43
ITERACIÓN 3	-	-	-	-
ITERACIÓN 4	-	-	-	-

Tabla 9 - Modelo referente a la medida titulada Variación mínima 3

¹ En la Variación mínima 1 todos los p-valor valen 0

2.8.2. MLP (Multilayer Perceptron)

Tras ver el desempeño de los modelos de regresión lineal, se intentará mejorar el modelo usando un MLP de 3 capas y 64 neuronas por capa (64, 64, 64), el tipo de activación será "Relu" y el *max_iter* será de 2000. Una vez definido el modelo MLP a utilizar, se computarán 3 modelos diferentes para cada Variación 1 y 3 máxima y mínima. El primer modelo tendrá todos los datos en las fechas disponibles, el segundo modelo únicamente contendrá los datos entre los meses mayo y junio, y el tercer modelo se hará únicamente con los datos de junio. Esto se hace con el objetivo de comprobar si el modelo se ve afectado en gran medida por la calidad de los datos, ya que según se dijo, los datos de los últimos meses son de mayor calidad. Queda pendiente realizar un modelo únicamente con los datos de julio y otro con los datos de junio y julio que no fue posible elaborar debido a que no fueron proporcionadas las salidas del PIXARGUS en esas fechas (aunque sí los datos de entradas y el CLD).

Variación_max_1	MESES	R ²
	Todos	0.343698
	mayo y junio	0.631222
	junio	0.660675

Tabla 10 - R2 de modelo MLP para máximo valor de Variación 1 en función de meses seleccionados

Variación_min_1	MESES	R ²
	Todos	0.405346
	mayo y junio	0.573292
	junio	0.585344

Tabla 11 - R2 de modelo MLP para mínimo valor de Variación 1 en función de meses seleccionados

Variación_max_3	MESES	R ²
	Todos	0.276353
	mayo y junio	0.126138
	junio	0.185588

Tabla 12 - R2 de modelo MLP para máximo valor de Variación 3 en función de meses seleccionados

Variación_min_3	MESES	R ²
	Todos	0.185646
	mayo y junio	0.105651
	junio	0.138409

Tabla 13 - R2 de modelo MLP para mínimo valor de Variación 3 en función de meses seleccionados

3. CONCLUSIONES

Para la consolidación de las entradas y salidas el principal problema surge al obtener las medidas en diferentes periodos muestrales, siendo el mayor periodo de muestreo el del SCADA con un t_s de 10s. Se toma la decisión de muestreo por pieza referenciando los datos a los tiempos de la variable de compresión CLD. Pese a que todas las muestras se toman en los mismos instantes estas afectan en un tiempo distinto debido a la distancia a la que se encuentran cada uno de los sensores con respecto al sensor del PIXARGUS. Por ello, se escalan dichos instantes atendiendo a la velocidad de la línea para la producción de la pieza de estudio, en este caso E06525, con una velocidad de 0.46 m/s. Finalmente se obtiene un *dataframe* por piezas producidas en vez de por tiempos donde para cada instante se encuentran las medidas que afectan a la pieza que pasa por la máquina del PIXARGUS en ese momento concreto. Posteriormente se utilizará este set de datos para realizar el análisis empleando técnicas de regresión de *machine learning* como son la regresión lineal y el *perceptron* multicapa y una técnica de clasificación lineal para el estado de la línea.

Viendo los datos de la regresión lineal, se puede ver que para la dimensión 1 se descartan las mismas variables: L1_60_T-HUS-T_PV, L1_HLK1_Q1-T_PV y L1_TKK_Q2-T_PV. Por ello se puede afirmar, que no influyen en la variación de esta misma. En la dimensión 3 no ocurre lo mismo. No se descartan las mismas variables para el caso del mínimo y del máximo. En el caso del mínimo, se pueden rechazar las variables L1_UHF1_MW1-POT_SP y L1_E90_VEL_PV, para así obtener p-valores inferiores a 0,05. No ocurre esto en el caso del máximo, donde tras eliminar 4 variables, se siguen obteniendo grandes p-valores. La característica que tienen en común todos los modelos es que, a pesar de quitar las variables, el R² se mantiene inmutable a través de todas las iteraciones.

Tras analizar MLP se concluye que los datos de junio en Variación 1 son los más determinantes, ya que construyen el mejor modelo. Los resultados obtenidos dejan un gran margen de mejora para el modelo que se podrían mejorar con datos de mayor calidad. Se espera que con los datos de julio se logre estos resultados, como se ha comentado anteriormente, puesto que al usar los datos de junio que se indicaron como los datos disponibles de mayor calidad, el modelo mejora sustancialmente.

Por el contrario, el mejor modelo para la Variación 3 se logra con todos los datos. Sin embargo, los modelos obtenidos con el MLP para Variación 3 tienen un R² tan bajo que no son útiles para obtener unos resultados concluyentes. Es por ello que queda pendiente realizar un nuevo modelo con los datos de julio, principalmente para Variación 3, pero también para Variación 1.

4. POSIBLES PROYECTOS FUTUROS

Se propone continuar con el análisis de datos reduciendo los datos a junio y julio donde el proceso de la pieza se ha estabilizado. También se eliminarán los sets de datos donde los sensores estaban en periodo de prueba que introducen ruido en el modelo.

