



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

MEMORIA ANUAL 2019

**CÁTEDRA
DE INDUSTRIA
CONECTADA**



indra



PROSEGUR





MEMORIA ANUAL 2019

CÁTEDRA
DE INDUSTRIA
CONECTADA



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

Carta de los Directores

Querido Amigo,

La Cátedra de Industria Conectada de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) ha cumplido en 2019 su primer trienio desde que se presentó a principios del 2017. Durante estos tres años, hemos centrado nuestros esfuerzos en el propósito de que la industria española aproveche las oportunidades generadas por la Cuarta Revolución Industrial.

Uno de nuestros objetivos es crear un espacio divulgativo común, constituyéndonos como un foro de confianza entre empresas industriales y tecnológicas. Para lograrlo, este año hemos sumado nuevas actividades en los siguientes temas: Digitalización, Computación Cuántica, Descarbonización y Realidad virtual y Aumentada. Para ellos hemos organizado encuentros abiertos al público con profesionales que desempeñan un papel relevante en empresas e instituciones del sector industrial español, seguidas por reuniones privadas exclusivas para las Empresas Patrono.

Otra de nuestras actividades son los "Desayunos con CEO" en los que han participado presidentes y CEOs de las empresas Patrono de la Cátedra, así como directivos de empresas y altos cargos de las administraciones públicas. La Cátedra continúa apostando por esta iniciativa que se ha consolidado como un foro de debate de referencia en cuestiones clave para el presente y futuro de la transformación digital.

Nos gustaría destacar del año 2019, la incorporación de tres nuevas empresas patrono a la Cátedra: Prosegur, Repsol y SaarGummi Ibérica, con las cuales ya son doce las organizaciones que han confiado en nosotros, todas ellas referentes mundiales en los ámbitos más competitivos de la economía.

A su vez, hemos continuado trabajando en acciones formativas de la cátedra, llevando a cabo la segunda edición del "Doble Máster en Ingeniería Industrial e Industria Conectada" y del "Programa Avanzado en Industria Conectada. Liderazgo y Transformación Digital" para profesionales. En el 2019 también hemos creado el laboratorio de investigación e innovación (CIC LAB). Este laboratorio es un espacio destinado a los estudiantes, principalmente de máster, para que puedan aplicar sus conocimientos resolviendo problemas reales e investigar en temas relevantes para la Cátedra y la industria.

Por último, queremos agradecer a las Empresas Patrono su compromiso y colaboración durante estos tres años en los cuales hemos avanzado juntos, impulsando cada vez con más fuerza la Industria 4.0. Gracias también a los profesionales, investigadores, expertos y alumnos que han participado desde distintos lugares en las actividades de la Cátedra. Creemos que la colaboración entre entidades académicas y empresas es crucial para investigar y desarrollar los beneficios que la digitalización puede traer a nuestro tejido industrial.

El próximo año 2020 continuaremos trabajando con nuestro mayor compromiso, apostando por la innovación y el trabajo en equipo para lograr nuestros objetivos.

Mariano Ventosa

Vicerrector de Investigación e Internacionalización, Codirector de la Cátedra

Bernardo Villazán

Presidente Observatorio Industria 4.0, Codirector de la Cátedra



Tabla de contenido

▶ Carta de los Directores	5
▶ Tabla de contenido	7
▶ Encuentros Abiertos	9
1. AGENDA DIGITAL – 24 de enero	10
2. REALIDAD VIRTUAL Y REALIDAD AUMENTADA – 21 de marzo	15
3. DESCARBONIZACIÓN Y DIGITALIZACIÓN – 6 de junio	22
4. COMPUTACIÓN CUÁNTICA – 24 de octubre	26
▶ III Hackathon for Smart Industry 15 y 16 de noviembre	31
▶ Desayunos con CEO	35
1. MARCELINO OREJA, consejero delegado de Enagás – 7 de marzo	36
2. MARC GÓMEZ, CEO de ABB – 24 de abril	37
3. CHRISTIAN GUT, CEO de Prosegur – 19 de junio	38
4. JUAN DE ANTONIO, fundador y CEO de Cabify – 17 de septiembre	40
5. JOSU JON IMAZ, consejero delegado de Repsol – 3 de octubre	41
6. ALEJANDRO POCIÑA, presidente de Steelcase en España – 28 de noviembre	43
▶ Líneas de Investigación	45
1. Ciberseguridad en entornos industriales	46
2. Inventariado autónomo con drones	52
3. Control de un robot industrial mediante aprendizaje por refuerzo	56
4. Foregast 4.0. Una iniciativa conjunta de Enagás, Endesa y la Cátedra de Industria Conectada ...	61
5. Predicción con modelos de <i>Deep Learning</i>	62
6. Logística	73
7. Transformación Digital Socialmente Responsable	77
▶ Formación	85
1. Máster Universitario en Ingeniería Industrial y Máster en Industria Conectada (MII-MIC)	86
2. Programa Avanzado en Industria Conectada. Liderazgo y Transformación Digital	90



Encuentros Abiertos

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 organizado sus ya tradicionales **jornadas temáticas abiertas al público** con la finalidad de reflexionar, debatir y analizar cuestiones clave para la Industria 4.0.

Los encuentros abiertos del 2019 abarcaron las siguientes temáticas: Agenda Digital, Realidad Virtual y Aumentada; Digitalización y Descarbonización; y Computación Cuántica.

Estos eventos atraen a un número elevado de participantes ya que constituyen un punto de encuentro entre profesionales de empresas industriales y tecnológicas españolas, expertos en las temáticas abordadas y alumnos interesados en ampliar sus conocimientos. El formato de estos encuentros consiste en una primera exposición del tema elegido por uno de los ponentes invitados, seguida de una mesa redonda donde los demás ponentes exponen su visión y finalmente un turno de preguntas abierto al público.



1. AGENDA DIGITAL

24 de enero 



Victor Gimeno (ENAGÁS),
Nicolás Oriol (BANKINTER) y
Susana Cuevas (Grupo ANTOLÍN)
participaron en la mesa redonda
del evento, moderada
por Bernardo Villazán.

La Cátedra de Industria Conectada, consciente de la creciente importancia del proceso de digitalización dentro de las compañías celebró una jornada abierta al público dedicada a la agenda digital. El objetivo de esta jornada fue analizar el estado de madurez digital de las empresas industriales, así como las estrategias óptimas para definir e implementar planes específicos de digitalización. Contamos con la participación de ABB, Bankinter, Enagás y Grupo Antolín. Los profesionales que lideran el proceso de transformación en estas cuatro compañías compartieron con nosotros su visión, su experiencia, sus casos de éxito y fracaso y las lecciones aprendidas.

El evento público sobre agenda digital se centró en la presentación de iniciativas reales de digitalización de empresas de diferentes sectores, haciendo hincapié tanto en casos de éxito como de fracaso. Se dividió en 2 partes: una primera en la que Marc Gómez, CEO de ABB, introdujo la temática del evento; y una segunda que consistió en una mesa redonda, integrada por líderes de la transformación industrial de tres compañías líderes en sus sectores, en la que se generó un profundo debate sobre cómo es recomendable acometer los procesos de transformación en función de las características de los mercados en los que se opere.

Posteriormente se respondieron las preguntas que hizo la audiencia en modo presencial y a través de las redes sociales.

Los participantes del evento fueron:

- Moderador de la sesión: Bernardo Villazán: director de la Cátedra de Industria Conectada
- Ponente Principal: Marc Gómez: CEO de ABB

Integrantes de la mesa:

- Marc Gómez: CEO de ABB
- Nicolás Oriol: Head of Digital Transformation en Bankinter.
- Victor Gimeno: Head of Digital Transformation en Enagás
- Susana Cuevas: Directora de Sistemas de Información en Grupo Antolín.

1.1 | Exposición de Marc Gómez (ABB)

Marc Gómez, se encargó de abrir la sesión sobre agenda digital con una reflexión sobre las dos revoluciones que estamos viviendo ahora. Para ello, comenzó exponiendo los grandes cambios que han traído estas revoluciones.



Marc Gómez, Consejero Delegado de ABB durante su intervención en el evento.

Los 5 grandes cambios destacados fueron:

- La energía: nuevas fuentes de energía y maneras de transportarla.
- Los procesos productivos: la tecnología permite cerrar un círculo de medición, aprendizaje y optimización del proceso.
- Cómo trabajamos: por ejemplo, la robótica colaborativa ya es una realidad, aunque genera un debate interesante.
- Dónde y cómo vivimos
- Cómo nos movemos: movilidad eléctrica, coches autónomos...

A la hora de llevar a cabo un proceso de digitalización, Marc señala la importancia de tener claro que tiene que estar basada en el cliente. La clave, según él, es centrarlo en la mejora de la relación con el cliente, aprovechando que ahora está más cerca que nunca y se tiene más información de él. Como ejemplo, hoy en día muchas personas utilizan las redes sociales para mostrar su desacuerdo en la experiencia que han tenido. En este punto cobra un papel importante el Community Manager de la empresa.

Otro aspecto importante en esta transformación es la innovación abierta, teniendo en cuenta la



necesidad de alinearse con otras empresas para innovar juntos. En este aspecto, Marc destaca la ayuda de la Cátedra de Industria Conectada. Para esto es importante crear espacios de co-creación donde las empresas entre sí o con sus clientes puedan desarrollar nuevos proyectos.

Por último, con el objetivo de poder dar una guía que ayude en esta transformación digital, Marc dio **5 pasos básicos a seguir en un proceso de digitalización:**

- Resolver un problema acotado: no intentar mejorar todas las facetas mejorables de la empresa con una sola iniciativa.
- Buscar una solución pequeña y escalable.
- Focalizarse: hacer una cosa a la vez y no empezar con la siguiente hasta que se termine.
- Asegurarse de tener los recursos y el tiempo necesario: tiempo significa dinero.
- Trabajar duro.

Al final, Marc señaló el lema de ABB "Let's write de future together" como un recordatorio de que el futuro ya está aquí, pero mal repartido, y de que es importante buscar soluciones y respuestas juntos.

1.2 | Mesa Redonda sobre agenda digital

Esta segunda parte del evento comenzó con una breve presentación por parte de cada uno de los otros tres integrantes de la mesa, de sus sensaciones y expectativas en cuanto a la agenda digital.

Víctor Gimeno comentó que el camino de la transformación digital no es evidente y que va mucho más allá de la tecnología, que debe observarse simplemente como el habilitador del proceso y no como un objetivo en sí misma. Víctor resaltó los siguientes pasos, importantes en el proceso de transformación de Enagás:

1. Entender cuál es la estrategia de la compañía.
2. Ver qué están haciendo otras empresas por medio de eventos, consultores, la propia Cátedra de Industria Conectada.
3. Analizar la madurez digital de la empresa y decidir hasta donde se quiere llegar.
4. Enfoque a retos buscando el valor.
5. Decidir no sólo lo que se va a hacer sino cómo se va a hacer.
6. Y por último, tener en cuenta que la base de estos cambios son los profesionales de la empresa, que optimizan la cadena de valor.

Susana Cuevas explicó que debido a la rentabilidad baja por pieza que existe en Grupo Antolín, es necesaria una eficiencia máxima en los procesos. En Grupo Antolín, parten de presupuesto base cero: cada proyecto que quieren llevar a cabo se tienen que defender ante los comités de digitalización con su retorno de inversión real. Además, todos los procesos de la compañía son susceptibles de digitalización, lo que ayuda a atraer talento.

Nicolás Oriol señaló que Bankinter era líder tecnológico en los 2000 en el sector financiero pero que debido a la crisis se redujo la inversión en tecnología hasta 2015, cuando se decidió volver a impulsar al banco en la tecnología. Se pusieron en marcha 3 planes: transformación de procesos, transformación digital y gestión del talento. Dentro de estos 3 planes había diferentes proyectos, algunos a corto plazo, como la actualización de la página web, y otros a largo plazo, como la creación de un laboratorio de innovación con pruebas de concepto.

A continuación, se presentan algunos de los aspectos más importantes que se debatieron a raíz de las preguntas realizadas por los asistentes al evento.

- En cuanto a la causa de fracaso en proyectos de digitalización, las dinámicas en las que se intentan abarcar varias líneas de acción a la vez aparecieron como un denominador común en las compañías representadas en el evento. Esto en general lleva a retrasos en la implantación de proyectos e incluso a no llegar a tiempo respecto a los competidores.
 - Respecto a si es el departamento de OT o IT quien lidera este tipo de proyectos de transformación, se comentó que no existe un modelo único. Todavía es muy habitual tener a IT por un lado y a las operaciones por otro. Nicolás Oriol aconsejó separar el presupuesto y la capacidad de ejecución, si se ponen juntos en un mismo departamento, este se podría operar en modo aislado sin alinearse necesariamente con la estrategia general de la compañía, o al menos del resto de departamentos.
- Además, aconsejó que se involucrase a IT y OT al principio de cada proyecto. Marc Gómez y Víctor Gimeno apuntaron la necesidad de que estos proyectos estén impulsados desde el CEO y el Comité de Dirección, para evitar que la obtención de recursos se convierta en una lucha del más fuerte entre departamentos.
- En relación con la agilidad, se diferenció entre la agilidad corporativa y la gestión ágil de proyectos. La agilidad da adaptabilidad es muy útil cuando se sabe bien lo que se quiere conseguir, pero no está tan claro cómo se va a conseguir. Víctor Gimeno comentó como al principio en Enagás decidieron hacer un hub para ver cómo adecuar la organización y los procesos con el objetivo de hacerlos más ágiles. En esta línea, comenzaron con metodologías scrum en diferentes proyectos para ver en qué tipo de proyectos servía y de qué manera era



De izquierda a derecha, Susana Cuevas (Grupo ANTOLIN), Víctor Gimeno (ENAGÁS), Marc Gómez (ABB) y Nicolás Oriol (BANKINTER).



mejor. A partir de ahí, se ha ido aumentando el número de proyectos y personas, siempre comprobando que aporta valor. A pesar de la importancia de estas cuestiones metodológicas, Víctor señaló que la clave ha sido la formación.

- En cuanto a la posible generación de desigualdad, Marc Gómez señaló que las empresas dan más trabajo cuando son más competitivas y esta transformación les da más competitividad. Además, los robots hoy en día hacen que los trabajos con riesgos no los hagan personas. Con esto Marc indicó que creía que iba a haber más trabajo y, en general, más cualificado. No obstante, Marc recordó la importancia de reflexionar y encontrar vías de conversión para los perfiles específicos cuyos trabajos, por su naturaleza, sí van a desaparecer. Nicolás Oriol también recalcó que en el banco tiene necesidades de perfiles que todavía no existen, y una de las medidas tomadas ha sido formar a personal del banco.
- A raíz de una pregunta sobre por dónde empezar a invertir, Nicolás Oriol recomendó centrarse en la experiencia del cliente. Aunque sea arreglar algo superficial, es un buen lugar para empezar si la empresa tiene en algún momento contacto directo con el cliente. Susana Cuevas remarcó que si los proyectos son en departamentos centralizados es importante invertir tiempo con la cabeza del departamento para que sea el sponsor. Además, Susana también recordó que, en empresas como Grupo Antolín, con menos contacto directo con el cliente final de su sector, no es habitual encontrar tanto impacto en las dinámicas de la compañía por mejorar el modelo de relación con el cliente como en banca.
- Susana Cuevas comentó, a raíz de una pregunta, que en Grupo Antolín la impresión 3D se está utilizando para recambios o piezas de las propias máquinas, pero que por ahora no se cree que vayan a cubrir a corto plazo la velocidad de producción de piezas con esta tecnología.



Marc Gómez, Consejero Delegado de ABB.

2. REALIDAD VIRTUAL Y REALIDAD AUMENTADA

21 de marzo 

De izquierda a derecha:
Alejandro Casajús (Indra),
Álvaro Villegas (Nokia Bell Labs),
Raimon Meseguer (DS Smith),
Álvaro López (Cátedra de Industria
Conectada, Comillas-ICAI),
Ricardo Abad (Quark) y
Mariano Ventosa (Cátedra de
Industria Conectada, Comillas-ICAI).

La realidad virtual y la realidad aumentada juegan un papel importante en la transformación digital de la industria. Con el objetivo de profundizar y descubrir aplicaciones concretas en actualidad, la organizó una jornada abierta al público con el objetivo de explorar la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada y sus aplicaciones en la Industria 4.0.

Álvaro Villegas, director de Nokia Bell Labs Spain inauguró el evento con su exposición. Las ponencias posteriores corrieron a cargo de Alejandro Casajús Grassi, senior business development de Minsait (Indra), Ricardo Abad, managing director de QUARK y Raimon Meseguer Pedrós, business development manager de Iberia de DS Smith, todas ellas moderadas por Álvaro López, coordinador de la cátedra.

Para finalizar la jornada tuvo lugar una mesa redonda en la que los ponentes debatieron sobre la utilidad real a día de hoy de estas tecnologías, los avances y la proyección a futuro de ambas tecnologías.

Las tecnologías inmersivas en las que se mezclan elementos reales y virtuales llevan años apareciendo como piezas clave en el nuevo modelo de interacción del ser humano con el mundo virtual o ciberfísico. La aplicación de estas técnicas en entornos



industriales no ha sido tan abundante como en sectores de corte lúdico. Actualmente parece que empiezan a crecer las pruebas de concepto en la industria que llevarán previsiblemente a la adopción a mayor escala de la realidad virtual (RV), realidad aumentada (RA) u otras formas híbridas.

A continuación, se recogen las principales tendencias en tecnologías inmersivas, variando el enfoque desde la perspectiva de centros de investigación de referencia o compañías tecnológicas, así como ejemplos concretos de aplicación de compañías industriales.

2.1 | Visión de Nokia Bell Labs

Nokia Bell Labs es un centro de investigación del sector industrial, centrado en RV, RA y en cuestiones afines, cuyo foco se encuentra situado en el medio-largo plazo más que en la puesta en producción de sistemas/dispositivos en casos de uso concretos. La presentación del estado de la tecnología en el evento de la Cátedra de Industria Conectada de ICAI corrió a cargo de Álvaro Villegas, director de los laboratorios en España.