Se pueden introducir nuevos métodos de regresión introduciendo divisiones en el *dataset* en función de ciertas condiciones, permitiendo una aproximación más precisa.

Una vez realizado el análisis de geometría de la pieza, se puede realizar un modelo de aproximación para otras variables de salida como puede ser el CLD o la distancia de las aletas. El realizar este cálculo también puede mostrar ciertas relaciones entre las variables de salida que en un principio podrían pasar desapercibidas.

Por último sabiendo que las variables de estudio presentan inercias considerables como en el caso de temperaturas de hornos se recomienda utilizar un tiempo de muestreo concorde a la pieza tal y como hace la salida de CLD ($t_s \geq 7s$) que favorecería la precisión del estudio evitando el error de *resampling*.



Además, algunos de los alumnos participantes en el estudio han seguido colaborando con proyectos de investigación relacionados con la Universidad. Actualmente hay 13 becas vigentes.



2. ESTADO ACTUAL DE LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Tras la edición de verano, algunos de los retos han continuado desarrollándose durante el curso con alumnos colaboradores que dedican 10 horas semanales a su trabajo en el CIC LAB. Además, se ha arrancado una línea de trabajo en temas de reconocimiento facial con Prosegur.

Destreza Robótica

Se sigue trabajando en la optimización del diseño mecánico del mecanismo de agarre, en una investigación en la que se intenta determinar qué combinación de silicona o látex y arena ofrece la mayor robustez de cara a poder implementar agarres de piezas pequeñas en entornos caóticos.

Por otro lado, se está avanzando en la generación de experiencia sintética en la parte de la visión artificial, con resultados que empiezan a cumplir las exigencias del proyecto en cuanto a robustez y tiempo de inferencia.

Finalmente, hay una tercera línea en la que se ha conseguido procedimentar y automatizar en gran medida el “levantamiento” de modelos virtuales de brazos robóticos en el entorno virtual Mujoco.

Analítica Saargummi

Se ha seguido trabajando en la curación de los datos, con el objetivo de comenzar a aplicar modelos de analítica.

3. DIVULGACIÓN - La noche europea de los investigadores



24 DE SEPTIEMBRE 2021

FORMATO
ONLINE

Uno de los objetivos de la cátedra es visibilizar y dar difusión a las numerosas investigaciones que se realizan a lo largo del año junto al IIT (Instituto de Investigación Tecnológica), de ICAI.

Uno de los actos públicos que se realizó, fue la participación en la **12ª edición de la Noche Europea de los Investigadores de Madrid**, en la que, junto a otras cátedras y departamentos de la Universidad Pontificia Comillas, se prepararon una serie de charlas y actividades guiadas en ICAI.

La Noche Europea de los Investigadores, celebrada el pasado 24 de septiembre simultáneamente por 350 ciudades europeas, fue coordinada en Madrid por la Fundación Madri+d.

La temática elegida por nuestra universidad fue: "Hoja de Ruta hacia una Europa Verde", dedicado a la transición hacia una Europa más sostenible, consistió en una serie de charlas, de la mano de expertos, para adentrarnos en el mundo de las energías renovables, la industria sostenible con emisiones 0, la mejora de la eficiencia energética, y la movilidad verde que promueva el uso de medios de transporte más limpios y sostenibles.

Comillas ICAI presenta la actividad "Hoja de Ruta hacia una Europa Verde" en la Duodécima Edición de la Noche de los Investigadores



El objetivo fue concienciar a los ciudadanos, ayudándoles a mejorar su calidad de vida a través de pequeñas acciones individuales, y no solo desde las instituciones. La necesidad de luchar contra el cambio climático, sustituyendo las actuales energías fósiles por energías renovables, obliga a cambiar las tecnologías que utilizamos para producir energía, así como la forma en la que la utilizamos en nuestras viviendas o industrias, o cuando nos desplazamos. El conocer mejor cómo se va a producir esta transformación nos ayudará a saber si debemos cambiar nuestros hábitos.





Tras la conferencia inaugural sobre “El futuro de la energía”, realizada por [Pedro Linares](#), investigador y profesor (revisar cargo) los participantes pudieron asistir a demostraciones en directo en los laboratorios de Comillas ICAI.

FORMACIÓN



Para la Cátedra de Industria Conectada, la formación es fundamental para contribuir a **tender puentes entre la universidad y la vida profesional de los alumnos**.

Nuestra ambición es apoyar la formación continua a lo largo de la vida profesional, cada vez más necesaria debido al entorno de cambios, que cada año se producen a una mayor velocidad.

Hemos realizado el lanzamiento de la **Red Alumni CIC** (#CIC_Alumni), que sirve como punto de encuentro entre todos los profesionales que se han formado en ICAI en ámbitos de Industria Conectada. Esta Red Alumni CIC, nace con el objetivo de servir como plataforma de puesta en contacto de talento de distintas generaciones, de forma que sirva como impulso de transferencia de *best practices*, foro de debate y acercamiento entre profesionales.

Esta red además supone una fuente de información para conocer el interés de los profesionales en los temas a abordar en los próximos meses, para seguir acercando intereses y generar sinergias entre universidad y empresa.

A pesar de las restricciones del Covid-19, todos los cursos y programas formativos se han podido realizar con la misma calidad de siempre y se han podido realizar los proyectos vinculados al laboratorio de investigación e innovación (CIC LAB) de forma presencial.