Desde Nokia Bell Labs perciben que las tecnologías inmersivas serán el elemento en el que pivotarán las comunicaciones en el futuro, tanto entre personas como entre personas y máquinas. Así pues, se podrá interactuar con entornos cercanos y remotos a través de un interfaz virtual mediante

el uso de unas gafas o lentillas. A día de hoy este tipo de dispositivos todavía están en fase de diseño conceptual.

Respecto a la preponderancia de la RV o la RA en el futuro, más allá de las divergencias en los volúmenes concretos de sus respectivos mercados, todas las proyecciones a día de hoy sitúan a la RA como la tecnología con más potencial en el medio plazo. Sin embargo, como puede verse en la , ambas tecnologías están en estadios previos a la madurez requerida para ser totalmente operativas. Este punto de madurez se espera dentro de entre 5 o 10 años, lo que se debe principalmente a que requiere de la llegada de otras tecnologías que las terminen de habilitar como puede ser el 5G en el campo de las comunicaciones

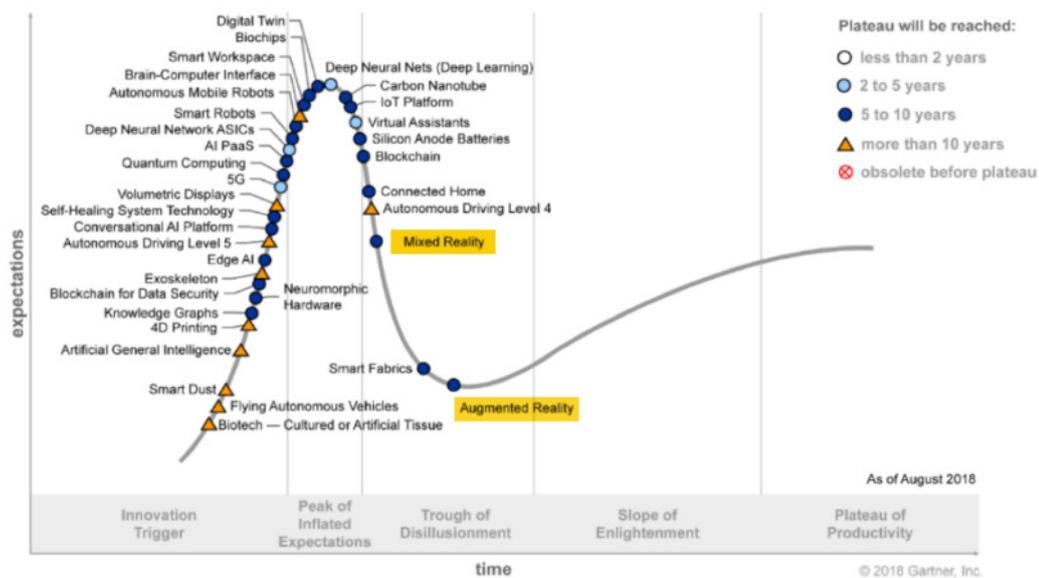


Figura 1: Posición en la curva de madurez de RV y RA. Fuente: Gartner 2018.

Realidad Virtual

La RV consiste en sustituir la realidad que nos rodea por otra alternativa mediante el uso de dispositivos que cambian nuestra percepción visual y auditiva.

El mercado de la RV se encuentra relativamente próximo a su madurez. Sin embargo, su gran limitación todavía está situada en los elementos necesarios para desplegar esta tecnología. Podemos hablar de tres categorías de dispositivos:

- **Dispositivos “amarrados” (tethered).** Entre ellos destacan *Oculus Rift*, *HTC Vive Pro* y *Sony PS4 VR*. Se caracterizan por tener altas prestaciones, pero también por necesitar de un servidor/ordenador próximo para realizar los procesos de computación. Su rango de precio oscila entre los 400€ y los 1.000€.
- **Dispositivos “suelto” (untethered).** En este caso la computación se realiza en los propios dispositivos con la contraprestación de que tienen una aplicación más limitada. Existe más oferta que en el caso anterior, pues esta categoría permite un acercamiento al público. Estos dispositivos, con precios entre 250€ y 400€, carecen interés en el ámbito industrial.
- **Dispositivos de bajo coste.** Son fundamentalmente lentes que habilitan el uso del teléfono móvil para demostrar el alcance de esta tecnología. Permiten acercar al público experiencias de vídeo 360° y de RV-RA con limitaciones.

En el sector industrial, la RV empieza a ser adoptada fundamentalmente en iniciativas de educación y entrenamiento con experiencias como cursos 3D o clases virtuales. La eficacia en estas tareas de las experiencias inmersivas se ha mostrado en torno a un 10% superior con respecto al aprendizaje con medios convencionales en un reciente estudio¹

Además, conviene notar que la introducción de estas tecnologías tiene claras derivadas en lo relativo a la mejora de la seguridad en general y especialmente en entornos peligrosos. Por último, también se puede destacar su potencial en la visualización de datos.

Realidad Aumentada

Con la RA se mantiene la mayor parte de la realidad y añadimos oportunamente elementos, información, etc. Es importante notar que, a día de hoy, todavía no es fácil poder eliminar objetos, aunque quizás el gran potencial de esta tecnología esté precisamente en presentarnos información de cualquiera de los dispositivos IoT de nuestro entorno.

Los dispositivos, principalmente gafas, para la aplicación de tecnologías de RA no están todavía totalmente maduros en la actualidad. Los que se orientan a optimizar el rendimiento tienen la comodidad de uso como asignatura pendiente; mientras que, en el lado opuesto, los que se orientan a optimizar la usabilidad ofrecen prestaciones aún mejorables. En ambos enfoques de diseño se observa una alta inestabilidad en el mercado con numerosos ejemplos de modelos que desaparecen o dejan de ser soportados por el fabricante.



¹ Krokos, E., Plaisant, C. & Varshney, A. Virtual Reality (2019) 23: 1. <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0346-3>.



En todo caso, en el grupo de gafas de altas prestaciones destacan las *Hololens 2* de Microsoft y las *Magic Leap One*. En el grupo de gafas cómodas, se espera el lanzamiento de *Google Glass 2* en el mes de mayo, con alta expectación en la industria por ser el sector para el que la tecnológica americana ha diseñado específicamente este producto.

Entre las aplicaciones de la RA, destaca a futuro la computación espacial que, como se ha apuntado anteriormente, permitirá fundir el interfaz humano-máquina con la realidad percibida por el usuario. En la actualidad, con modelos ya disponibles, se encuentran aplicaciones como las escenas aumentadas con información aumentada (e.g. previsualización de muebles en estancias, modelos de diseño colaborativo sobre la mesa de la sala de reuniones, etc.). Con ello se añade a la asistencia remota la presencia en la escena de trabajo de elementos virtuales de énfasis o información.

Visión de futuro: Realidad Distribuida

En Nokia Bell Labs están trabajando en una solución híbrida en la que se complementan los enfoques anteriores para resolver las limitaciones de cada uno. En concreto, este enfoque de Realidad Distribuida (RD) permite una alta virtualización del medio, como la RV, sin contraprestaciones en la propiocepción en el entorno mixto, como la RA. Algunos ejemplos de aplicación son: entrenamiento en altura, videoconferencias en las que se mezclan las salas de los participantes o la texturización de elementos en el entorno.

2.2 | Visión de Minsait - Aplicación a un cliente industrial (Endesa)

Minsait es una empresa de Indra con amplia experiencia en lo que a transformación digital se refiere y cuyo enfoque se posiciona en toda la cadena de valor de la Industria 4.0.

Alejandro Casajús, Consultor Senior de Minsait, fue el encargado de exponer la visión y casos de aplicación de las tecnologías inmersivas por parte de su empresa.

Desde Minsait la tecnología que se percibe con mayor potencial para causar un cambio disruptivo en la Industria 4.0 es la Realidad Mixta, que es una combinación de Realidad Aumentada y Realidad Virtual. Esta nueva tecnología que surge a partir de la sinergia de otras dos aún no se encuentra tan madura como sí lo están por separado.

Los principales principios que se han aplicado para llegar a ser líderes en este sector y continuar mejorando día a día son los siguientes:

- **La innovación como servicio.** Cuentan con un equipo de *design thinking* encargado de

diseñar casos de uso de las tecnologías inmersivas que puedan resultar disruptivos para los clientes.

- **Uso de tecnologías emergentes.** Gracias a la colaboración con empresas punteras del sector tecnológico se busca lograr tener un acceso adelantado a las novedades en las tecnologías inmersivas para poder ponerlos lo más pronto posible a disposición de los clientes.
- **Metodología Agile.** Permite adelantarse a los rápidos cambios de este tipo de tecnologías y tener una ventaja competitiva frente a otras empresas del sector.
- **Calidad en el ADN.** Se mantiene el foco en la experiencia de usuario y en la satisfacción del cliente.

Los tres principales ejes en torno a los cuales se centran los proyectos de tecnologías inmersivas de Minsait, por ser considerados como las principales líneas de transformación del paradigma de las Experiencias Inmersivas, son los siguientes:

1. **Entrenamiento en la formación.** Busca por un lado la seguridad y por el otro el aprendizaje, tratando de conseguir así al mismo tiempo un entrenamiento del personal en ambientes realistas de trabajo y que supongan riesgo nulo.
2. **Soporte a la operación.** Tiene como objetivo mejorar la eficiencia y reducir los riesgos en las operaciones del día a día en una planta industrial. Esto se logra permitiendo al operario recibir información extra o recibir supervisión y/o ayuda por parte de un instructor instantáneamente.
3. **Impacto.** Este eje está orientado a la experiencia de usuario y a la imagen de cara al cliente que se quiere dar.

Un ejemplo de caso de éxito de aplicación de tecnologías de Realidad Virtual en un ámbito industrial y en el contexto de un proyecto, en el cual no solamente se empleaban tecnologías inmersivas, es el proyecto **VIVES**. Este proyecto llevado a cabo por Minsait junto con Endesa se orientó a los procesos de formación de operarios para las tareas de descarga en las plantas de Endesa y se dividió en 4 etapas:

1. Instalación de la herramienta de *software* SAP para gestionar y organizar las órdenes de trabajo dentro de la planta industrial.
2. Formación a los operarios con más de 200 sesiones formativas para facilitar una rápida adaptación a los nuevos cambios.
3. Implantación de una solución de movilidad mediante dispositivos ruggedizados e identificación NFC (*Near Field Communication*) para hacer más fácil la operativa del día a día de los empleados en este proyecto.
4. Uso de la Realidad Virtual en la creación de una formación inmersiva para el descargo eléctrico y mecánico de alta y baja tensión.

En la última etapa, el principal problema al que daba respuesta la Realidad Virtual era la dificultad y lentitud de la formación de los operarios en los procesos de carga y descarga en la propia planta. Los procesos en los que se estaban formando estos operarios conllevan una alta peligrosidad y las condiciones de la actividad no podían ser recreadas tantas veces como se deseara sin evitar influir sobre una planta o poner en riesgo la seguridad del sistema. El método principal de



Distribución de gafas de realidad virtual en la recepción del acto.



formación previo al proyecto VIVES requería casi exclusivamente la transmisión del conocimiento de los expertos a los nuevos operarios.

Para dar solución a este problema se buscó crear una formación real y de calidad que fuera realmente útil para los operarios. Los objetivos más importantes a la hora de buscar una solución fueron la creación de escenarios realistas y que hubiera algún tipo de *feedback* al operario después de realizar la formación, al igual que lo recibiría de un instructor.

Con este problema y estos objetivos la solución final por la que se optó fue un *Serious Game*, que es un videojuego serio o real, donde los operarios entran con los dispositivos, llevan a cabo todas las actividades reales y posteriormente son evaluados. Con esta solución se consiguieron entornos reales gracias al escaneo y modelado de la nube de puntos de una planta real junto con la creación de las texturas y los demás elementos de la planta.

Otro punto clave en el proyecto fue la recopilación del conocimiento experto de los empleados de Endesa, el cual permitió a los ingenieros de Minsait poder elaborar el software encargado de guiar y evaluar a los operarios durante sus procesos de formación. De esta forma se consiguió dar valor a todo ese conocimiento que antes se transmitía de manera más lenta y no siempre estaba respaldado por una experiencia práctica.

2.3 | Experiencia de Quark en el diseño de *Data Centers*

Quark es una empresa de consultoría de ingeniería especializada en el diseño y construcción de *Data Centers* situada como primera referencia tanto en España como en Sudamérica.

Quark se ha sumado en el uso del RV y RA dentro de la industria para aumentar la productividad y calidad del producto. En este caso la presentación fue llevada a cabo por el ingeniero mecánico y *managing director* de Quark, Ricardo Abad.

En Quark destacan la idea de la transformación digital de las empresas, especialmente en el sector de la construcción. En este último caso, la transformación ha sido menos significativa con relación al resto de sectores de la industria. Debido a su poca predisposición, la construcción ha visto reducida su producción con respecto al resto en los últimos años.

Hasta hace relativamente poco tiempo no se pasó del diseño tradicional con lápiz y papel al diseño en *Autocad*, un software que permite que la información siga siendo exactamente la misma, pero en formato digital. Posteriormente surgió la idea del diseño por medio de software BIM en 3D con programas como *Revit*, donde ya se podía percibir de manera más clara y concisa la obra que se

iba a acometer. Esto permite una mejor coordinación de la construcción, así como una mayor agilidad en los cambios que se deseen realizar, ya que lo que se diseña es un único modelo del edificio en 3D sobre el que se ajustan al mismo tiempo todos los parámetros sin necesidad de corregir todos los planos a los que afecten estas correcciones. Esto supone un notable ahorro de tiempo en el diseño de edificios lo cual les ha permitido mejorar su productividad.

No sólo la tecnología de la RA ha ayudado en el área ingenieril, sino también en el marketing. Ahora las empresas del sector pueden ofrecer al cliente un producto mucho más llamativo e intuitivo que un conjunto de planos en 2D. Con este tipo de representación el cliente se siente más familiarizado y puede aportar sugerencias sobre el cambio de alguno de los aspectos en la construcción.

Hace 5 años en Quark llevaron a cabo esta transformación digital y han llegado a la conclusión de que la RV es aún una tecnología que está poco madura. Sin embargo, en esta primera fase de desarrollo les ha permitido mejorar la interlocución con el cliente y la revisión final de proyectos, permitiéndoles caminar incluso por el interior del

edificio modelado para encontrar interferencias o fallos. Además, la tecnología necesaria para la visualización en 3D de estos modelos ya ha alcanzado un precio accesible para cualquier empresa que quiera realizar este tipo de modelajes.

Cabe destacar que donde está realmente la transformación digital de las empresas, y el gran reto, es en la formación de los trabajadores, la cual no es fácil ni inmediata.

Gracias a estas tecnologías y la transformación digital que ha realizado durante estos últimos años, Quark afirma que ha sido capaz de alcanzar el 80% de la cuota de mercado en España en el diseño de Data Centers y ha aumentado la productividad en un 50% después de un arduo proceso de formación de sus trabajadores en este tipo de tecnologías.

A pesar de las ventajas que traen consigo estas nuevas tecnologías dentro del sector, la transformación digital va a ser lenta hasta que llegue a todas las empresas de construcción puesto que sigue habiendo un gran número de ellas que aún siguen usando el lápiz y papel a la hora de ejecutar la construcción.

2.4 | Experiencia de DS Smith en el diseño de soluciones de embalaje para el sector retail

DS Smith es una de las principales empresas internacionales de embalaje de productos. Lidera el sector del embalaje y el del reciclaje de prácticamente toda la materia prima que se usa en sus productos. Desde DS Smith, el *business development manager* de Iberia DS Smith, Raimon Mesguer Pedró muestra que proyección tienen estas tecnologías.

Dentro del departamento de diseño DS Smith lleva usando ya hace tiempo esta tecnología con el fin de tener una relación más clara y directa con sus clientes sobre los proyectos que se están llevando a cabo. Destacan que por medio de softwares como *ArtiosCAD*, han conseguido reducir considerablemente el plazo desde que sale adelante un proyecto hasta que llega al propio lineal, lo cual repercute directamente a la eficiencia de la empresa. Así pues, donde ya han visto un claro impacto es en el tiempo de ejecución de los proyectos y consecuentemente en los costes de operación.

Con respecto a la relación con el cliente, la RA ha posibilitado que exista una interacción activa entre el cliente y el proveedor mejorando así varios aspectos sobre el producto como la minimización de los costes y la mejora en el rendimiento de ventas. Gracias a la RA se le puede mostrar al cliente una recreación inmersiva del producto en el propio lineal. Esto posibilita hacer

estimaciones de ventas o riesgos y maximizar el rendimiento de los productos. Este servicio le permite a DS Smith y a sus clientes obtener el valor añadido que buscan al producto.

En DS Smith buscan minimizar los costes, así como ser eficientes en operación y en ventas. Se es eficiente cuanto menor es el tiempo entre la solicitud del producto y su puesta en venta. La RA aumentada ha traído consigo la oportunidad de poder ver el producto incluso antes de que sea fabricado, lo que acelera el proceso de decisión del cliente y aporta ese valor añadido al producto que buscan sus clientes.

En DS Smith son capaces de recrear sus productos en RA por medio de programas como *Adobe Cloud* y *Cinema 4D*. Estos programas permiten recrear el producto de una manera muy fiel a la realidad y que con un simple dispositivo tablet se pueda proyectar en el mismo lineal en el que va a ser expuesto. Gracias a esta tecnología el cliente tiene la seguridad de cómo va a quedar el producto final, favoreciendo por tanto la interacción del proveedor con el cliente, minimizando los riesgos y aumentando las ventas.

DS Smith tiene claro que su próximo objetivo es que esta tecnología sea implementada en su red de ventas, ya que en el departamento de diseño ya está asentada y arraigada.



3. DESCARBONIZACIÓN Y DIGITALIZACIÓN

6 de junio 



José Casas, director de Relaciones Institucionales y Regulación de ENDESA, key note speaker en el evento.

La Cátedra de Industria Conectada organizó un evento abierto al público para profundizar en la importancia del papel que juega la digitalización para cumplir con los objetivos de descarbonización del Acuerdo de París.

Inauguró la jornada Bernardo Villazán, codirector de la Cátedra, que dio la bienvenida a José Casas, director de Relaciones Institucionales y Regulación de Endesa, quien fue el encargado de exponer cuál es la posición y el papel de Endesa ante los retos de descarbonización y digitalización.

En su intervención José Casas comenzó haciendo un pequeño matiz acerca del título del encuentro. Si bien originalmente era “Descarbonización y Digitalización”, él propone cambiarlo por “Transición Energética y Transición Digital” ya que se trata de un periodo en el que todas las empresas están adaptándose al nuevo paradigma digital y energético, y en el cual se les insta desde las entidades europeas y gubernamentales a emitir 0 CO₂ para el año 2050.

3.1 | Contexto global

En 2015, 196 países más la Unión Europea firmaron el Acuerdo de París por el cual se comprometían en primer lugar a reducir a 0 las emisiones de CO₂ para el año 2050 y en segundo, a alcanzar la neutralidad carbónica durante la segunda mitad del siglo XXI. Desde ese momento, todos los países han trabajado de acuerdo a la hoja de ruta marcada desde Europa.

En octubre del 2018, el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) publicó un informe en el que afirma que, si se continuasen con las mismas medidas de reducción de emisiones que se estaban tomando hasta el momento, el límite fijado para el aumento de la temperatura global de 1.5°C para 2050 se alcanzaría entre el año 2034 y 2052. De este hecho se deduce que el camino marcado no va a posibilitar la consecución de los objetivos establecidos en el Acuerdo de París.

En la actualidad, el consumo energético global es de 13.511 Mtoe del cual el 85% proviene de combustibles fósiles, el 10% de energías renovables y el 5% restante es de origen nuclear. Cabe destacar, por un lado, el hecho de que en 8 años el peso que han ganado las renovables en la generación de energía es muy poco en comparación a las previsiones que se tenían, y por otro, la desigualdad que existe en términos de consumo entre países desarrollados, en vías de desarrollo y países menos desarrollados.

Como aspecto positivo, José Casas reseña la mejora de la competitividad de las tecnologías renovables, en especial la eólica y la fotovoltaica, las cuales ya han alcanzado unos costes más competitivos que los ciclos combinados. Además, la producción eólica *offshore* y la termosolar concentrada también empiezan a ser suficientemente competitivas en determinadas localizaciones. Así pues, la Agencia Internacional de la Energía ha estimado que existe una clara tendencia ascendente en la imposición de las renovables como generadoras de la energía; así mismo, concluye que para el año 2030 el peso de la renovable sobre la generación total será de un 36% frente al 25% actual. En el caso de España la apuesta es para el 2030 conseguir que el 74% de la generación sea renovable.

Dado que las principales tecnologías de generación de la actualidad son totalmente gestionables, el nuevo contexto en el que poco a poco se van imponiendo las renovables requiere un cambio en el sistema, pues éstas no son gestionables del mismo modo. Se tendrán que desarrollar sistemas de almacenamiento, sistemas de gestión de la demanda y dotar de inteligencia la red de distribución para que se pueda gestionar eficientemente la energía.

La electrificación implica también un incremento del peso de la electricidad en el resto de los sectores de consumo final, es decir, en los edificios, la industria y el transporte. La Agencia Internacional de la Energía afirma que en 2017 el peso de la electricidad en la matriz energética mundial era de un 19%, mientras que para se estima que en 2030 sea de un 31%. En España se pasará de un 24% actual a un 29% en 2030.

Endesa, como el resto de las empresas de la industria, además del reto proveniente de la descarbonización en la generación energética, debe afrontar la digitalización de la compañía. Según datos aportados por Bloomberg, en el sector de las *utilities* se invirtieron en 2018 a nivel mundial 52.000M\$ en automatización de la red, instalación de contadores digitales, digitalización de las operaciones de generación y distribución y en



José Casas (ENDESA), durante su intervención.



gestión de la demanda. Tal y como José Casas apunta, aunque es una inversión considerable, el sector aún está muy lejos de otros como pueden ser los medios, la banca, etc.

Los principales vectores para invertir en digitalización son:

1. La mejora de la eficiencia.
2. Adaptación a las necesidades y peticiones de los clientes.
3. Nuevos modelos de negocio.

En la actualidad, Endesa se encuentra sumida en el proceso de captura de datos. Tiene sensorizados todos los activos, desde los centros de generación y transformación con los sensores oportunos, hasta los clientes a través de los contadores digitales.

3.2 | Objetivos UE y España. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima

Desde España se ha presentado a Europa el Marco Estratégico de Energía y Clima, el cual consta de tres pilares:

1. Ley de Cambio Climático y Transición Energética.
2. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.
3. Estrategia de Transición Justa.

Los objetivos que se ha marcado España son por un lado limitar las emisiones en 227Mt CO₂, reduciéndolas en un 30% respecto al año 2015. Por otro, en cuanto al peso de las renovables sobre la energía final, se estima que para 2030 sea de un 42%, y que la eficiencia energética sea de un 40%. Si bien desde la Unión Europea las exigencias son algo más laxas, dado que se prevé que no se van a poder cumplir los objetivos marcados en el Acuerdo de París, España voluntariamente ha endurecido su compromiso con la lucha contra el cambio climático.

En el caso concreto del sector eléctrico y del transporte, se estima una reducción de las emisiones de CO₂ en un 55% y un 30% respectivamente para el año 2030. Como consecuencia de todos estos cambios, la matriz energética va a cambiar. Mientras que la producción en el año 2015 fue de 264TWh de los cuales sólo un 36% era renovable, para el año 2030 se debe producir un incremento en la producción hasta alcanzar los 345TWh, correspondiéndole a la generación renovable un 74%.

Esto último supone una inversión en 55.000MW de energía renovable, pero tal y como comenta

José Casas, la forma de garantizar el suministro es asegurarse que esa potencia estará disponible en el momento de máxima punta del sistema, que para 2030 será de 48.000MW. El problema surge entonces por la baja disponibilidad de la potencia instalada para entonces, pues la producción dependerá totalmente de los recursos ambientales. Así pues, se tendrá un total de 41.500MW de potencia disponible, los cuales no cubren la potencia punta de demanda, ni los estándares del operador del sistema. La solución que a priori se ha diseñado es dar más importancia al bombeo, a la instalación de baterías que permitan almacenar la energía, sistemas de gestión de la demanda, etc.

Según el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, el volumen total de inversión a realizar entre 2021 y 2030 debe ser de 236.124M€. Del total, la mayor parte se destinará a la inversión en renovables, en implementar medidas de ahorro y de mejora de la eficiencia y en redes. En cuanto a la división de la inversión según los sectores, la mayor cantidad queda reservada para el sector eléctrico, residencial y los transportes.

En ese proceso de electrificación es necesario alcanzar un acuerdo para la regulación de la tarifa, pues en España la electricidad es una de las más caras de Europa. Aproximadamente el 50% del precio que pagan los clientes no tiene nada que ver con el suministro eléctrico, que básicamente es el coste de la energía y el uso de las redes de distribución y de transporte. Ese porcentaje está formado principalmente por decisiones de política energética y por impuestos.

José Casas apunta a un cambio disruptivo digital que ya se ha logrado, y es el hecho de que ya se está monitorizando el comportamiento del cliente a través de los contadores eléctricos digitales. El problema está en que las tarifas están diseñadas desde 1980, por lo que los conceptos que en ellas se encuentran no se corresponden con el contexto actual que rodea al cliente. Por esto motivo, se está trasladando al administrador la posibilidad de no limitar la potencia durante todas las horas del año, si no sólo durante las horas en las que la red está saturada. De este modo, analizando la monótona de carga de las curvas de demanda se observan 650h de hora punta, 1.550h de llano y 6.500h de valle, lo que quiere decir que los clientes podrían hacer uso de la red de distribución en ese último periodo sin tener que incrementar su potencia contratada. Esto facilitaría el vencimiento de las barreras a la electrificación de la economía. Así pues, se trata de aprovechar el hueco en el que la red está "ociosa" para cubrirlo con la demanda del vehículo eléctrico, de la climatización, de los clientes estacionales, etc.

Como ejemplo de este hecho, actualmente lo más barato para un cliente es calefactar su casa con gas natural aun teniendo la tarifa de discriminación horaria. Sin embargo, con esta propuesta de la tarifa inteligente, se le puede aconsejar al cliente que instale una bomba de calor con almacenamiento, y entonces sí, la tarifa eléctrica empieza a ser competitiva.

3.3 | Plan estratégico ENDESA 2019-2021

Desde Endesa se está invirtiendo principalmente en renovables, en digitalización de la red de distribución y en digitalización de la relación con los clientes. El volumen total de la inversión será de 6.400M€.

La producción total no va a cambiar durante estos dos próximos años, pero se van a cerrar el 50% de las centrales de carbón, sustituyendo esta potencia por otra proveniente de tecnologías que favorezcan la reducción en las emisiones de CO₂. Así pues, en 2020 se espera que el 56% de la generación esté libre de emisiones.



José Casas (ENDESA), durante su intervención.

Aparte de la modificación de la estructura de las tarifas, se debe hacer una reforma fiscal en la cual cada vector energético soporte su coste, y además diseñar un sistema adecuado de pagos por capacidad para hacer atractiva las inversiones en bombeo y almacenamiento de energía, y así subsanar el problema que saldrá a la luz cuando la potencia disponible no sea suficiente para cubrir el pico.

En cuanto a la inversión en digitalización, el total de la inversión será de 1.300M€, los cuales irán destinados a automatizar la red, crear su gemelo digital, sensorizar las centrales, así como digitalizar la relación con los clientes. Además, se ha lanzado una nueva empresa, llamada Endesa X, cuya línea de negocio es vender nuevos servicios y productos dentro de todo este nuevo marco de electrificación. Está basada en movilidad sostenible, alumbrado público eficiente, dar servicio a los ayuntamientos y aportar la inteligencia en las edificaciones.



4. COMPUTACIÓN CUÁNTICA

24 de octubre 



Jesús Sánchez y Asier Arranz (IBM) intervinieron en la mesa redonda moderada por Álvaro López.

La Cátedra de Industria Conectada organizó una jornada sobre computación cuántica con expertos de IBM y el CSIC que ofrecieron interesantes y reveladoras ideas y perspectivas sobre la temática.

Una de las principales empresas protagonistas en el desarrollo del hardware y software necesario para la computación cuántica es IBM. En este evento participó como primer ponente D. Juan Sánchez Toural, IBM Q *ambassador*.

En su intervención Juan Sánchez comienza haciendo una reflexión sobre el rápido ritmo del progreso actual y sobre los cambios exponenciales que está trayendo. Dentro de este marco se halla el nacimiento del *Quantum Computing*. A diferencia de otros avances como puede ser el *blockchain*, en este caso no se puede hablar de simplemente una tecnología, pues es algo mucho más profundo; se trata de un nuevo paradigma del procesamiento de la información, es decir, una nueva forma de computar. Así pues, se puede afirmar que está naciendo una nueva industria que además tiene el potencial de transformar cualquier otra industria. Es una nueva era para las tecnologías de la información.

A día de hoy todavía no se pueden diseñar servicios o productos útiles para la sociedad. Sin embargo, el hecho de que en la actualidad todavía no tenga un impacto directo sobre la vida de los ciudadanos no está impidiendo que los países más desarrollados estén invirtiendo cantidades muy importantes en el desarrollo de las soluciones cuánticas. La justificación de la inversión en la computación cuántica queda entonces sujeta al hecho de que se trata de una solución capaz de abordar un problema exponencial en tiempo polinómico, es decir, se podría llegar al fin del universo cogiendo un avión.

A partir de la ley de Moore de 1962 en la cual se describió el hecho de que el tamaño de los transistores se estaba reduciendo a la mitad, pero aumentaba su capacidad cada 18 meses, y que este hecho se prolongaría en el tiempo, ha surgido una nueva ley que ya está en marcha. Se trata de una tendencia autoimpuesta en lo que ha capacidad de computación cuántica se refiere según la cual se piensa duplicar esta capacidad cada año. La métrica que se utiliza se denomina *Quantum volumen* y tiene principalmente dos factores: el número de cúbits y la calidad de esos cúbits, es decir su tasa de error.

Los problemas que se tienen que resolver de forma general pueden ser clasificados en dos grandes grupos: problemas fáciles y problemas difíciles. Los primeros son multiplicaciones u operaciones que los ordenadores clásicos pueden hacer muy bien y muy rápido. Los segundos problemas están fuera del alcance de los ordenadores de hoy en día ya que son problemas cuyo desarrollo con el número de elementos a tratar crece exponencialmente en tiempo y recursos. Un ejemplo de problema difícil puede ser la factorización de un número. Con el desarrollo de la computación cuántica entra en juego un tercer tipo de problema que son aquellos que se pueden resolver usando este modo de cálculo. Si bien no puede resolver todos los problemas, sí que existe un conjunto de problemas muy interesantes que ahora podrían ser abordados.



Ángela Ribeiro (CSIC), Rafael Palacios (ICAI) y Elisa Martín Garijo (IBM) participaron en la mesa redonda del evento, moderada por Bernardo Villazán.



Cuando se mezclan las tecnologías de la información y las leyes de la mecánica cuántica aparece una nueva disciplina que es la teoría cuántica de la información. La unidad básica de la información pasa a ser entonces el cúbit, no el bit, ya que con la máquina de Turing no se pueden llegar a simular procesos en los que intervienen muchas partículas.

Esta nueva unidad no es un número, es un vector al cual se le aplica una transformación lineal para convertirlo en un nuevo vector y de este modo evolucionar de estado. Puede tener valor 0 cuando apunta al norte o valor 1 cuando está dirección sur, actuando como un bit normal, pero además puede apuntar en cualquier dirección de la esfera de Bloch. Así pues, la riqueza y el potencial reside en la capacidad de almacenar toda esta información extra que va más allá del clásico 0 o 1.

Se tienen 4 herramientas para hacer los cálculos con los cúbits: la primera es la superposición, un estado especial que surge como combinación lineal del 0 y 1 básicos; la segunda es el entrelazamiento, forma especial de superposición que ocurre cuando dos o más partículas entran en una relación entre ellas de manera que los cambios en una alteran a la otra, es decir, forman una unidad que no se puede describir con cada elemento por separado, si no como un sistema conjunto. Cabe destacar que esta propiedad se mantiene con independencia de la distancia entre los dos objetos y que observando uno de ellos se produce en la otra una manifestación. La tercera propiedad surge como resultado de modelar los cúbits como funciones de ondas y es la interferencia, la cual surge al hacer coincidir dos ondas. Por último, se tiene la medida, una propiedad que surge como consecuencia del hecho de que los cúbits dentro de su espacio no pueden ser observados. Para poder inferir su valor es necesario destruirlo, es decir, colapsar la función de onda para que el cúbit se convierta a un bit clásico de manera que según el estado del cúbit se tendrá más probabilidad de observar un 0 o un 1.



El origen de la cuántica tiene lugar en el descubrimiento de la dualidad onda-partícula de los fotones.

La computación cuántica, tal y como se ha comentado al inicio, afecta a todas las industrias, siendo relevantes los casos de estudio que se están llevando a cabo en la realidad en el sector químico, en el sector financiero y en distribución y logística. Esta solución permite simular procesos y situaciones en las que hay un gran número de variables y que, en cuanto se introduce un nuevo elemento, la dimensionalidad crece exponencialmente.

A continuación, intervino como ponente D. Asier Arranz *Global Quantum Community Lab Lead* de IBM. Comenzó explicando la infraestructura que compone un ordenador cuántico, el cual trabaja entre 4 grados Kelvin en la parte superior más alejada y 0,017K en la parte inferior. Como comparativa y para ilustrar mejor a qué temperaturas se está trabajando, cabe destacar que la temperatura del espacio exterior es de 2,7K. El hecho de que tenga que trabajar en esas condiciones de temperatura se debe a que los amplificadores cuánticos necesitan no tener casi ruido.

El origen de la cuántica tiene lugar en el descubrimiento de la dualidad onda-partícula de los fotones, el cual fue posible gracias al experimento de la Doble Ranura. Se concluyó entonces que el hecho de observar la realidad podía alterarla. En este fenómeno se basa la computación cuántica.

Para el funcionamiento del ordenador cuántico se emplean puertas cuánticas. Estas puertas se utilizan en el *Quantum Composer*, de tal modo que arrastrándolas se puede llegar a hablar con el ordenador cuántico. Se parte así de puertas complejas, por ejemplo con superposición, que se traducen en puertas unitarias más básicas; a su vez, dichas puertas básicas se traducen en unas microondas que son las que hablan directamente con el cúbit. El problema más complejo al que se enfrentan las puertas cuánticas es el ruido, ya que dificultará la lectura de medidas.

En la actualidad aún no se tiene un cúbit perfecto, es decir, las medidas se ven notablemente afectadas por el ruido. Este un reto al que todas

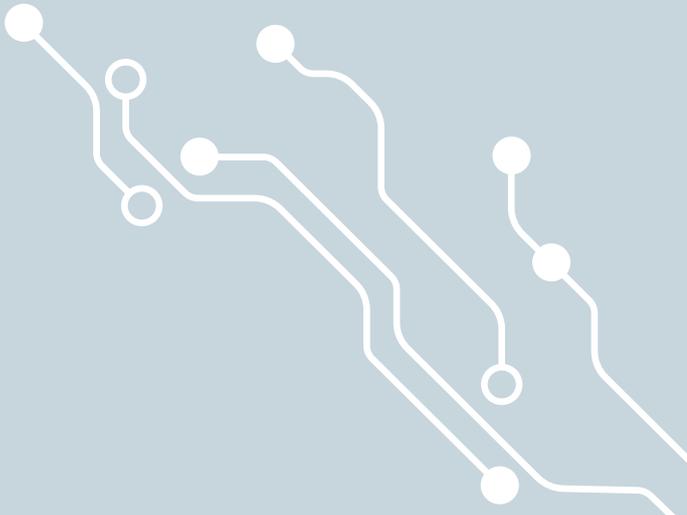
las empresas están intentando hacer frente mediante la consecución de lo que llaman un cúbit lógico el cual no se verá afectado por las perturbaciones de ruido.