▶ DOBLE MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL E INDUSTRIA CONECTADA (MII-MIC)



Nuestros alumnos del máster habilitante para la profesión regulada de Ingeniero Industrial, pueden complementar simultáneamente sus estudios con otro máster complementario, que acerca a los alumnos a descubrir las posibilidades de las nuevas tecnologías y prepararles para puestos de reciente necesidad, que han surgido como resultado de los avances en la tecnología e innovación industrial.

Este máster, **Máster en Industria Conectada (MIC)** está dirigido a alumnos del **Máster en Ingeniería Industrial (MII)**, de forma que se desarrollen las habilidades y capacidades que requiere el mercado laboral. Ambos se realizan durante 2 años académicos, lo que supone un aumento de la carga lectiva para los alumnos, que necesita contar con alta capacidad de organización, estudio y trabajo.

La combinación de rigor académico y prácticas en proyectos reales, permite al alumno responder con solvencia y criterio a los nuevos retos de la industria (machine learning, big data, IoT, cloud computing, digital manufacturing, cybersecurity, etc.). Por otro lado, los estudiantes que obtengan esta doble titulación, además de poder colegiarse en el Colegio Nacional de Ingenieros del ICAI y ejercer la profesión regulada por ley de Ingeniero Industrial, serán líderes naturales del proceso de transformación digital de la industria. Además, este título también proporciona acceso a los programas de Doctorado.

Esta es la 5ª Edición del Doble Máster Universitario en Ingeniería Industrial e Industria Conectada (MII-MIC), que cuenta ya con 69 egresados





El acto de entrega de premio al mejor TFG se realizó el martes 20 de abril, en la **XIX Edición de Entrega de Premios PFC Comillas ICAI**, en el que se contó con la asistencia de D. Jaime de Rábago Marín, Presidente de la Asociación/Colegio Nacional de Ingenieros del ICAI como invitado de honor.

El Premio al mejor TFG relacionado con la Industria Conectada fue para **Ignacio Ortiz de Zúñiga Mingot**, alumno del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. El trabajo consistió en la *"Optimización del sistema de visión artificial de un robot industrial para una aplicación de pick and place."*

El motivo de desarrollar este TFG se debe a que durante la última década se ha producido revolución industrial, conocida como industria 4.0, gracias a los numerosos avances en el sector de la robótica. Este cambio se ha visto producido gracias a que con el desarrollo de los robots se ha conseguido dotar a estos de capacidades para completar tareas previamente imposibles para el ser humano y con un rendimiento y rapidez superior. Es por ello que se decidió implantar dichos sistemas en un robot industrial de Comillas ICAI con el fin de que este sea capaz de recolectar piezas de LEGO dispuestas de forma aleatoria sobre una mesa de trabajo. En este proyecto se parte de este sistema basado en la segmentación clásica y se mejora y actualiza con el desarrollo de sistemas basados en redes neuronales y aprendizaje profundo. Se han desarrollado múltiples redes de diferentes tamaños basadas en R-CNN, Faster R-CNN y YOLO y se comparan entre si y frente al sistema de segmentación clásico. La información de este trabajo se encuentra disponible en el [Repositorio Comillas](#).



Las conclusiones finales del proyecto extraídas a partir de los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas:

Durante la elaboración de este proyecto se ha perfeccionado un sistema compuesto por una cámara de color y profundidad, un brazo robótico y un ordenador con MATLAB. El sistema ha sido diseñado para identificar, detectar y recoger piezas de LEGO colocadas sobre la mesa de trabajo de un brazo IRB120.

El objetivo final de este proyecto es el perfeccionamiento del sistema previamente desarrollado por Ana Berjón Valles [Ber] mejorando la capacidad de reconocimiento y la conexión con el brazo robótico. Para ello se plantearon múltiples objetivos para cumplir a lo largo del desarrollo del proyecto, estos se pueden ver en la Sección 1.2. Todos los objetivos planteados durante el desarrollo del proyecto se han podido llevar a cabo y se ha mejorado en su totalidad el sistema. A continuación, se va desarrollar más en detalle los objetivos cumplidos.

Uno de los principales objetivos consiste en subsidiar los problemas del sistema antiguo ante cambios de iluminación. Como el sistema clásico se basa puramente en filtros de color y detección de borde, se ve notablemente afectado por cambios en la iluminación. Falta comprobar el funcionamiento de los sistemas desarrollados durante este proyecto en el laboratorio, pero con los resultados obtenidos durante la evaluación de estos se considera que este problema ya ha sido solventado y se ha mitigado el problema de falsos positivos o piezas no detectadas.

Dados los resultados se recomienda para futuros proyectos la implantación del sistema basado en YOLO con LEGO16 y el modelo de regresión basado en LEGONet. También es recomendable plantearse el uso de un sistema combinado con varias redes neuronales. Otra gran limitación del sistema anterior era los fallos debidos al análisis de profundidad. Debido al tipo de tecnología empleada para detectar la profundidad, esta se ve bastante afectada por los reflejos de las luces del laboratorio sobre

las piezas de LEGO. Este problema ha podido ser solventado mediante la modificación del sistema de análisis de profundidad. Se ha introducido la posibilidad de calibrar rápidamente la cámara para poder tomar referencias de alturas.