Parte de la información de los procesadores cuánticos de IBM está accesible y en ella se muestran los diferentes niveles de ruido T1 -relajación de la energía- y T2 -decoherencia-, el error de puerta, es decir, cuánto ruido introduce esa puerta en ese cúbit y el ruido de medida.

Por el momento se está alentando a las empresas a que desarrollen aplicaciones prácticas que permita ir avanzando en la implementación de la computación cuántica en el sector empresarial. Cabe destacar que uno de los principales sectores en los que se está invirtiendo es en el de videojuegos, ya que permiten explotar la creatividad de la comunidad y, posteriormente, los avances que se consigan pueden ser extrapolados a otras aplicaciones.



Ángela Ribeiro (CSIC), durante su intervención.



III Hackathon for Smart Industry



A través de la organización del **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.





Nicolás Castrejón, Director Industrial de MAHOU SAN MIGUEL dio la bienvenida a los participantes en el III Hackathon for Smart Industry.

Los días 15 y 16 de noviembre se celebró la **tercera edición del Hackathon for Smart Industry** organizado por la de Comillas ICAI en colaboración con la **Dirección Industrial de Mahou San Miguel**.

Esta iniciativa dirigida a alumnos de la albergó a 8 equipos formados por 4 o 5 alumnos de los Grados y Másteres de la Escuela y del Programa Avanzado en Industria Conectada, Liderazgo y Transformación Digital, que tuvieron que dar respuesta al reto planteado por la cervecera en poco más de 24 horas. En esta edición, el desafío consistía en cómo automatizar y mejorar la eficiencia de una de las líneas de trabajo de una fábrica de la compañía mediante soluciones innovadoras y sostenibles.

La actividad tuvo lugar en **Comillas Collaborative Space**, un espacio de creatividad y colaboración, donde los alumnos pudieron trabajar en un ambiente distendido para dar rienda suelta a su ingenio y proponer ideas innovadoras. Durante las sesiones de trabajo, pudieron consultar las dudas que les iban surgiendo con los profesionales de Mahou San Miguel que acudieron a supervisar el reto.

Los estudiantes presentaron sus soluciones ante un jurado compuesto por cinco miembros de la cervecera y dos expertos independientes. El equipo ganador estuvo compuesto por: Marta Casas Avery, Miguel Cabello Reyes, Daniel Elechiguerra Batlle y Alberto Castillo Rodríguez. A comienzos de 2020, estos alumnos de Comillas ICAI podrán presentar su solución al Comité Industrial de Mahou San Miguel en sus oficinas corporativas de Madrid.

El hackathon, basado en un modelo de innovación descentralizada y colaborativa, busca identificar e impulsar el talento joven que contribuirá a la transformación digital de la industria española.

Marta Casas, Daniel Elechiguerra, Miguel Cabello y Alberto Castillo, estudiantes de la ETSI ICAI integrantes del equipo ganador del Hackathon.



De izquierda a derecha: Santiago España (Mahou - San Miguel), Antonio Muñoz (Comillas - ICAI), Esteban Carrasco (Mahou - San Miguel), Eloy Caballero (Mahou - San Miguel), Pablo García (Comillas - ICAI) y Daniel Salván (Mahou - San Miguel) estuvieron siguiendo el desarrollo de las sesiones de trabajo del Hackathon.



Nicolás Castrejón (Mahou - San Miguel) y Bernardo Villazán (Cátedra de Industria Conectada) durante la ceremonia de entrega de premios.



Esteban Carrasco (Mahou - San Miguel) en la ponencia de presentación del reto.





Desayunos con CEO

Desayunos con CEO es una iniciativa que la Cátedra de Industria Conectada organiza desde su fundación con el objetivo de **analizar las tendencias de un sector**. En ellos, el Presidente/CEO de una de nuestras Empresas Patrono 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.

En 2019 se han organizado seis Desayunos con CEO y los protagonistas invitados han sido, categorizados por orden cronológico, **Marcelino Oreja**, consejero delegado de Enagás, **Marc Gómez**, CEO de ABB, **Christian Gut**, CEO de Prosegur, **Juan de Antonio**, fundador y CEO de Cabify, **Josu Jon Imaz**, consejero delegado de Repsol y **Alejandro Pociña**, presidente de Steelcase en España.



1. MARCELINO OREJA, consejero delegado de Enagás

7 de marzo 



Marcelino Oreja, consejero delegado de ENAGAS, durante su intervención en el desayuno.

El primer Desayuno CEO del ciclo 2019 tuvo como protagonista a Marcelino Oreja, consejero delegado de Enagás, quien destacó que “el entorno digital nos obliga a ser cada vez más ágiles”

Marcelino Oreja, expuso su visión sobre cómo afronta su compañía el proceso de transformación digital, sobre qué pilares se asienta este cambio y qué soluciones concretas se están tomando. En un entorno cada vez más cambiante, “la agilidad va a ser clave para poder triunfar”, señaló.

En su ponencia, el consejero delegado resaltó que, para la transformación de Enagás, se había recorrido un camino que implicaba entender el futuro de la compañía, fomentar la cultura emprendedora y apostar por un cambio cultural.

“La digitalización no debe ser una moda” recalca Marcelino Oreja que desgranó las principales cuestiones sobre las que trabaja Enagás y que destacó la búsqueda de soluciones concretas, la mejora de la experiencia del usuario y la reducción de los gastos de negocio. Todo ello sin olvidar que “la tecnología no debe ser incompatible con los valores” y sabiendo que “la persona es lo más importante”. Por otro lado, hizo hincapié en la importancia que había cobrado en los últimos tiempos la sostenibilidad de la compañía, señalando el propósito y el largo plazo como aspectos clave dentro de todo ello.

Al desayuno acudió el rector de la universidad, **Julio L. Martínez, SJ**, quien dio la bienvenida al ponente y al resto de representantes de las empresas patrono de la cátedra y a un gran número de directivos de empresas industriales.

2. MARC GÓMEZ, CEO de ABB

24 de abril **Marc Gómez, CEO de ABB España, fue el protagonista del segundo 'Desayuno con CEO' del 2019.**

En esta ocasión, Marc Gómez, fue el encargado de exponer su visión sobre cómo afronta su compañía la digitalización. "Vivimos en un momento apasionante, el futuro ya está aquí". "Hablamos como mínimo de dos revoluciones: la cuarta revolución industrial y la energética", recalcó.

En su ponencia, el CEO destacó el debate que existe sobre cómo la tecnología va a afectar a las personas señalando que lo "cierto es que la tecnología cambia las cosas". "No destruye empleo, pero cambia las profesiones". Sobre esto, señaló la importancia de "cómo aplicar la transformación digital de manera responsable y cómo hacer que las personas no se pierdan en el camino". "El verdadero valor no es sólo el cambio tecnológico, sino que a través de eso seamos capaces de generar ese valor" subrayó Marc Gómez, mencionando ejemplos como la gestión energética de edificios, la mejora de la productividad o la flexibilización.

Además, la digitalización permite generar modelos de negocio distintos y esa es la transformación real más allá de la tecnología. "Vivimos un momento extremadamente innovador pero las soluciones las tenemos en la mano y la clave son las personas", exponía el consejero delegado de ABB España.

Al desayuno acudió el rector de la universidad, **Julio L. Martínez, SJ**, quien dio la bienvenida a los representantes de las empresas patrono de la cátedra y a un gran número de directivos de empresas industriales y tecnológicas.

Marc Gómez, consejero delegado de ABB, durante su intervención en el desayuno.





3. CHRISTIAN GUT, CEO de Prosegur

19 de junio 



Christian Gut, consejero delegado de PROSEGUR, durante su intervención en el desayuno.

La Cátedra de Industria Conectada de Comillas ICAI, en colaboración con el Club Empresarial ICADE, organizó un nuevo “Desayuno con CEO” protagonizado por Christian Gut, consejero delegado de Prosegur. Para él, “la transformación digital no es una opción, es una obligación”.

Gut comenzó su exposición presentando las líneas de negocio de la compañía: Prosegur Cash, Prosegur Seguridad y Prosegur Alarmas. El directivo continuó explicando cómo la revolución digital está teniendo una incidencia directa en cada una de estas actividades. En Prosegur, afirmó, “somos plenamente conscientes del cambio de era que estamos viviendo”, una revolución tecnológica de la que resaltó “la altísima velocidad a la que se están produciendo los cambios”.

El CEO de Prosegur desgranó las grandes líneas del plan estratégico de la compañía que se concretan en “digitaliza, innova y crece”. En la implantación de esta estrategia, Gut afirmó que “el principal objetivo de la compañía es la transformación digital”. Para abordar esta transformación, es necesario “lograr un cambio cultural y generar equipos orientados al cambio”, explicó. Prosegur está apostando por nuevas formas de trabajo que se adapten a la nueva realidad empresarial que exige una velocidad de respuesta cada vez mayor. También está dotando a sus equipos de nuevas herramientas y metodologías de trabajo “ágile” o “design thinking”. Además, destacó que otro foco de

trabajo importante es la simplificación de los procesos y la modernización de la arquitectura tecnológica de la compañía, enfocados a aumentar la escalabilidad de las operaciones y el crecimiento de la actividad.

El segundo pilar de la estrategia de Prosegur es la innovación. Gut expuso como la compañía trabaja con una metodología de horizontes en donde se busca mejorar los servicios ofrecidos en la actualidad, realizar nuevas propuestas a los clientes con las capacidades existentes y, por último, buscar propuestas mucho más disruptivas y con un enfoque de medio plazo.

Finalmente, el CEO de Prosegur recalcó la apuesta del grupo por el crecimiento. Toda transformación es más sencilla si se acompaña de crecimiento que nutre de nuevas oportunidades a toda la organización y para ello Prosegur apuesta tanto por el crecimiento orgánico como inorgánico, continuando con el ritmo de adquisiciones de los últimos ejercicios.

Al desayuno acudió el rector de la universidad, **Julio L. Martínez, SJ**, quien dio la bienvenida a los asistentes y a un gran número de directivos de empresas industriales y tecnológicas.





4. JUAN DE ANTONIO, fundador y CEO de Cabify

17 de septiembre 



Juan de Antonio,
CEO de CABIFY,
durante su intervención
en el desayuno.

Juan de Antonio, fundador y CEO de Cabify, expuso su modelo de negocio en un nuevo desayuno con CEO de la Cátedra de Industria Conectada, organizado en colaboración con el Club Empresarial ICADE.

El fundador de Cabify apuesta firmemente por la innovación y reconoce que en la compañía están constantemente innovando. La idea que quiso resaltar en su ponencia es que “dónde hay deficiencias y tecnologías se pueden generar oportunidades de negocio y hay incentivos para mejorar”.

En su exposición explicó además el fuerte compromiso de Cabify con el entorno y la naturaleza que “nació con vocación de transformar las ciudades y colaborar con el taxi en la tarea de sustituir el uso de los vehículos privados, así como evitar que haya coches aparcados”. Según las estimaciones, 1.000 vehículos de Cabify pueden llegar a sustituir a 17.000 vehículos privados y ahorrar 4.000 toneladas de CO₂.

La compañía defiende valores como el respeto por el medio ambiente, la diversidad y el buen gobierno, la innovación y la seguridad, y el emprendimiento y la creación de valor. Además, Cabify se identifica como una empresa que además de generar empleo, genera ingresos tributarios.

Al desayuno acudió el rector de la universidad, **Julio L. Martínez, SJ**, quien dio la bienvenida al ponente y al resto de representantes de las empresas patrono de la cátedra y a un gran número de directivos de empresas. En línea con los valores que apoya Cabify, el rector cerró el desayuno diciendo que la universidad está formada por personas comprometidas con el mundo y con la Agenda de la Ecología Integral.



5. JOSU JON IMAZ, consejero delegado de Repsol

3 de octubre 

DESAYUNOS CON CEO

En esta ocasión el invitado fue **Josu Jon Imaz**, consejero delegado de **Repsol**. En su exposición, destacó que para abordar la reducción de emisiones de CO₂ “necesitamos acción, ambición y mucha humildad tecnológica, porque no sabemos cuál va a ser la solución”. Siguiendo esta línea, declaró que en Repsol están firmemente comprometidos con la reducción de emisiones, un objetivo que logran impulsando un amplio conjunto de medidas de diversa índole orientadas tanto a reducir el carbono emitido para producir cada unidad de energía como a capturar el exceso de carbono en la atmósfera resultado de la actividad económica.

Entre sus reflexiones, Imaz planteó que, en la senda de mantener el calentamiento global por debajo de los dos grados centígrados, “**hay lugar para todas las energías**”. El consejero delegado de Repsol se mostró optimista, resaltando que de 2014 a 2016 se ha logrado incrementar el PIB mundial sin aumentar significativamente las emisiones de CO₂. De hecho, refiriéndose al caso español, Imaz considera que tanto la economía como la sociedad española “están haciendo sus deberes” en el proceso de descarbonización, ya que España se encuentra por debajo de la media de la Unión Europea. No obstante,



Josu Jon Imaz,
consejero delegado de REPSOL,
durante su intervención
en el desayuno.





“cumplir con el objetivo exige un esfuerzo como sociedad y como país”, exponía Imaz, que indicó que “hace falta un debate que trate de abordar la descarbonización buscando la senda **más eficiente y más rentable**”.

“Es necesario abordar esta transición con prudencia y muy sensibles a las **necesidades que tiene el tejido industrial**. Además, la transición tiene que ser justa y no sólo puede verse desde una óptica urbana”, apuntaba el consejero delegado de Repsol.

Al desayuno acudió el rector de la universidad, **Julio L. Martínez, SJ**, quien dio la bienvenida al ponente, al resto de representantes de las empresas patrono de la cátedra y a un gran número de directivos de empresas. El rector reflexionó sobre la importancia del bien común y animó a todos los asistentes a convertir estas reflexiones sobre el bien común llevadas a cabo en el ámbito académico en acciones concretas que permitan mejorar la sociedad.



6. ALEJANDRO POCIÑA, presidente de Steelcase en España 28 de noviembre

DESAYUNOS CON CEO



Mariano Ventosa dio la bienvenida a los asistentes en el desayuno con Alejandro Pociña.

La Cátedra de Industria Conectada de Comillas ICAI celebró el último Desayuno con CEO del ciclo 2019. En esta ocasión, el invitado fue Alejandro Pociña, presidente de Steelcase en España.

Para Pociña, “el propósito de Steelcase siempre ha sido resolver problemas a través de la innovación. Con la llegada de Jim Hackett (ahora presidente de Ford) y su relación con Ideo la organización reinventó este concepto **poniendo a las personas en el centro** de todo lo que hacía”.

El vicerrector de Investigación e Internacionalización, **Mariano Ventosa**, fue el encargado de dar la bienvenida a un acto que contó con la asistencia de 40 dirigentes de empresas industriales y tecnológicas.



Alejandro Pociña, presidente de STEELCASE durante su intervención.

Líneas de Investigación



Con el objetivo de impulsar la investigación e involucrar a los estudiantes en el desarrollo de proyectos relacionados con la Industria 4.0, la Cátedra de Industria Conectada ha creado en 2019 el laboratorio de investigación e innovación, al que hemos llamado CIC LAB. Este laboratorio es un espacio destinado a los alumnos para que puedan aplicar sus conocimientos a la resolución de problemas reales e investigar en temas relevantes para la Cátedra y la industria.

En sus comienzos el CIC LAB ha recogido algunas de las líneas de trabajo de años anteriores, pero también ha impulsado algunas nuevas. En concreto, la siguiente lista recoge las líneas de investigación con las que comenzamos el LAB:

- Ciberseguridad en entornos industriales.
- Inventariado autónomo con drones.
- Control de un robot industrial mediante aprendizaje por refuerzo.
- Foregast 4.0. Una iniciativa conjunta de Enagás, Endesa y la Cátedra de Industria Conectada.
- Predicción con modelos de Deep Learning.
- Logística.
- Transformación Digital Socialmente Responsable.

El CIC LAB se inauguró el 27 de mayo de 2019 con la participación de 19 estudiantes, que recibieron becas de colaboración de entre 20 y 35 horas por semana. Los participantes trabajaron en equipos de hasta 4 personas, y recibieron formación sobre las dinámicas de trabajo que son tendencia en la industria (Agile, Design Thinking, etc.) de la mano de miembros del equipo de Transformación Digital de Enagás. Durante los dos meses de trabajo del LAB, los estudiantes se presentaron unos a otros sus progresos, compartiendo posturas e ideas, lo que les ayudó a optimizar su rendimiento y su aprendizaje.

A continuación, compartimos la motivación de cada una de las líneas de trabajo, así como, en los casos en los que es posible, un documento con el estado de situación de las mismas.



1. CIBERSEGURIDAD EN ENTORNOS INDUSTRIALES

Esta línea supone una continuación de los trabajos llevados a cabo en el marco de la Cátedra desde sus inicios. En la fase inicial de prospección de habilitadores y barreras, la seguridad surgió como una de las principales barreras para interconectar centros de producción, algo que necesariamente conlleva problemas para aprovechar las ventajas asociadas con la agregación y análisis de grandes volúmenes de datos.

En este punto, nos hemos concentrado en la revisión del estado de madurez en seguridad de los actores industriales, separando entre infraestructuras críticas y manufactura en general.

A continuación, os compartimos los principales resultados del trabajo de nuestros estudiantes colaboradores.

▶ HACIA LA SECURIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIALES

Carlos Redondo Alamillos e Isabel Rivera Ruiz

I. Introducción

Sistema de Control Industrial (ICS, por sus siglas en inglés) es un término que engloba una colección de varios instrumentos de control que habitualmente incluyen elementos como Supervisión, Control y Adquisición de Datos o Controlador Lógico Programable (SCADA y PLC respectivamente, por sus siglas en inglés). La función de dichos sistemas consiste en operar dispositivos físicos, como sensores o actuadores en procesos físicos pertenecientes a la industria.

Hasta hace unos años, estos ICS se encontraban aislados, lejos de cualquier comunicación con una red externa. Sin embargo, la llegada de la llamada Industria 4.0 ha provocado un cambio en esta situación. Se ha creado un entorno de digitalización de las empresas, del que surge la necesidad de obtener información de estos sistemas de forma instantánea para analizar su funcionamiento y extraer conclusiones enfocadas hacia una rápida y eficaz toma de decisiones. Como consecuencia, se ha desarrollado una interconexión de ICS con los sistemas IT (*Information Technology*) de dichas empresas a través de redes de comunicación [1], permitiendo una inmediata transmisión de datos.

A pesar de los posibles beneficios que pueda suponer una red de ICS interconectados, aparecen potenciales peligros asociados a la ciberseguri-

dad. Los ICS dejan de ser sistemas físicos, para convertirse en sistemas ciber físicos, al tiempo que la protección que suponía su aislamiento físico de la red desaparece por completo. Es por ello que surgen vulnerabilidades que han puesto los ICS en el punto de mira de hackers, empresas competidoras o incluso organizaciones terroristas [2].

La cuarta revolución industrial ha derivado en una transformación tecnológica que pasa por la integración de los sistemas IT/OT (*Information Technology/Operations Technology*) haciendo frente a nuevas vulnerabilidades y amenazas. Para llevar a cabo dicha integración de manera segura, no se puede pasar por alto una adecuada implementación de ciberseguridad en los ICS. Esta es la única manera de asegurar que la industria del futuro pueda alcanzar nuevos objetivos garantizando un funcionamiento libre de riesgos y vulnerabilidades en el ámbito de las comunicaciones y los ICS.

Por ello, la Cátedra de Industria Conectada ha impulsado esta línea de investigación en ciberseguridad en entornos industriales con la intención de aportar un poco más de conocimiento sobre las principales técnicas e iniciativas llevadas a cabo en este campo. Asimismo, ayudará a sentar unas bases que permitan a las empresas avanzar hacia una digitalización segura. Así, el presente

artículo se organiza de la siguiente manera: la sección II expone el contexto actual del problema en cuestión y cómo afecta a la implementación de la Industria 4.0 en sectores industriales. En la sección III se presenta la metodología que se llevará a cabo para conocer más a fondo la situación actual de ciberseguridad en la industria española y el nivel de integración de sistemas IT/OT en empresas pertenecientes a dicha industria. Por último, la sección IV propondrá futuras líneas de trabajo que permitan trazar nuevas iniciativas de ciberseguridad industrial.

II. Contexto

En este apartado se presenta un análisis del contexto actual de la industria de infraestructuras críticas y manufacturera en lo relativo a integración del entorno IT/OT y sus implicaciones en la ciberseguridad.

En primer lugar, cabe destacar que gran parte de las vulnerabilidades encontradas recaen en los distintos elementos que integran la parte de control. El principal problema radica en la coexistencia de modelos fuera de catálogo con los nuevos productos. Esto conlleva en muchos casos la imposibilidad de actualizaciones, brechas de seguridad e incompatibilidades entre dispositivos y comunicaciones. Cabe destacar que gran cantidad de las vulnerabilidades presentes un ICS recae en los protocolos de comunicación empleados en la conexión de los distintos dispositivos. Algunos protocolos de comunicación empleados, como Modbus, DNP3 o Profibus, no fueron originalmente diseñados teniendo en cuenta la seguridad [4]. Uno de los protocolos que ofrece mayores garantías en la seguridad de las comunicaciones en entornos industriales es OPC UA [5]. Actualmente es el protocolo que se está imponiendo debido a su compatibilidad con diferentes sistemas operativos y productos existentes, el cifrado de las comunicaciones y la posibilidad de conexión de sensores y PLCs con el sistema MES y SCADA [5].

En segundo lugar, la madurez de seguridad presente en un sistema industrial también depende de las tecnologías de la información (IT) y de opera-

ciones (OT) empleados. Dentro de los sistemas IT se encuentra el software *Enterprise Resource Planning* (ERP) encargado de la gestión económica. Por otro lado, la parte OT está constituida por el software *Manufacturing Execution System* (MES), encargado de la gestión de la producción de la planta. Tanto el software MES y ERP como la conexión entre ambos supone para muchas industrias un punto débil en su seguridad. A través de estas configuraciones se puede acceder a redes internas para causar ciberataques, como interrupción de comunicaciones o alteración de datos.

El principal problema en la securización del entorno de control industrial radica en que se han intentado extrapolar los sistemas de protección de las estructuras IT a los elementos OT. Mientras que el objetivo de la seguridad de los sistemas IT consiste en garantizar la no filtración de información, la seguridad del entorno OT tiene por misión proteger procesos industriales de una manipulación física [6].

Finalmente, aunque este trabajo no se centra en la seguridad del mundo IT, esta tiene una gran relevancia. Muchos de los ataques a los sistemas de control son perpetrados desde los sistemas IT, a partir de los cuales se accede a los niveles inferiores pudiendo no solo extraer información confidencial, sino también manipular el proceso físico. Estos ciberataques pueden conllevar enormes pérdidas económicas e incluso humanas.

Para evitar mezclar realidades diferentes, hemos analizado por separado la situación de las industrias que gestionan infraestructuras críticas de la industria manufacturera.

Infraestructuras críticas

La complejidad a la hora de securizar los sistemas de control industriales es estos sectores radica principalmente en tres motivos [3]:

- La necesidad de mantener la integridad y funcionalidad del sistema.
- Son procesos estratégicos cuyas paradas para actualizaciones y mejoras deben estar debidamente planificadas.
- La vida media de un ICS es de 15 a 20 años, lo cual conlleva en muchos casos su desactualización.



La integridad, seguridad y correcto funcionamiento de un determinado proceso industrial cobra especial importancia cuando se trata de una infraestructura crítica. Estas industrias se encuentran reguladas bajo estrictas leyes y normativas. De acuerdo con la ley 8/2011, de 28 de abril, publicada en el Boletín Oficial del Estado por la que se establecen medidas para la protección de las infraestructuras críticas (de aquí en adelante, Ley de Protección de Infraestructuras Críticas), se define como tal "todas aquellas infraestructuras estratégicas cuyo funcionamiento es indispensable y no permite soluciones alternativas, por lo que su perturbación o destrucción tendría un grave impacto sobre los servicios esenciales". Por otro lado, a nivel europeo se encuentra en la Directiva 2008/114/CE del Consejo, de 8 de diciembre de 2008, sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección donde se define una infraestructura crítica europea (ICE) toda aquella "situada en un Estado miembro de la Unión Europea (UE) cuya perturbación afectaría gravemente al menos a dos Estados miembros". Estas normativas regulan industrias como el transporte y la energía. Por ejemplo, una interrupción de los servicios de distribución de eléctrica de un país europeo podría afectar severamente a estados vecinos debido a la interconexión de líneas. El ataque a una determinada infraestructura crítica puede llevar asociado un fallo en cadena de otras industrias determinantes para el correcto funcionamiento de un estado. Este fenómeno corresponde a la llamada Interdependencia entre Infraestructuras Críticas. De este modo, un ataque al sistema eléctrico de un estado miembro de la UE llevaría asociado no solo un fallo en la distribución de electricidad en países limítrofes, sino también una afectación severa de los servicios de transporte, telecomunicaciones e industria petroquímica.

A nivel nacional, los organismos oficiales encargados de ofrecer soluciones, medidas de protección y redacción de normativa en materia de ciberseguridad en Infraestructuras Críticas son el Instituto Nacional de Ciberseguridad (INCIBE) [7] y el Centro Nacional de Protección de Infraestructuras y Ciberseguridad (CNPIC) [8].

En el ámbito europeo cabe resaltar la labor realizada por la European Union Agency for Network and Information Security (ENISA) [9]. Su actividad consiste en desarrollar, junto con los estados miembros y empresas privadas, estrategias para la mejora de la ciberseguridad de las industrias europeas.

Entre los estándares desarrollados más importantes con el objetivo de unificar criterios de seguridad y comunicaciones en los ICS se encuentra el estándar ISA/IEC 62443 [10], el cuál se centra en la parte de automatización y control de sistemas. Constituye el mayor esfuerzo a nivel internacional con el objetivo de mejorar la ciberseguridad en los ICS [11]. También cabe destacar el estándar ISO-27002 [12], siendo uno de los más implementados en las arquitecturas de control industriales.

Las infraestructuras críticas españolas gozan de gran madurez en materia de ciberseguridad. La digitalización de los procesos industriales críticos ha ido acompañada de una gran inversión en seguridad. Pese a la dedicación de recursos, el enfoque sigue siendo muy conservador. En un futuro, se espera avanzar en la incorporación de funcionalidades relacionadas con la conectividad exterior de los sistemas sin incurrir en riesgos significativos.

La legislación vigente ha constituido el punto de partida hacia la securización completa de estas industrias. Por otro lado, la creación de organismos estatales encargados específicamente de la redacción de normativas y asesoramiento en materia de ciberseguridad, como el INCIBE [7] o el CNPIC [8], han jugado papeles esenciales en la reducción de los riesgos de la industria 4.0.

Industria manufacturera

Cabe destacar que la inversión en ciberseguridad de las infraestructuras críticas se ha convertido en un referente para la industria manufacturera. Los procesos industriales cuyos sistemas de control no se encuentran recogidos dentro la Ley de Protección de Infraestructuras Críticas, todavía se encuentran en un proceso de transición en la securización de sus arquitecturas. Aunque encontramos ejemplos de industrias cuya digitalización ha

ido acompañada de una clara inversión y concienciación en materia de ciberseguridad, la mayoría de las industrias manufactureras medianas, e incluso algunas grandes, no han implementado una hoja de ruta definida en este ámbito.

La industria manufacturera se encuentra relativamente atrasada en cuanto a ciberseguridad se refiere con respecto a la industria de infraestructuras críticas. Esto en principio se debe a que las empresas de infraestructuras críticas suelen estar sometidas a una regulación más exigente por parte del Gobierno, dada la relevancia del producto que comercializan, así como la peligrosidad que supondría un posible ataque a sus instalaciones. En términos de daños físicos, las consecuencias de un ataque a una infraestructura crítica serían más graves que a una instalación manufacturera. Por este motivo, las empresas manufactureras no se han visto especialmente obligadas a reforzar sus sistemas de seguridad, al menos desde el punto de vista de la regulación. Dicho esto, es cierto que algunas empresas de este sector han decidido empezar este proceso de securización para no quedarse atrás.

Para entender mejor el contexto del sector manufacturero español, se ha decidido categorizar a sus empresas en función de su nivel de integración de sistemas IT/OT, teniendo en cuenta la ciberseguridad en el proceso. De menos a más avanzado, se han construido tres perfiles que se presentan a continuación:

• Perfil 1

Las empresas que se encuentran dentro de este perfil no solo no tienen medidas de seguridad en su entorno OT, sino que incluso podrían no tenerla suficientemente desarrollada en su entorno IT. Para poder llevar a cabo una integración segura entre estos dos entornos, se tendría que realizar un proyecto de gran envergadura para el que actualmente no están preparadas, ya sea por motivos organizativos o financieros. Su principal apoyo en términos de ciberseguridad es el *air-gap* entre sus sistemas IT/OT, que les protege de ataques remotos en la planta, pero les impide aprovechar todas las ventajas analíticas de la Industria 4.0.

• Perfil 2.

En este caso estaríamos frente a empresas que tienen los medios necesarios para llevar a cabo una integración de sus sistemas IT/OT pero que aún no han llevado a cabo ninguna transformación digital en ese sentido. Uno de los principales motivos para esto es que no se tenga la confianza necesaria en sus recursos para desarrollar una integración de forma segura. Es por eso que por el momento son cautas en este sentido, pero son conscientes de que deberán llevar a cabo este paso porque necesitan adaptar su fabricación a las nuevas tecnologías si quieren mantenerse competitivas. Otro de los motivos que les hace esperar, es el hecho de que tienen maquinaria y equipos con mucha vida útil que aún no han amortizado y cuya sustitución por otros más modernos no sería económicamente favorable. También podrían estar esperando a que se desarrollen y estandaricen tecnologías que faciliten la integración segura de sus sistemas IT/OT. Este podría ser el caso de los protocolos OPC UA, que como se mencionó anteriormente, se presentan como el futuro estándar de comunicación industrial que acabará con la heterogeneidad de protocolos actual.

• Perfil 3.

Las empresas asociadas a este perfil son las más avanzadas en lo relativo a la integración de sus sistemas IT/OT manteniendo un cierto nivel de seguridad. Son empresas de gran tamaño que cuentan con un fondo de maniobra lo suficientemente grande para poder llevar a cabo una inversión que les permita conectar sus redes industrial y corporativa y mantener la seguridad en ambas. Además, su facturación y relevancia en sus sectores es tal, que no sólo son conscientes de los beneficios que la Industria 4.0 les podría aportar, sino que los consideran necesarios para mantenerse a la cabeza en sus respectivos sectores. Asimismo, precisamente su perfil de empresa líder en su sector les convierte en los principales objetivos de ataques provenientes de empresas de la competencia por motivos como el espionaje industrial. Es por ello que ya han emprendido iniciativas seguras para adaptarse al *smart manufacturing*.



III. Metodología propuesta

La metodología propuesta tiene por objetivo obtener patrones comunes y recurrentes en materia de ciberseguridad de los sistemas de control industriales en España. El desarrollo de esta investigación se justifica por la incorporación del estándar ISA-95[13] a los sistemas de control industriales. Una arquitectura típica basada en dicho estándar estaría dividida en cuatro niveles que integran comunicaciones tanto verticales como horizontales, es decir, entre distintos niveles y entre elementos del mismo nivel, respectivamente. Dichos niveles serían los siguientes [14]:

1. Control del proceso. Incluye los sensores, actuadores y PLCs. Dentro de este nivel encontramos los nodos esclavos (RTU), encargados de mandar información, recibir y ejecutar órdenes del nodo maestro (MTU) situado en el nivel 2.
2. Supervisión y monitorización. En esta capa se encuentra el SCADA, que actúa como MTU. Es el encargado de la recolección de datos y toma de decisiones. La interacción entre el proceso con los operadores de planta se realiza a través de la *Human-Machine Interface* (HMI).
3. Gestión de la producción. Destaca el software MES y el *Historian*, base de datos donde se almacenan los parámetros recolectados del proceso industrial monitorizado.
4. Gestión de recursos económicos, logísticos y comerciales. Se encuentra el software ERP.

Por el momento, la implementación del modelo ISA-95 está en progreso en un gran número de empresas e incluso aún no se ha iniciado en

otras. Sin embargo, según avance la digitalización y la introducción de los elementos IoT, el modelo ISA-95 acabará siendo sustituido por uno totalmente descentralizado, que permitirá la comunicación entre cualquiera de los niveles. Dicho modelo se muestra en la Figura 2.

Pero por el momento, para llevar a cabo una investigación que permita conocer el estado de integración del estándar ISA-95 en la industria española, se está desarrollando una encuesta que se pretende difundir entre un número significativo de industrias. La encuesta se divide en 5 partes, cada una de ellas se centra en un nivel del estándar ISA-95. Se ha incluido un nivel inicial 0, tratándose del propio proceso industrial, sensores y actuadores. El objetivo de cada parte es obtener una idea general de los elementos que integran cada nivel, para ello se pregunta por fabricantes, protocolos de comunicación empleados tanto en comunicaciones horizontales como verticales. También se hace referencia al almacenamiento de los datos recogidos por los distintos dispositivos.

El lanzamiento de la encuesta, junto con la realización de una serie de entrevistas permitirá analizar el estado de integración de sistemas IT/OT de las empresas, así como el nivel de implicación de ciberseguridad en dicha integración. Concretamente, se espera obtener una visión más clara de la industria manufacturera, dado que al no estar sometida a tantas regulaciones como la de infraestructuras críticas, no se dispone de tanta información sobre ella.

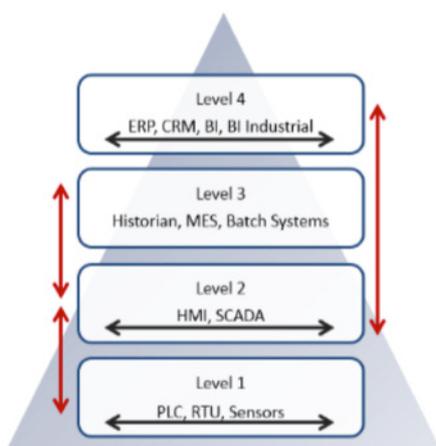


Figura 1. Niveles del estándar ISA-95 [14]

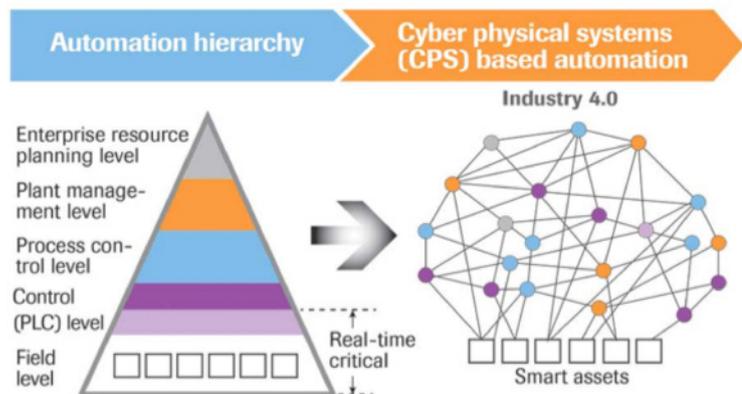


Figura 2. Transformación del modelo ISA-95 a un modelo hiperconectado [15]

IV. Futuras líneas de trabajo

Actualmente, el principal objetivo de la investigación es el perfeccionamiento de la encuesta, previo a su lanzamiento y análisis de las conclusiones que esta permita extraer. La obtención de respuestas por parte de un número significativo de industrias servirá para describir los patrones más recurrentes en la implementación de la ciberseguridad en los sistemas de control industriales. Esto permitirá dirigir la atención hacia los puntos que requieran soluciones con mayor urgencia.