Además, se ha repartido el área de trabajo en secciones y se ha calculado la profundidad de dichas secciones con la mediana y teniendo en cuenta el entorno a la sección. De esta forma se mitiga el efecto de los reflejos. Generalización de los algoritmos empleados. Durante el desarrollo del proyecto se ha tenido en cuenta este objetivo y es por ello que todo el procesado de la imagen no depende de la cámara, del brazo ni del laboratorio. La cámara ha sido tratada como una clase y es por ello que con solo modificar esta se puede usar el sistema con cualquier cámara. Además, el proceso de segmentación ya no depende tanto del calibrado de color de la cámara empleada. Para el procesado de la imagen de profundidad se ha creado un sistema fácil de calibrar y reutilizar para diferentes circunstancias. Se puede emplear para cualquier tipo de pieza y el único parámetro que se debe de cambiar es la altura de la pieza medida para determinar el número de piezas apiladas.



Todo proceso que involucre al brazo robótico es llevado a cabo en forma de funciones, por ello solo modificando estas se puede implantar el sistema en cualquier otro brazo robótico del laboratorio. Analizando el proyecto de forma global, este nuevo sistema supone un gran avance frente al anterior sistema y una vez sea implantado supondrá una gran mejora en la tecnología y capacidades de los robots industriales de Comillas ICAI.

Testimonio de un profesor del Master en Industria Conectada:

Jaime Boal Martín-Larrauri, Coordinador del Máster en Industria Conectada

Perfil de LinkedIn: <https://es.linkedin.com/in/jboalm>

- ¿Por qué es importante tener formación sobre Industria Conectada / Industria 4.0?

La sociedad en general, y la industria en particular, está ante una encrucijada. Existe un amplio consenso en que debemos transformar nuestra economía para que sea más sostenible y centrada en las personas, pero no hay suficientes profesionales cualificados que conozcan las tecnologías habilitadoras y sepan cómo se pueden aplicar para resolver problemas concretos.

- ¿Qué ventaja tendrán los ingenieros que se quieran especializar en esta área?

Las competencias y conocimientos que van adquirir les van a preparar para trabajar en prácticamente cualquier empresa, dado que todos los sectores necesitan acometer una transformación digital que mejore su competitividad y su capacidad de adaptación. Se trata de perfiles muy demandados, con una tasa de empleabilidad próxima al 100% y con unas muy buenas perspectivas de desarrollo profesional.

- ¿Qué dirías que hace diferente este programa?

No nos limitamos a impartir las tecnologías detrás de la transformación digital como materias aisladas, sino que las acompañamos de asignaturas que proporcionan una visión general de la Industria 4.0 y de cómo las distintas tecnologías se están combinando para resolver problemas reales. Esto es posible gracias a un claustro compuesto por profesores de la Escuela, profesionales en ejercicio y a la colaboración de ponentes invitados que presentan casos de éxito y lecciones aprendidas durante el desarrollo de proyectos de Industria 4.0. La formación de los alumnos finaliza con prácticas curriculares en empresas de primer nivel donde pueden aplicar los conocimientos adquiridos en un contexto frecuentemente internacional.

- ¿Qué es lo que más destacarías sobre el enfoque de las clases y del trabajo realizado durante el curso?

Todas las asignaturas tienen un enfoque eminentemente práctico con metodologías adaptadas a las características de las diferentes materias. Se promueve el aprendizaje basado en proyectos o casos, de modo que los alumnos tengan que trabajar en equipo para resolver problemas con especificaciones solo parcialmente definidas. De esta forma se fomenta la creatividad y se consigue una comprensión práctica de la tecnología. Esto prepara a los alumnos para proponer soluciones imaginativas a los retos que plantea la digitalización de la industria.

- ¿Por qué animarías a los alumnos a matricularse?

En el Máster en Industria Conectada van a encontrar una formación muy completa que les va a permitir desarrollarse como profesionales y como personas, un ambiente de compañerismo inigualable y profesores muy accesibles, siempre dispuestos a apoyarlos en sus proyectos personales y a escucharlos para mejorar el programa con sus sugerencias.

- ¿Hay algo más que destacarías del máster y que quieras comentar?

Es un privilegio contar con el apoyo de la Cátedra de Industria Conectada y sus empresas patrono, que promueven iniciativas como el CIC LAB para que los alumnos tengan un contacto temprano con proyectos con componentes de investigación e innovación importantes tanto durante el curso como en verano.

Testimonio de una alumna del Máster en Industria Conectada:

Lucía Güitta, Investigadora en formación en el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)

Perfil LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/lucía-güitta-lopez-081962122/>

“ La realización del Máster en Industria Conectada junto con el Máster en Ingeniería Industrial me ha permitido adquirir una visión mucho más amplia y concreta acerca de los problemas y retos que presenta la Industria ante este cambio de paradigma que nos lleva hacia una realidad bañada por la digitalización. Sin perder la base teórica necesaria, las asignaturas del Máster de Industria Conectada se caracterizan por su carácter práctico, orientándonos desde un primer momento al análisis y resolución de casos concretos y similares a los que afrontaremos cuando salgamos de la universidad.