Por otro lado, también se espera que los resultados de la encuesta supongan un punto de partida en la concienciación de futuros profesionales de la industria en un tema tan importante como es la ciberseguridad. Si esta concienciación se integra no solo a nivel académico, sino también a nivel profesional, se estará trabajando hacia un futuro en el que la ciberseguridad se convierta en una especificación de diseño que se tenga en cuenta desde el primer momento del proceso de transformación digital.

Por último, desde la Universidad se pretende trabajar en iniciativas que contribuyan a mejorar la seguridad de los sistemas de control industriales. Entre estas, destacan dos:

- El desarrollo de un banco de pruebas virtual o *Testbed*. Consiste en simular una arquitectura de control, tanto *Hardware* y *Software* como protocolos de comunicación, así como el proceso físico monitorizado. La finalidad de la *Testbed* sería realizar pruebas para obtener un resultado empírico acerca de la robustez de las medidas de seguridad del sistema de control sin poner en peligro la integridad de la infraestructura real.
- La creación de un sistema de detección de intrusiones. Se basaría en un sistema de inteligencia artificial que sea capaz de aprender a determinar cuál es el funcionamiento normal de la red cuando se cree que esta no está siendo sometida a un ataque y alertar en caso de que el comportamiento de esta se desvíe de la norma.

Referencias

- [1] V. S. Koganti, M. Ashrafuzzaman, A. A. Jillepalli and F. T. Sheldon, "A virtual testbed for security management of industrial control systems," *2017 12th International Conference on Malicious and Unwanted Software (MALWARE)*, Fajardo, 2017, pp. 85-90. doi: 10.1109/MALWARE.2017.8323960
- [2] Morris, Thomas & Alves, Thiago & Das, Rishabh. (2016). Virtualization of Industrial Control System Testbeds for Cybersecurity. 10.1145/3018981.3018988.
- [3] S. McLaughlin et al., "The Cybersecurity Landscape in Industrial Control Systems," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 104, no. 5, pp. 1039-1057, May 2016. doi: 10.1109/JPROC.2015.2512235
- [4] N. Tuptuk and S. Hailes, "Security of smart manufacturing systems," in *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 47, pp. 93-106, 2018. doi: 10.1016/j.jmsy.2018.04.007.
- [5] INCIBE. "Estandarización y seguridad en el protocolo OPC UA". Blog de INCIBE-CERT. <https://www.incibe-cert.es/blog/estandarizacion-y-seguridad-el-protocolo-opc-ua> (acceso: 24 de junio de 2019)
- [6] OSIsoft webinar. *The Growing Ecosystem for OT Security*. (15 de mayo de 2019). Acceso: 24 de junio de 2019. [Video en línea]. Disponible en: https://explore.osisoft.com/c/the-growing-ecosyste?mkt_tok=eyJpIjoiTnpRellXRmxZVGMmYm1VeSIsInQiOiJzV1QzMI VibGhDeGE4dExPY0xiK0FQK1pXS2xCQUE2K2E5U3ZnZ3Q5OHk5bUVISlpmVGd5cVpibFVkcmlFuTzdxYko4WFZSVVTR1VmdGNPWWU4WnJOK1wvdEp3T3BOUGIEVHVXTzVJZkr2eVhENmNrtXRUUHdrcVRPQklyNVhrUHMifQ%3D%3D&x=CwklHk
- [7] Instituto Nacional de Ciberseguridad (INCIBE). <https://www.incibe.es> (acceso: 24 de junio de 2019)
- [8] Centro Nacional de Protección de Infraestructuras y Ciberseguridad (CNPIC). <http://www.cnpic.es> (acceso: 24 de junio de 2019)
- [9] European Union Agency for Network and Information Security. <https://www.enisa.europa.eu/about-enisa> (acceso: 24 de junio de 2019)
- [10] New ISA/IEC 62443 standard specifies security capabilities for control system components. <https://www.isa.org/intech/201810standards/> (acceso: 24 de junio de 2019)
- [11] Centro de Ciberseguridad Industrial (CCI), "La protección de infraestructuras críticas y la ciberseguridad industrial," Oct 1, 2013.
- [12] El portal de ISO 27002 en Español. <http://iso27000.es/iso27002.html> (acceso: 25 de junio de 2019)
- [13] ISA-95, Enterprise-Control System Integration. <https://www.isa.org/isa95/> (acceso: 24 de junio de 2019)
- [14] European Union Agency for Network and Information Security (ENISA), "Communication network dependencies for ICS/SCADA Systems," December 2016. doi: 10.2824/397676
- [15] Food engineering. Último acceso el 27 de junio de 2019. <https://www.foodengineeringmag.com/articles/97066-industry-40-network-architecture-relies-on-interconnectivity>.



2. INVENTARIO AUTÓNOMO CON DRONES

Esta línea se ha puesto en marcha para aprovechar la infraestructura para el vuelo de drones de la ESTH-ICAI para probar y demostrar técnicas y tecnologías asociadas con la industria conectada. En el horizonte, el objetivo de esta investigación es poder realizar de manera autónoma el inventariado de un centro productivo o de un almacén en general.

En esta línea de trabajo multidisciplinar, confluyen estudiantes interesados en el diseño seguro de los drones (tienen que compartir espacios con humanos), otros que contribuyen en el diseño del sistema de localización, o en la implementación de técnicas de detección de activos mediante visión artificial o con otras tecnologías.

A continuación, mostramos el punto en el que se encuentran los trabajos de esta línea.

► DRONES PARA INVENTARIADO

Becas asignadas

Julio Labora Gómez e Inés Arnaiz Lázaro-Carrasco: Localización mediante referencias externas

Enrique Manuel Alejo Álvarez: Posicionamiento Ultra Wide Bandwith

Carmen Jiménez Cortés: Navegación

I. Navegación

A. Mejoras Hardware

Durante el pasado verano de 2019 se puso de manifiesto la gran necesidad que había de diseñar una placa que integrara todos los sensores y actuadores del dron, para así reducir los tiempos de montaje y las posibles reparaciones que fueran necesarias. Actualmente se dispone de una primera tarjeta funcional que ya está integrada en el dron y se está terminando de diseñar la nueva versión, que reduce el tamaño de su antecesora en

un 45%. Los diseños KiCAD de dichas tarjetas se muestran en las figuras 1 y 2.

También se ha diseñado en 3D una estructura totalmente personalizada para la tarjeta y se está trabajando en nuevas versiones para la nueva tarjeta más pequeña y para conseguir que el dron sea totalmente modular. Gracias a estas mejoras, no solo se ha mejorado la calidad del vuelo manual, puesto que se puede diseñar previo a su montaje la distribución de los componentes y así

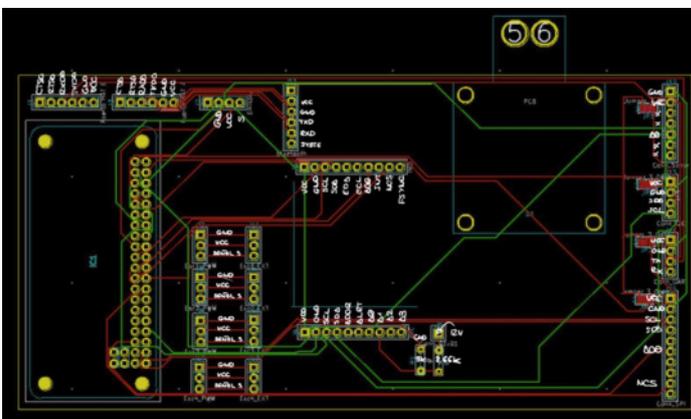


Figura 1: Diseño KiCAD de la tarjeta actualmente implementada en el dron

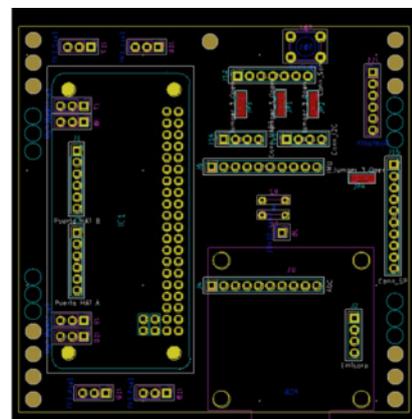


Figura 2: Diseño en KiCAD de la nueva versión de la tarjeta

conseguir centrar el centro de masas, sino que también se ha conseguido que el proceso del montaje del dron sea mucho más simple y suponga un tiempo significativamente menor. La apariencia actual del dron se puede ver en las figuras 3, 4 y 5.



Figura 3: Vista del dron



Figura 4: Vista en planta del dron

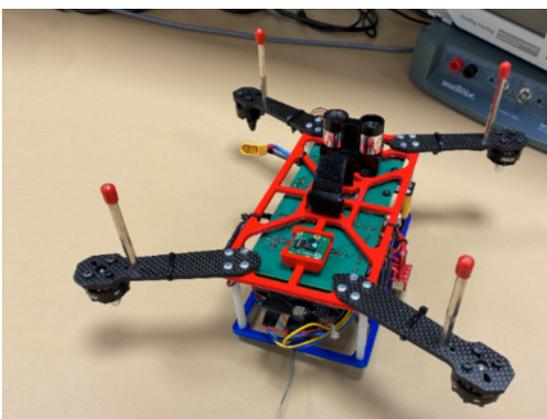


Figura 5: Vista inferior del dron

B. Mejoras Software

El sistema de vuelo también ha sido modificado. Se ha modificado parte de la estrategia de control para vuelo manual, lo que ha resultado en un vuelo mucho más suave y controlado. También se han realizado cambios en el sistema de control para vuelo autónomo, que va a ser probado en las siguientes semanas. Finalmente, se ha comenzado a parametrizar todo el software del dron para que pueda ser modificado directamente desde el PC, sin necesidad de volver a volcarlo en la Raspberry Pi del dron, para así agilizar también los tiempos de espera entre las modificaciones que se realizan durante los ensayos.

II. Localización mediante referencias externas

Para que un dron sea completamente autónomo es necesario que este conozca su posición y orientación respecto a un sistema de coordenadas en todo momento. Para ello, es necesario que esté recopilando información constantemente, tanto de los movimientos del propio dron como del medio que lo rodea. Esto último es imprescindible debido a que los sistemas de medición del dron tienen un cierto error, que, aunque sea muy pequeño, se acumula a lo largo del tiempo. Debido a esto el dron necesita contrastar estas medidas con las del medio en el que navega y requiere de sensores y algoritmos que sean capaces de obtener información de dicho medio.

En este caso, se ha empleado una cámara montada sobre el dron que se encuentra orientada verticalmente hacia abajo. La función de esta cámara es fotografiar continuamente el suelo, el cual dispone de referencias visuales que el dron utiliza para localizarse en tiempo real.

Para una primera aproximación, las referencias que se han elegido son 3 cuadrados colocados en forma de "L" y de distintos colores. El algoritmo de identificación de imágenes de la cámara es capaz de identificar los centros de estos cuadrados. Con estos tres puntos del plano del suelo es capaz de calcular las ecuaciones de los ejes de coordenadas del sistema de referencia del mundo. El motivo de que se hayan elegido figuras cuadradas es que la identificación de los bordes es más sencilla con polígonos que con curvas (si se hubieran elegido, por ejemplo, círculos) y ade-



más la simetría de los cuadrados simplifica tanto la disposición en el suelo de las referencias visuales como la identificación de la forma geométrica en concreto.

De la misma forma, la diferenciación en colores permite simplificar el procesado de imágenes cuando el dron fuera a detectar al mismo tiempo varios conjuntos de referencias visuales o en aquellos en casos en que la inclinación del dron (y por tanto de la cámara) supere los pocos grados. Los colores que se han elegido son rojo, verde y azul porque en el espacio de color utilizado, el HSL, este conjunto minimiza la probabilidad de confusión entre ellos en presencia de niveles reducidos o elevados de luminosidad.

fica cada píxel de la imagen en función de los grupos a los que pertenece. En este caso dichos grupos son los cuadrados rojo, verde y azul, y el resto de la imagen (píxeles que no pertenecen a ningún cuadrado). Para ello, tiene en cuenta los parámetros del espacio de color HSL de los píxeles y los compara con los auténticos colores de las referencias visuales del suelo.

Para esta clasificación se tienen en cuenta posibles variaciones de *Hue* y *Saturation*, aunque estas son bastante reducidas; y, sobre todo, de *Luminosity*, la cual sí que varía bastante con el entorno. Sin embargo, debido a las propiedades del espacio HSL es fácil aislar la variación asociada a los cambios de iluminación, lo que permite que el algoritmo sea robusto en una variedad de entornos. Una vez clasificados los píxeles, se identifican los 3 cuadrados y se determinan las coordenadas de sus centros, con las que posteriormente se calculan los ejes de coordenadas y la ubicación del dron respecto de estos.

En la siguiente figura se puede apreciar cómo, después de pasar la primera imagen (7) por el algoritmo, se obtiene la segunda figura (8) con los centros de los cuadrados totalmente definidos. El cuadrado dibujado en el centro es una referencia visual representada por varios píxeles, pero en el cálculo se obtiene un único píxel.

Todo lo explicado anteriormente se ha llevado a cabo por medio del módulo de cámara para Raspberry Pi, que se encuentra ubicada en la parte inferior del dron, Figura 5.

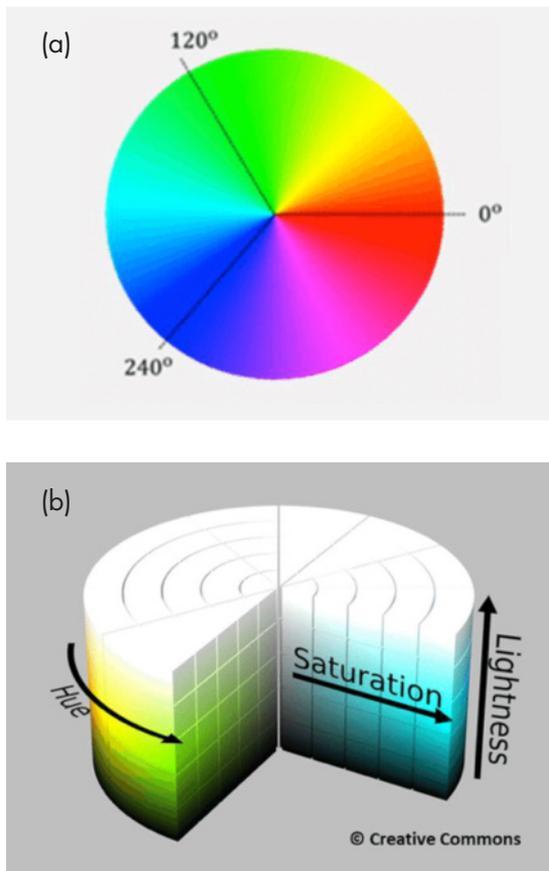


Figura 6: (a) Colores empleados en los cuadrados. (b) Representación del espacio de color HSL

Para la detección e identificación de los distintos cuadrados se ha empleado un algoritmo que analiza las imágenes tomadas por la cámara y clasi-

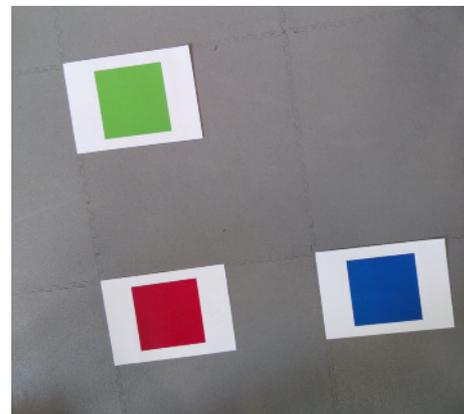


Figura 7: Imagen de prueba con los tres cuadrados

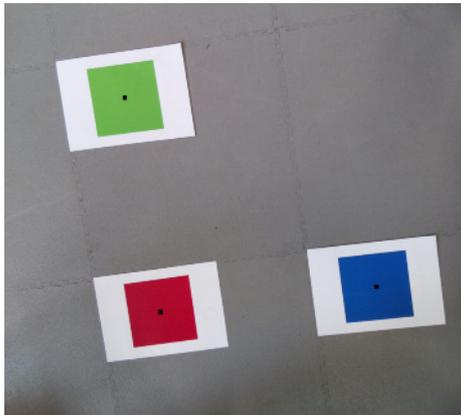


Figura 8: Resultado del algoritmo empleando la Figura 7. Imagen de prueba con los tres cuadrados

III. Localización por Ultra Wide Bandwidth (UWB)

Para el vuelo autónomo, es importante localizar con mucha precisión la posición del dron. En este apartado, se explora la tecnología UWB, y los avances que se han llevado a cabo en este proyecto.

El funcionamiento de UWB es simple. Funciona mediante un sistema de triangulación. Un mínimo de cuatro dispositivos (anchors) se disponen en un interior. Mediante un pulso de tan solo 0,16 ns (de ahí la necesidad de una banda de 500 MHz), se puede llegar a localizar el receptor (tag) con una precisión mayor a los 10 cm.

El sistema empleado para el dron es producido por Pozyx (pozyx.io). El trabajo que se ha realizado con este sistema es el siguiente:

A. Puesta en marcha del sistema

En primer lugar, se comprobó el funcionamiento del sistema y se verificó que precisión se podía conseguir. Los 4 anchors disponibles se configuraron y colocaron en el laboratorio de control de tal

manera que los cuatro puntos no coincidiesen en un plano, estuviesen a alturas variadas, y lejos de objetos metálicos. Conectando el tag al ordenador, y comunicándonos con él mediante Python, se probaron distintos filtros, canales de banda ancha y algoritmos de triangulación para conseguir una precisión de unos 20 cm en los tres ejes de posicionamiento. Con movimientos lentos, se puede observar incluso mayor precisión.

B. Comunicación con el dron

El problema de este sistema es que, para programar el tag, hay que estar conectado a él con un ordenador. Esto no sirve para localizar el dron. La primera solución que se pensó consistía en dejar un tag móvil, que este tag se conectase a un segundo tag por comunicación mediante UWB. Este segundo tag está conectado al ordenador, y del ordenador se pasan los datos al dron por Wi-Fi. Este método funciona, pero el proceso es muy lento, complicado, y hay demasiado retardo en la comunicación.

Actualmente, se acaba de desarrollar un sistema centralizado en el dron. Consiste en sacar la información del tag mediante un Arduino, y pasarla a la Raspberry Pi (controlador principal) mediante una comunicación SPI. Usando la librería que proporciona Pozyx de Arduino, y diseñando una comunicación por interrupciones y buffers para que la Raspberry Pi pueda funcionar como el maestro de la comunicación SPI, se consigue que los datos del tag lleguen al controlador principal y este pueda controlar su posición. Actualmente, se está trabajando en mejorar la precisión del sistema de localización, ya que las peculiaridades de la librería de Arduino hacen que la forma de optimizar el sistema sea distinta que por la conexión en Python. En la figura 9 se muestra el sistema actual de comunicación:

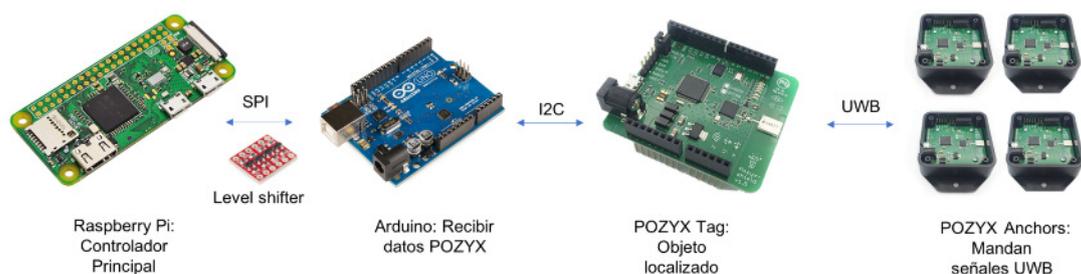


Figura 9: Sistema de comunicación empleado con UWB



3. CONTROL DE UN ROBOT INDUSTRIAL MEDIANTE APRENDIZAJE POR REFUERZO

Con esta línea impulsamos el diseño de agentes inteligentes, centrando el foco en sistemas industriales. De nuevo, pretendemos aprovechar y potenciar la infraestructura de la ETSI-ICAI para poder probar soluciones avanzadas digitales en un laboratorio representativo de la realidad industrial. En este caso, en la mini-fábrica de ICAI con un robot industrial de seis ejes.

En este primer acercamiento al diseño de agentes artificiales mediante técnicas de aprendizaje por refuerzo (RL por sus siglas en inglés), ponemos el acento en conseguir un primer diseño fiable de un sistema de control industrial en un medio virtual para después transferirlo al sistema real y simplemente afinarlo. Para ello, nos apoyamos en el entorno Robot Studio de ABB, que incluye un modelo virtual detallado de los robots del laboratorio, y además en el entorno OpenAI Gym.

El objetivo de este proyecto de RL consiste en conseguir que el robot realice una operación de pick & place sin variar el tiempo de ciclo, pero minimizando el consumo energético. Por lo tanto, perseguimos que el agente encuentre la manera de llevar la pinza de un punto a otro desplazando de manera óptima los ejes en términos de consumo de energía.

Nótese que en este primer proyecto aún utilizamos variables explícitas del entorno (ángulos de los ejes, velocidades, etc.) para concentrar los esfuerzos en el dominio de las técnicas de RL en sí. En el futuro, el objetivo se desplazará a aprender a realizar varias tareas a partir de la información recogida por una o varias cámaras en el entorno del robot (enfoque Deep RL).

A continuación, mostramos el estado de avances de este proyecto.

► IMPLEMENTACIÓN DE APRENDIZAJE POR REFUERZO EN ROBOT ABB IRB120

Marcos Ventosa, Javier Jarauta, Gonzalo Jiménez, Luis Navarro

I. Introducción

El objetivo de este documento es la descripción del desarrollo de dos proyectos enfocados a la implementación de aprendizaje por refuerzo en el robot ABB IRB120 de la minifábrica de ICAI. El primer proyecto que se llevó a cabo es la implementación de aprendizaje por refuerzo para lograr que el brazo robótico aprendiera a llegar de un punto a otro esquivando un objeto. El objetivo del segundo, el cual está actualmente en desarrollo, es que el robot aprenda a llegar de un punto a otro optimizando el consumo energético. Para ello, se ha desarrollado código tanto en Python como en Rapid (RobotStudio).

Los principales componentes que hay que definir en un problema que se resuelva por aprendizaje por refuerzo son el estado, las acciones y las recompensas.

El estado está formado por todas las variables que representan la situación del agente y del entorno. Esta información es la que el agente necesita para ser capaz de aprender.

Las acciones son las diferentes posibilidades de actuación que tiene el agente para intentar obtener una recompensa máxima. El agente decide la acción a partir del estado de ese momento, no es recomendable que se base en estados pasados, por eso el estado tiene que definir totalmente la situación actual del agente y el entorno.

La recompensa es lo que permite que el agente aprenda. Se calcula a partir del entorno cada vez que el agente realiza una acción. Esta recompensa es una variable numérica, la cual puede provenir de una función compleja o puede ser algo tan sencillo como un valor de -1 en todos los estados que no sean el final y un valor de 0 en el estado final.



Gran parte de los modelos de aprendizaje por refuerzo se basan en Q-learning, que a su vez se cimienta sobre la ecuación de Bellman. Este algoritmo da un valor a una función Q^* para cada acción "a" en un determinado estado "s". El agente tomará la acción que tenga un mayor valor Q en el estado que el agente se encuentre.

$$Q^*(s, a) = \mathbb{E}_{s' \sim P} [r(s, a) + \gamma \max_{a'} Q^*(s', a')]$$

Ecuación 1. Ecuación de Bellman

El valor $Q^*(s, a)$ se actualiza cada vez que se pase por ese estado y se tome esa acción. De este modo, el nuevo valor de $Q^*(s, a)$ será una recompensa para ese estado más el máximo valor de Q^* para el estado siguiente y según la acción que más valor tenga. Este último término se multiplica por un factor de descuento y que controla si el agente se enfoca más en obtener mucha recompensa a corto o largo plazo. Esta variable siempre tiene que ser menor que 1 y mayor que 0. Este último sumando es el que per-

mite que la recompensa se "propague" a estados previos más adelante.

En Q-learning el agente inicialmente toma acciones de forma aleatoria pero, de forma progresiva, estas acciones dejan de ser aleatorias y se toman en función de los valores Q para conseguir una convergencia más rápida.

II. Aprendizaje para esquivar objetos

Para este primer proyecto se planteó el siguiente objetivo: desarrollar un modelo de aprendizaje por refuerzo para su implementación en el brazo robótico IRB120 de la minifábrica de ICAI que le permita seleccionar la trayectoria a seguir entre dos puntos.

Para poder cumplir dicho objetivo, se llevó a cabo primero un estudio del estado del arte. Esto permitió comprender los principios del aprendizaje por refuerzo y seleccionar el algoritmo que mejor se adaptaba al problema por resolver. Además, se comprendió la estructura que debía seguir el proyecto: un agente que se comunica con un entorno, el cual se comunica a su vez con el brazo robótico mediante RobotStudio.

ENFOQUE

En primer lugar, se definieron los cuatro elementos principales a desarrollar para crear la inteligencia: los estados, las acciones, las recompensas y el algoritmo de aprendizaje.

A. Estado

Como ya se ha comentado previamente, el estado está formado por todas las variables que representan totalmente la situación del agente y del entorno. Para este problema el estado queda definido por la posición del punto final del brazo robótico en coordenadas cartesianas y el punto final al que tiene que llegar, también en coordenadas cartesianas.

B. Acción

La acción está formada por las diferentes opciones que tiene el agente para intentar llegar al objetivo. Cuando el brazo robótico lleve a cabo la acción, se llegará a un nuevo estado. En este



caso, la acción está formada por las variaciones del punto final del robot en coordenadas cartesianas. Esto implica que la acción estará formada por 3 variables diferentes que el agente debe aprender a modificar para llegar al objetivo que se le indique.

Las acciones de movimiento en este problema son continuas y no son excluyentes entre ellas, es decir, el agente puede decidir moverse en x , y , z al mismo tiempo, aunque sin poder desplazarse más allá de la frontera definida por una esfera de radio d respecto de su punto inicial.

C. Recompensas

En este problema el agente tiene un único objetivo: llegar a la posición final en el menor tiempo posible. Una forma de llevar esto a cabo es proporcionando una recompensa de -1 en cada paso y de 0 si llega a un entorno lo suficiente cerca del punto final. Esto hará que el agente quiera llegar al objetivo, ya que en caso de tomar dicha decisión maximizará la recompensa. No hace falta premiar que se llegue de forma rápida al objetivo, ya que gracias al factor de descuento de la ecuación de Bellman, las acciones que van a un estado más cercano del objetivo final tendrán valores Q más altos.

D. Algoritmo de aprendizaje

Tras el estudio de los diferentes algoritmos existentes, se decidió que los que mejor se adaptan a este problema son DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient) y DDPG+HER (Hindsight Experience Replay). Ambos han sido implementados por la empresa OpenAI. Debido a la complejidad de desarrollo de un algoritmo de inteligencia artificial y los buenos resultados que presentaban ambos algoritmos en las pruebas realizadas por OpenAI, se decidió usar el agente de dicha empresa.

Se realizaron pruebas con los dos algoritmos hasta llegar a la conclusión tras analizar los resultados obtenidos que el algoritmo que mejor se adaptaba a este problema era DDPG+HER.

DDPG se basa Q-learning siendo la función Q^* una red neuronal cuyas salidas son continuas y representan cada una de las diferentes acciones posibles.

El principal problema de usar DDPG aplicado a este problema con las recompensas establecidas como ya se ha comentado es que hasta que el agente no llegue al objetivo no va a aprender nada y, por tanto, el proceso de aprendizaje es muy lento. Aquí entra en juego HER, ya que básicamente permite que el agente pueda aprender todas las veces que se mueva y no solo las veces en las que llega al objetivo final. La forma de conseguir esto es dejar que el agente se mueva como quiera para llegar al punto final, pero si no lo consigue y llega a un número de pasos máximo, se recalculan todas las recompensas del intento cambiando el objetivo al punto en el que se ha quedado.

E. Desarrollo del entorno

Para el desarrollo del modelo se crearon varios entornos que se iban aproximando cada vez más al diseño final. En un inicio, se diseñó un entorno en dos dimensiones que permitía al agente aprender a llegar de un punto aleatorio a otro. Una vez comprendido los principios de funcionamiento, se desarrolló un modelo en tres dimensiones para posteriormente crear un entorno que fuera capaz de comunicarse con el brazo robótico. Además, previo a la implementación de la inteligencia en el brazo robótico, se implementó en el entorno virtual que ofrece RobotStudio. El entorno fue programado en Python.

Este elemento es el encargado de hacer que el agente sepa qué acciones son correctas y cuáles no lo son, de manera que tenga disponible la información necesaria para poder entrenar su red neuronal y aprenda así a resolver el problema que se le plantea. Este entorno se comunica con RobotStudio para poder obtener los datos de la posición del robot y para especificarle a qué puntos debe moverse en cada instante. RobotStudio tiene la capacidad de mediante comandos comunicarse con el robot, obtener los datos de su posición y poder especificarle una posición nueva. A parte, la herramienta RobotStudio posee la capacidad de determinar las posiciones válidas del brazo robótico, evitando posiciones incorrectas o fuera del rango.

Además de conectarse a dicho programa, el entorno debe tener constante comunicación con el

agente, el cual ha sido programado también en Python, ya que de esta manera será capaz de indicarle los resultados de las acciones que ha tomado, así como el estado en el que se encuentra el agente.

F. Programa en RobotStudio

De forma paralela a la creación del entorno, se creó un programa que permitiera definir en qué situación se encontraba el robot y especificarle a qué posición se debía desplazar. Este programa fue desarrollado en RobotStudio, el software de ABB que permite no solo comunicarse con el robot sino también simular virtualmente el brazo robótico en el ordenador.

Este programa en Rapid se comunica con el programa del entorno programado en Python para así recibir las coordenadas a las que se debe mover el robot y realizar el movimiento a la posición deseada por el agente. Así mismo, el programa de Rapid presenta una función de verificación de posiciones y confirmación del estado del robot. De esta manera, el programa en RobotStudio siempre que reciba una acción procede primero a la verificación de la posición y si es correcta procede a moverlo. En caso contrario envía un mensaje de error de vuelta al entorno. El programa también realiza la devolución de la posición actual del robot y de su estado.

A continuación, se empezó a observar cómo se realizaba el movimiento del robot en base a las acciones generadas por el agente y entregadas a la simulación a través del entorno de una manera simulada. A partir de ese momento, se pudo aplicar el algoritmo de aprendizaje a esta simulación y visualizar cómo el robot virtual iba aprendiendo a llegar de un punto aleatorio a otro de la forma más directa posible y optimizando el recorrido a medida que aprendía.

Una vez comprobamos que el robot virtual era capaz de converger en un aprendizaje, se guardaron los valores de la red neuronal generados durante el entrenamiento de dicho robot virtual y se procedió a la implementación en el robot real. Para ello, era necesario diseñar la comunicación entre el ordenador y el robot, siendo este aspecto tratado en el siguiente apartado.

G. Comunicación con el robot

Para dicha comunicación entre el ordenador y el robot físico, se planteó como primera solución utilizar Sockets. Esto permite comunicar de forma rápida y eficiente el programa de Python del entorno con el robot físico. Sin embargo, debido a la manera en la que está implementado el agente de OpenAI no fue posible llevarla a cabo.

Como alternativa a esta solución, se decidió comunicar el robot y el ordenador mediante la edición de archivos del servidor FTP del robot. De esta manera, tanto el robot como el ordenador tienen acceso a un archivo .txt del servidor FTP generado por el controlador del robot. Este archivo, puede ser leído por los dos dispositivos y a través de él se realiza la comunicación para el envío de información y acciones entre ambos. Aunque esta solución presenta una forma de comunicación más lenta y menos ortodoxa que por Sockets, permitió establecer una comunicación de forma correcta entre estos dos dispositivos.

Esta solución presenta una serie de salvaguardas para evitar la edición simultánea del mismo archivo por parte de los dos dispositivos que realizan de la comunicación y evitar conflictos. Aun así y a pesar de las mitigaciones, este sistema de comunicación se puede ver saturado. Es una solución poco recomendable y a mejorar en un diseño más avanzado del sistema de inteligencia artificial.

III. Proyecto para optimización de consumo energético

A diario, millones de robots son utilizados en fábricas para producir todo tipo de elementos. Un buen ejemplo de la utilización de los robots para la fabricación de productos en serie es la de los brazos robóticos. Estos brazos levantan piezas de gran peso, lo cual requiere una gran cantidad de potencia y, en consecuencia, un elevado consumo energético.

Este proyecto tiene como objetivo estudiar la posible reducción del consumo energético de un brazo robótico (ABB IRB120) mediante la aplicación de Aprendizaje por Refuerzo. El experimento consistirá en hacer que el robot llegue a una



posición, agarre un objeto situado en dicho lugar y lo mueva a un segundo punto especificado, para volver a repetir el proceso otra vez.

Para poder realizar dicho estudio, se creará un objetivo que el robot debe alcanzar; en primer lugar, éste lo resolverá utilizando los métodos convencionales de movimiento y, la segunda vez, empleando la inteligencia de ahorro de energía. De este modo, se podrá observar la comparativa en el consumo energético entre el caso convencional y el nuevo sistema de optimización de energía.

ENFOQUE

Para poder llevar a cabo este proyecto, se deben definir primero los cuatro elementos principales a desarrollar para crear la inteligencia: el estado, la acción, las recompensas y el algoritmo de aprendizaje.

A. Estado

En este caso el agente aprenderá, según en qué estado se encuentre, a seleccionar la acción apropiada para acabar llegando a su objetivo con el mínimo consumo. En este problema, el estado estará compuesto de 6 variables distintas, que serán las diferencias entre el ángulo actual de cada eje y el ángulo objetivo en los mismos: θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 , θ_5 y θ_6 .

B. Acción

La acción está formada por las diferentes opciones de actuación que tiene el agente para intentar llegar al objetivo con el mínimo consumo. Para el agente las acciones son las variaciones de los ángulos del brazo robótico.

Así pues, la acción consistirá de 6 posibilidades diferentes, que el agente debe aprender a modificar para llegar al objetivo que se le indique.

3. Recompensas

En el caso de este proyecto, el agente tendrá dos objetivos distintos: llegar a las posiciones especificadas y hacerlo con el menor consumo de energía posible. Debido a esto, se deben adaptar las recompensas para que el agente pueda aprender a conseguir ambos.

Una forma de llevar esto a cabo es proporcionando una recompensa de $-\text{consumo} \cdot \gamma$ en cada paso, y de 0 si llega al objetivo. Esto hará que el agente quiera llegar al objetivo, ya que en caso de tomar dicha decisión se le proporcionará una recompensa no negativa y, además, querrá optimizar el consumo, ya que así la recompensa será menos negativa.