”

PROGRAMA AVANZADO EN INDUSTRIA CONECTADA. LIDERAZGO Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL



El Programa Avanzado en Industria Conectada. Liderazgo y Transformación Digital ha sido diseñado para cubrir las habilidades y conocimientos que preparan para lo que el World Economic Forum, entre otros, visiona como [las profesiones más demandadas del futuro en los próximos 20 años](#), así como el manejo de las tecnologías que están cambiando el marco en el que se desenvuelven las empresas. Del informe del “Futuro del Trabajo” se desprende la conclusión de que la barrera más importante que tienen las empresas en la actualidad es precisamente ese GAP entre las necesidades del negocio y las competencias del mercado laboral, puesto que no encuentran el talento específico que necesitan para desarrollar alguno de sus retos más importantes.

FIGURE 26 Perceived barriers to the adoption of new technologies

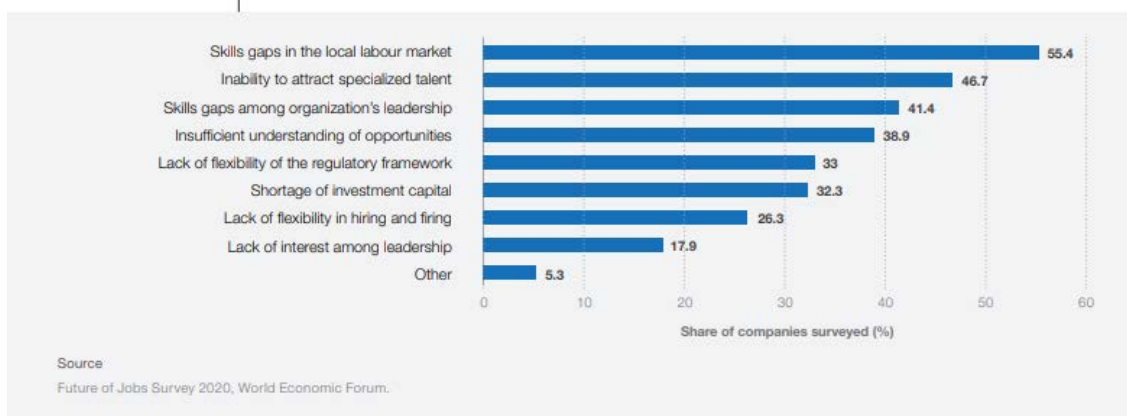
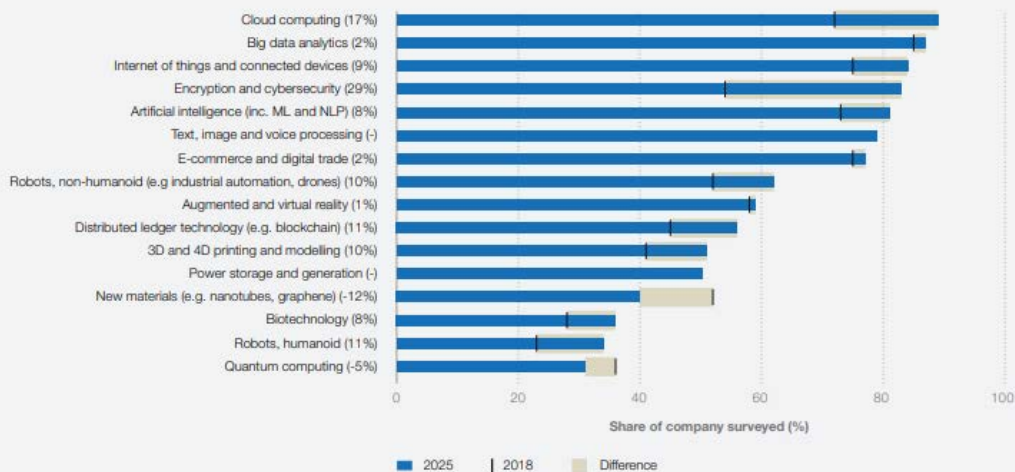


FIGURE 18

Technologies likely to be adopted by 2025 (by share of companies surveyed)



Source

Future of Jobs Survey 2020, World Economic Forum.

FIGURE 22

Top 20 job roles in increasing and decreasing demand across industries

Increasing demand

1	Data Analysts and Scientists
2	AI and Machine Learning Specialists
3	Big Data Specialists
4	Digital Marketing and Strategy Specialists
5	Process Automation Specialists
6	Business Development Professionals
7	Digital Transformation Specialists
8	Information Security Analysts
9	Software and Applications Developers
10	Internet of Things Specialists
11	Project Managers
12	Business Services and Administration Managers
13	Database and Network Professionals
14	Robotics Engineers
15	Strategic Advisors
16	Management and Organization Analysts
17	FinTech Engineers
18	Mechanics and Machinery Repairers
19	Organizational Development Specialists
20	Risk Management Specialists

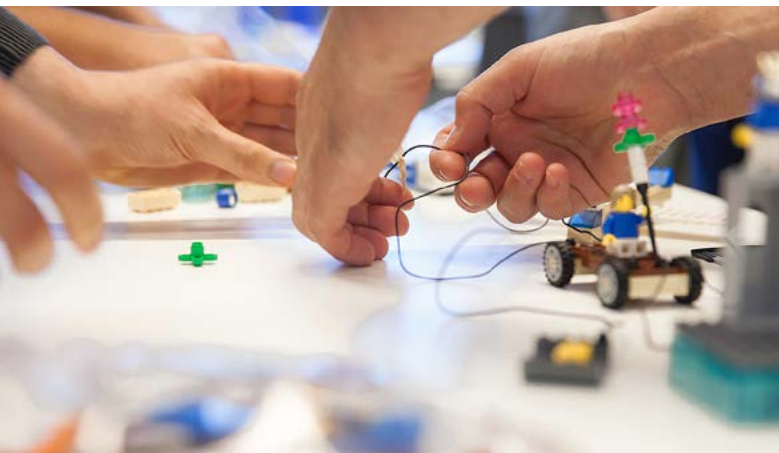
Decreasing demand

1	Data Entry Clerks
2	Administrative and Executive Secretaries
3	Accounting, Bookkeeping and Payroll Clerks
4	Accountants and Auditors
5	Assembly and Factory Workers
6	Business Services and Administration Managers
7	Client Information and Customer Service Workers
8	General and Operations Managers
9	Mechanics and Machinery Repairers
10	Material-Recording and Stock-Keeping Clerks
11	Financial Analysts
12	Postal Service Clerks
13	Sales Rep., Wholesale and Manuf., Tech. and Sci. Products
14	Relationship Managers
15	Bank Tellers and Related Clerks
16	Door-To-Door Sales, News and Street Vendors
17	Electronics and Telecoms Installers and Repairers
18	Human Resources Specialists
19	Training and Development Specialists
20	Construction Laborers

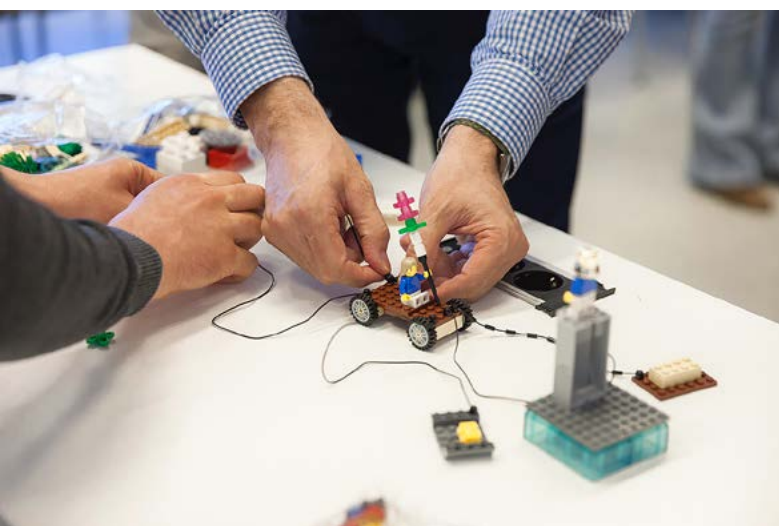
Source

Future of Jobs Survey 2020, World Economic Forum.

Fuente: The Future of Jobs, WEF

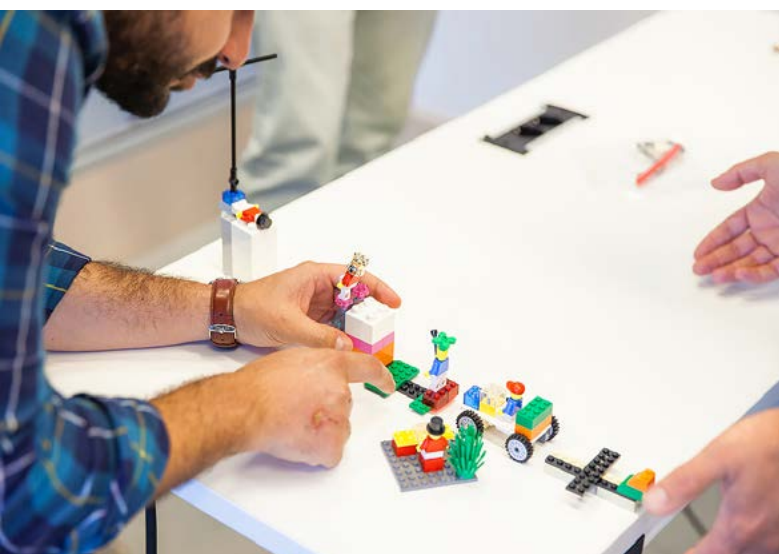


En el mundo actual se abre un nuevo campo a explorar y son necesarios nuevos conocimientos y formación para afrontar con garantías de éxito la transformación digital: un cambio que implica nuevas formas de trabajo con plataformas digitales y colaborativas, con nuevas estrategias de *engagement* y nuevas fórmulas de atracción y gestión del talento, una nueva mentalidad hacia el trabajo. Una nueva mentalidad que repercute en la forma de hacer negocios, no solo en los procesos.



A través de este programa avanzado, la Cátedra de Industria Conectada, perteneciente a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (Comillas ICAI), forma a los líderes y profesionales en las más vanguardistas aptitudes de liderazgo y transformación digital.

La ceremonia de entrega de diplomas se realizó en modalidad mixta, presencial y virtual, el 24 de abril de 2021, siguiendo las medidas de seguridad asociadas al protocolo COVID-19. En la ceremonia estuvieron presentes los codirectores de la cátedra, [Mariano Ventosa Rodríguez](#), [Bernardo Villazán Gil](#), [Antonio Muñoz San Roque](#), Director de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) y [Pablo García González](#), Director de los programas de Postgrado y Doctorado de ICAI.



Se trasladó el cambio de paradigma en el aprendizaje profesional, en el que anteriormente la formación universitaria estaba ligada a un ciclo vital, en el que se entendía que el aprendizaje se realizaba en el puesto de trabajo. Pero hoy en día debido al vigoroso cambio que se está produciendo en todos los modelos de negocio, mercados y procesos productivos y organizativos, hay una clara necesidad de un aprendizaje constante. Profesionales y Universidad tienen una relación más estrecha a lo largo de toda la trayectoria laboral.

La entrega de diplomas se realizó detallando en qué dimensiones había destacado cada uno de los alumnos, ya que debido al reducido número de alumnos y la gran interacción mantenida durante todo el curso entre alumnos y profesores, ha permitido conocer en profundidad su personalidad y destrezas individuales. El espíritu de crítica, curiosidad y compañerismo del alumnado de esta cuarta edición ha fomentado además la ampliación de conocimientos y la mejora de la estructura de este programa para futuras ediciones.



El premio al mejor proyecto de transformación digital se otorgó al Equipo A, formado por:

- Eduardo Alba González
- Gonzalo Civeira Lea
- Estefanía Espinar García-Dorado
- Javier Navarro Leach
- Miguel Romero Suarez

El jurado destacó la excelencia del grupo, reconociendo que se habían superado las expectativas depositadas por el profesorado. Ahora formarán parte del **#CIC_Alumni**, una comunidad que mantiene un contacto directo entre diferentes profesionales de la industria, que han establecido vínculos a través de diversos encuentros periódicos, organizados entre ellos para seguir manteniendo el contacto y aprendiendo unos de otros.

Testimonio de un profesor del Programa Avanzado en Industria Conectada. Liderazgo y Transformación Digital:

Mariano Jiménez Calzado, Responsable Laboratorios de Diseño y Fabricación, Universidad Pontificia Comillas

Perfil LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/mariano-jim%C3%A9nez-calzado-84a39691/>

- ¿Por qué es importante tener formación sobre Industria Conectada / Industria 4.0?

Los ingenieros deben conocer con detalle los nuevos factores socioeconómicos y las tecnologías de desarrollo de la industria que permita conseguir el uso generalizado de la IoT en los procesos industriales, la integración de sistemas ciberfísicos (Cyber Physical Systems, CPS), la construcción de sistemas de producción ciberfísicos (Cyber Physical Production Systems, CPPS) y la puesta en marcha de fábricas inteligentes.

- ¿Qué ventaja tendrán los ingenieros que se quieran especializar en esta área?

El talento, el conocimiento y la capacidad de los ingenieros son imprescindibles en la innovación de las fábricas. Aquellos ingenieros que decidan especializarse en esta área serán claves en el desarrollo industrial durante los próximos años.

- ¿Por qué animarías a los alumnos a matricularse?

Si como futuro ingeniero desea estar a la vanguardia de la transformación digital desde el momento en el que pueda incorporarse al mercado laboral, no tiene otra opción que formarse durante su período de máster, y este programa es un complemento idóneo.

- ¿Qué dirías que hace diferente este programa?

El Programa Avanzado en IC está concebido con un enfoque diferente a otros programas. Los casos prácticos y los recursos empleados son del más alto nivel, consiguiendo un contacto y un conocimiento directo y real en el campo del liderazgo y la transformación digital.

- ¿Qué es lo que más destacarías sobre el enfoque de las clases y del trabajo realizado durante el curso?

La metodología docente empleada, donde la combinación de conocimientos teóricos y su aplicación práctica en casos y recursos industriales reales, generan un proceso de aprendizaje rápido y efectivo.

- ¿Hay algo más que destacarías del máster y que quieras comentar?

El desafío global en el que nos encontramos exige que las experiencias digitales que se están poniendo en marcha sean reales, satisfactorias y generen eficiencia, valor comercial y estabilidad a las empresas. Ese reto, está en manos de los ingenieros, los mayores portadores de valor en el ámbito de la industria conectada.

**Algunos testimonios de alumnos del Programa Avanzado en Industria Conectada.
Liderazgo y Transformación Digital:**

Laura Barquín Herrero, Responsable de Procesos Industriales IT, Grupo Antolin

Perfil LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/laura-barqu%C3%ADn-herrero/>

- ¿Cómo te ha ayudado el programa a afrontar tus retos profesionales?

Haber realizado el Programa Avanzado me ha ayudado a desempeñar mucho mejor, y con mayor conocimiento de las tecnologías disponibles, mi trabajo en el día a día. Además, el networking establecido, y las actividades que llevamos a cabo como Alumni, nos ha permitido conocer empresas, soluciones y proyectos llevados a cabo en otras compañías que se pueden incorporar perfectamente en nuestra cadena de valor, mejorando así el rendimiento de nuestra empresa.

- ¿Qué dirías que hace diferente este programa?

La presencia de grandes profesionales que están en su día a día lidiando con la tecnología, no sólo en las clases, sino en los almuerzos con CEO que se hacen antes de cada clase. No se trata de clases teóricas impartidas por profesores que se centran en el ámbito teórico, sino por profesionales que conocen bien de lo que se habla.

- ¿Por qué animarías a otros profesionales a matricularse?

No sólo por el gran aprendizaje que se consigue, sino también por el networking que se establece tanto durante el programa como a posteriori con Alumni.

- ¿Qué es lo que más destacarías del enfoque de las clases y del trabajo realizado durante el curso?

La practicidad de cada una de las clases y el trabajo que tenemos que llevar a cabo los alumnos, tomando decisiones e implementando la tecnología que vamos viendo a lo largo de las clases.

- ¿Hay algo más que llamó tu atención y que quieras comentar?

La disponibilidad para visitar empresas a lo largo del curso y ver los proyectos de primera mano.

Jaime Luis Sánchez Mata, Supply Chain Coordinator

Perfil LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/jaime-luis-s%C3%A1nchez-mata-7a13a0112/>

- ¿Cómo te ha ayudado el programa a afrontar tus retos profesionales?

De cara a afrontar los nuevos retos que plantea la Industria me parece que el programa es clave para tener una visión global de lo que se está haciendo en el sector y considero que el programa te da también las herramientas y la red de contactos para pasar a la acción.

- ¿Qué dirías que hace diferente este programa?

La calidad de los ponentes, tanto CEOs invitados como el profesorado. Me parece que todo el ecosistema es de un nivel muy alto.

- ¿Por qué animarías a otros profesionales a matricularse?

Animaría a aquellos que quieran obtener una visión global del estado del arte del sector y de las tecnologías habilitadoras existentes actualmente.

Puedes ver aquí el testimonio de alguno de los alumnos del Programa Avanzado en Industria Conectada:



SCAN ME

▶ MÁSTER EN TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN LA INDUSTRIA (MTDi)



El pasado 23 de septiembre de 2021 se presentó el nuevo Máster en Transformación Digital en la Industria (MTDi), que dará lugar el comienzo de su primera edición en enero de 2022.

La presentación la realizaron Bernardo Villazán Gil y Jose Antonio Rodríguez Mondejar, Director y Coordinador de este máster, respectivamente.

La bienvenida se realizó por Pablo García González, Director de estudios de postgrado y doctorado de la ETSI – ICAI, y seguidamente se celebró una mesa redonda en la

El acto contó también con la participación en remoto de antiguos alumnos profesionales, que trasladaron su experiencia de formación en estudios de postgrado en ICAI.

El **Máster en Transformación Digital en la Industria** (MTDi) proporciona una visión completa y profunda del paradigma de la industria 4.0, abordándose aspectos técnicos, de negocio, financieros, legales y éticos, como se indica a continuación:

- Actualización técnica en todas las tecnologías habilitadoras, siguiendo un modelo “*learning-by-doing*”.
- Entendimiento en profundidad de las implicaciones del paradigma de la industria 4.0/digitalización industrial en procesos, productos y personas.
- Claves de la financiación y vinculación con el horizonte Nextgen.
- Entendimiento de aspectos legales (ej. protección de datos) y éticos en la toma de decisiones.

Se realizará durante un curso académico, con clases en fines de semana (viernes tarde y sábados mañana) en formato híbrido (bimodal). La posibilidad para los alumnos de poder combinar la presencialidad física con la asistencia síncrona y asíncrona ‘online’, permite que sea plenamente compatible con la actividad profesional. Todo ello impartido por un claustro de profesores de reconocido prestigio y con el apoyo de la Cátedra de Industria Conectada de Comillas ICAI, una institución plenamente conectada con las necesidades reales de las industrias.

El razonamiento que hay detrás de proponer un máster de estas características no es otro que el hecho probado de que la transformación digital contribuye al crecimiento sostenible de la industria, y mejora su eficacia y competitividad. La formación y actualización de los profesionales industriales es clave para capturar las oportunidades que ofrece la industria 4.0.

Este programa está dirigido a personas con formación técnica y una experiencia laboral mínima de 2 años trabajando en cualquier sector industrial o tecnológico. El máster incorpora todos los aspectos técnicos, incluyendo prácticas en laboratorio, nuevos modelos de negocio, financiación, legalidad y cuestiones éticas en el proceso de toma de decisiones.

El programa diseñado para este máster se compone de 11 módulos, junto con un Trabajo Fin de Máster (TFM), con la siguiente estructura:

- Industria conectada 4.0 (4,5 ECTS)
- Ética y transformación digital (1,5 ECTS)
- Internet de las cosas (IoT) y cloud computing (6 ECTS)
- Inteligencia artificial (6 ECTS)
- Diseño de productos y servicios digitales (6 ECTS)
- Finanzas para no financieros (3 ECTS)
- Robótica y drones (6 ECTS)
- Fabricación aditiva y nuevos materiales (6 ECTS)
- Realidad virtual, aumentada y mixta (6 ECTS)
- Operaciones y logística en la industria conectada (6 ECTS)
- Seguridad en la industria conectada (3 ECTS)
- Trabajo Fin de Máster (6 ECTS)

Puedes ver aquí el vídeo de los testimonios de los alumnos:



SCAN ME

Puedes ver aquí un resumen de la presentación del Master:



SCAN ME

O si lo prefieres el video completo de la presentación:



SCAN ME





COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

© Universidad Pontificia Comillas

EDITA:
Cátedra de Industria Conectada

DISEÑO Y REALIZACIÓN:
Alcuadrado, Diseño y Comunicación, S.L.