C. Algoritmo de aprendizaje

Igual que en el proyecto de esquivar objetos, se va a utilizar DDPG+HER. Las razones son las mismas que en el proyecto anterior, DDPG permite tener una salida continua y HER permite que se llegue a una solución mucho más rápida.

D. Diseño de un Benchmark

Con el objetivo de ver el efecto de la aplicación de la inteligencia al robot, se han diseñado diversas campañas de medida para estimar un consumo medio de energía del brazo robótico sin algoritmos de aprendizaje por refuerzo. El objetivo no es solo ver que se ahorre energía, sino también que el tiempo en completar la secuencia no sea mayor que el que tardaría el robot sin la inteligencia.

Para estimar el consumo se realiza la misma secuencia (que el robot vaya de un punto a otro) un gran número de veces. Para ello, se utiliza la propia aplicación de RobotStudio con el Visual Analyser Online que recoge los valores de energía, potencia y tiempo, y que posteriormente se exportarán a un Excel. Con un código en Matlab se obtiene el consumo energético en cada secuencia, así como el tiempo en completar la misma, y finalmente se realiza una estimación tanto del consumo medio como del tiempo medio en realizar dicha secuencia.

Una vez se disponga de este benchmark que caracterice los tiempos de ciclo y consumo energético de las operaciones de pick & place de referencia, se entrenará al robot con una recompensa que permita optimizar el consumo energético y se realizará una comparación de los resultados obtenidos mediante RL y los que se tienen con las rutinas de movimiento disponibles en la actualidad.

4. FORECAST 4.0

En este proyecto, alojamos en el CIC LAB una iniciativa conjunta de dos Patronos de la Cátedra de Industria Conectada: **Enagás y Endesa**.

Forecast 4.0 tiene como objetivo compartir y desarrollar en base a las experiencias aprendidas los modelos de predicción del consumo de gas de consumidores industriales de distintos sectores y también de consumidores domésticos.

En los trabajos de Forecast 4.0, los estudiantes del CIC LAB son tutorizados de cerca por expertos de Enagás y Endesa, de manera que los estudiantes aportan a las compañías su experiencia en analítica avanzada con ideas nuevas derivadas de su poco sesgo de dominio, a la vez que aprenden de la dilatada experiencia de sus tutores.

Por cuestiones de confidencialidad, los resultados de este proyecto no serán expuestos en esta memoria. En los próximos meses, se preparará un informe compatible para difundir los resultados de Forecast 4.0.





5. PREDICCIÓN CON MODELOS DE *DEEP LEARNING*

Por ser práctica habitual en la industria, y por la sensibilidad de no comprender los resultados que arroja un modelo, los modelos de línea de trabajo de Foregast 4.0 son altamente interpretables. Es decir, están alejados del enfoque de caja negra que proveen los modelos de *Deep Learning* (DL). Sin embargo, estos últimos modelos son el estado del arte en muchos campos como la detección de imágenes, procesamiento del lenguaje natural, etc. y, por lo tanto, su potencial de aplicación a la industria es enorme.

Para explorar este potencial de aplicación de los modelos de DL, en esta línea se ha planteado la revisión de los modelos de representación de secuencias (redes neuronales recurrentes sencillas (RNNs), o sus variantes con memoria (GRUs, LSTMs), además de otras arquitecturas) y su aplicación a un par de problemas de predicción (uno financiero y otro de predicción de potencia eólica).

En el momento de la redacción de este documento, percibimos que el desarrollo de modelos híbridos, capaces de combinar el análisis de imágenes con otras variables explícitas que han reportado previamente buenos resultados, puede suponer una mejora sustancial de la capacidad de predicción con respecto a los modelos clásicos, aunque el acceso a grandes conjuntos de datos de calidad aparece como la principal barrera para el desarrollo de estos modelos.

A continuación, mostramos el estado de avances de este proyecto.

► LÍNEA DE PREDICCIÓN CON MODELOS DE *DEEP LEARNING*

*Mónica López-Tafall Criado, Santiago Rilo Sánchez,
Daniel Elechiguerra Batlle*

I. Introducción

A. Breve introducción a las redes neuronales

Las redes neuronales artificiales, también conocidas como redes neuronales (RNs), surgieron como un medio para imitar el comportamiento biológico (complejo) del cerebro humano.

Las neuronas artificiales se modelan para funcionar igual que las neuronas biológicas, donde una serie de entradas (con pesos respectivos asociados a cada una, llamadas pesos sinápticos) se "resumen" (Dendritas) y pasan a una función de activación que procesa la información (Núcleo), después de lo cual se genera una salida (Axón).

Una sola neurona (Perceptrón) no funciona lo suficientemente bien, pero el desarrollo posterior conduce al cableado de múltiples neuronas artificia-

les (Sinapsis), por lo que la salida de una se convierte en la entrada de la siguiente, creando múltiples capas que podrían proporcionar resultados mucho más precisos, y adquieren un parecido mucho mayor con el comportamiento del cerebro humano. Esta es una red neuronal artificial.

Formalmente, los tres procesos que se describen a continuación se conocen comúnmente como capa de entrada (la que se encarga de recibir y transmitir los parámetros para el modelo), la (s) capa (s) oculta (s) - una red de pre-alimentación donde una amplia variedad de algoritmos de aprendizaje automático puede emplearse para realizar múltiples operaciones; y la capa de salida, donde se da una única salida como predicción [1]. Por supuesto, a lo largo del tiempo este proceso se ha renovado, optimizado y desarrollado para tratar de

umentar la precisión de la predicción, lo que lleva a un amplio abanico de modelos de predicción.

Entre los modelos citados, encontramos ejemplos como el Perceptrón multicapa (MLP por sus siglas en inglés), RNs de aprendizaje profundo, RNs recurrentes, RNs de memoria a corto y largo plazo (LSTM por sus siglas en inglés), RNs convolucionales, RNs recursivas, etc., cuya aplicación depende principalmente de los datos proporcionados y del resultado esperado, aunque las variaciones en su uso se pueden encontrar en la literatura disponible.

Para cada problema diferente (predicción de existencias, procesamiento del lenguaje natural, reconocimiento / clasificación de imágenes y videos, predicción de la velocidad del viento, ...), el objetivo es proporcionar un modelo y una arquitectura específicos con datos significativos para obtener una salida significativa. Esto se logra mediante un proceso que ha "aprendido" previamente de ejemplos con datos similares y sus respectivos resultados. Por lo tanto, queremos crear reglas asociadas a cada problema que los modelos puedan usar para generar una salida de acuerdo con la información proporcionada, para cada tarea dada.

Al final, el objetivo es ajustar adecuadamente los pesos asociados a cada variable de entrada para

que una determinada función de pérdida se optimice, es decir, el modelo pueda minimizar la distancia entre las predicciones (\hat{y}) y los verdaderos valores objetivo (y), durante la fase de entrenamiento, siempre cuidando de no desarrollar un modelo demasiado ajustado a los datos de entrenamiento que luego no sea capaz de predecir adecuadamente la salida con datos generales (problema de sobre ajuste, *overfitting* en jerga inglesa).

Las tendencias o comportamientos futuros de los mercados bursátiles, las ventas de productos, la demanda de electricidad, la velocidad del viento y la irradiación solar para la generación de energía, los problemas relacionados con la salud, el procesamiento del lenguaje natural (NLP por sus siglas en inglés) ... son ejemplos de problemas cuya resolución ha avanzado notablemente gracias al desarrollo de los modelos de aprendizaje profundo que vamos a revisar en este documento [3].

En general, el fundamento de estos modelos de predicción es utilizar algoritmos de aprendizaje automático para aprender del pasado y proporcionar un pronóstico en un determinado horizonte futuro, algo que no es trivial en absoluto. Debido a los entornos dinámicos, caóticos, estocásticos y complejos del problema en sí mismo y a la incertidumbre de los datos del mundo real (por ejemplo,

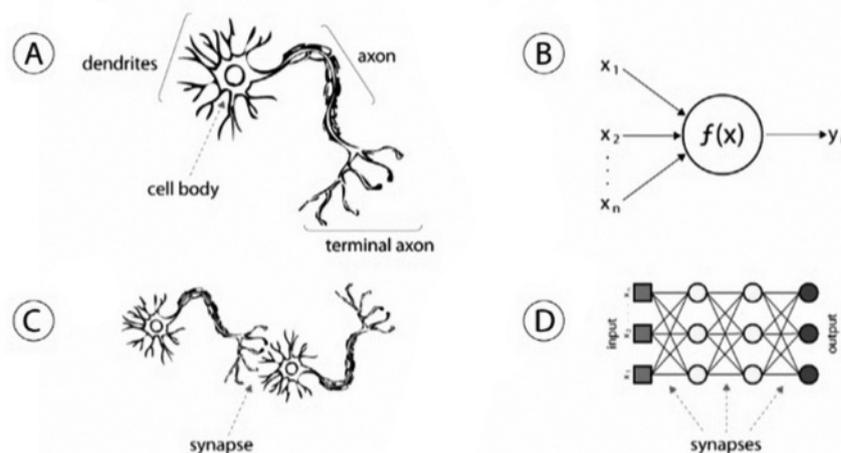


Figura 1. Similitudes entre neuronas naturales y artificiales. [2]



los mercados de valores), esto se convierte en un problema retador, aún más cuando se trata de características dependientes del tiempo o de largo plazo, donde es de suma importancia identificar correlaciones entre datos temporales distintos [4] o definir qué valores pasados se considerarán dentro del proceso de predicción [5].

B. Motivación

La realización y el contexto de este proyecto se basan en el objetivo de llevar a cabo una revisión en profundidad de las tendencias actuales con respecto a la predicción de series temporales, explorando, para este fin, diferentes arquitecturas de modelos basados en redes neuronales profundas (DNN por sus siglas en inglés).

En este documento presentamos primero esta revisión de las arquitecturas de referencia para la predicción de series temporales para, a continuación, describir los principales enfoques para la optimización de dichos modelos de secuencia.

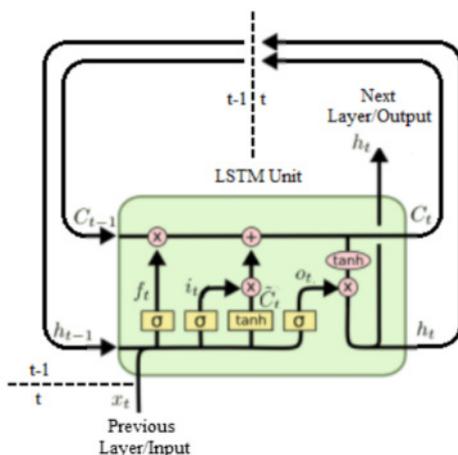
II. Arquitecturas

A. Redes de memoria a corto y largo plazo (Long-Short Term Memory, LSTM)

La primera opción explorada en nuestra colaboración de investigación con la CIC fueron las cel-

das de memoria a corto y largo plazo. Su estructura fue propuesta por primera vez en 1997 por Stepp Hochreiter y Jürgen Schmidhuber. Es un tipo de redes neuronales recurrentes (RNNs por sus siglas en inglés), una poderosa familia de redes neuronales que puede manejar con eficacia datos de series temporales, diseñadas para permitir capturar relaciones entre elementos muy distantes en la secuencia (serie), algo problemático por el conocido fenómeno de desvanecimiento del gradiente. La celda LSTM presentó una innovación con respecto a las celdas RNN: una serie de puertas capaces de almacenar el estado de las diferentes posiciones en la secuencia. Esta característica permite que algunas posiciones de la secuencia se almacenen sin "deteriorarse", haciendo que esta información esté disponible en posiciones muy alejadas en la secuencia bajo análisis. En definitiva, a medida que el estado de las celdas pasa por la secuencia, las puertas agregan o eliminan información.

Las celdas LSTM tienen una puerta de olvidar (primera ecuación), una puerta de entrada (segunda y tercera ecuaciones) y una puerta de salida (quinta ecuación). La puerta de olvido decide si la información del estado oculto y de la puerta anterior debe mantenerse o descartarse. La función de activación suele ser sigmoidea (habitualmente la



$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t$$

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t)$$

Figure 2. Estructura de una celda LSTM y ecuaciones [13]

tangente hiperbólica). La puerta de entrada decide la relevancia de la información del paso actual. La puerta de salida decide cuál debería ser el siguiente estado oculto. El estado oculto también se usa para predicciones. Utiliza información del estado oculto anterior, la entrada y el estado de la celda. Las funciones de activación pueden modificarse según las especificaciones de diseño.

B. LSTM bidireccionales

Las estructuras RNN bidireccionales son modelos en los que se modela también la relación inversa (de "futuro" a "pasado") de la secuencia. Al final del modelo, la salida se calcula utilizando los estados de las partes directa e inversa de la red [14].

En un LSTM bidireccional, los bloques de construcción de la red son celdas de memoria LSTM. Las redes BLSTM profundas se obtienen apilando capas entre la entrada y la salida. En BRNN, la propagación hacia atrás a través del tiempo debe calcularse por separado.

Conviene notar que la complejidad en términos de número de parámetros de una red BLSTM es aproximadamente el doble que la de una red LSTM, por lo que conviene utilizarlas sólo si hay fuertes influencias de elementos posteriores en la

secuencia. Este hecho es habitual en problemas de procesamiento del lenguaje natural, donde los modelos BLSTM son habituales. Sin embargo, en problemas físicos, causales, conviene ponderar adecuadamente la necesidad de usar este tipo de estructuras.

C. La máquina de Boltzmann

Es un tipo de red neuronal recurrente estocástica. Aparecieron después de investigar formas de mejorar a sus predecesoras, las redes de Hopfield. Utilizando varias técnicas de optimización, una red de Hopfield puede garantizar N patrones estables almacenados para una red de tamaño N [15]. Una máquina de Boltzmann es una red de Hopfield que tiene $N + K$ neuronas, donde N son las neuronas visibles (las que almacenarán los patrones reales de interés) y K son neuronas ocultas (útiles para aumentar la capacidad de la red, pero cuyos valores reales no son importantes) [15]. En una máquina Boltzmann, la probabilidad de generar un vector "visible" (la salida deseada) se define en términos de las energías o configuraciones conjuntas de las unidades visibles y ocultas. Otra forma de decir esto, es que la energía de un patrón es el análogo de la probabilidad logarítmica negativa de una distribución de Boltzmann (la distribución de probabili-

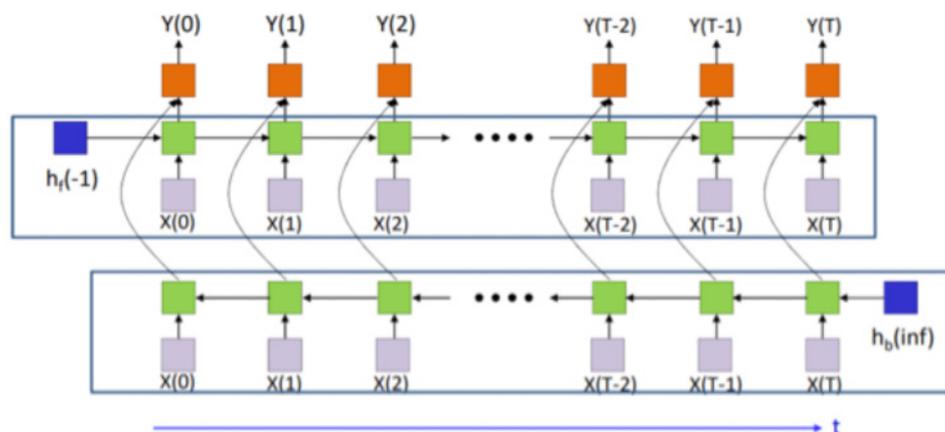


Figure 3: Arquitectura simple de red BLSTM [14]



dad de que un sistema esté en un determinado estado en función de la energía y la temperatura, en caso de estos modelos con $T = 1$).

Se utiliza la técnica *Markov Chain Monte Carlo* (que genera números aleatorios, luego permite que el número aleatorio influya en el siguiente número generado, y finalmente verifica la convergencia [16]) para obtener muestras del modelo a partir de una configuración global aleatoria. Las unidades visibles se ajustan al vector de datos dado, y sólo las unidades ocultas pueden cambiar de estado. Cada configuración oculta es una "explicación" de una configuración visible que se ha observado. Cuanto mejor sea la explicación, menor será la energía [17].

Además de completar, eliminar ruido y calcular probabilidades condicionales de patrones, las máquinas de Boltzmann también se usan para problemas de clasificación. Las máquinas de Boltzmann están sin embargo limitadas debido a su enorme tiempo de entrenamiento y, por lo tanto, se aplican a día de hoy a problemas pequeños [16]. Para resolver estos problemas, las alternativas son máquinas de Boltzmann restringidas (no permite interconexiones entre unidades ocultas) y máquinas de Boltzmann profundas (las capas se apilan en la parte superior de una

máquina de Boltzmann restringida). Las máquinas de Boltzmann restringidas se han utilizado en aplicaciones de regresión y pronóstico.

D. Redes de Creencia Profundas (Deep Belief Networks, DBNs)

La red DBN es un modelo gráfico generativo. Por generativo indicamos que no sólo se enfoca en la distribución de nuestra variable de salida dadas nuestras variables de entrada, sino que también puede representar en un espacio latente abstracto la distribución de las entradas para generar nuevas muestras de éste espacio de las entradas [19]. Las redes DBN son útiles para realizar aprendizaje sin supervisión, aunque el tiempo de aprendizaje no escala bien cuando la red tiene múltiples capas ocultas, además de que el proceso de optimización de sus parámetros tiende a quedar atrapado en mínimos locales muy subóptimos.

Durante el proceso de entrenamiento de una red DBN, es común entrenar previamente cada capa con un algoritmo de aprendizaje no supervisado, secuencialmente [19]. Este método de preentrenamiento suele dar mejores resultados. Después de haber inicializado estas capas, la red neuronal se puede usar para un proceso de entrenamiento supervisado como de costumbre.

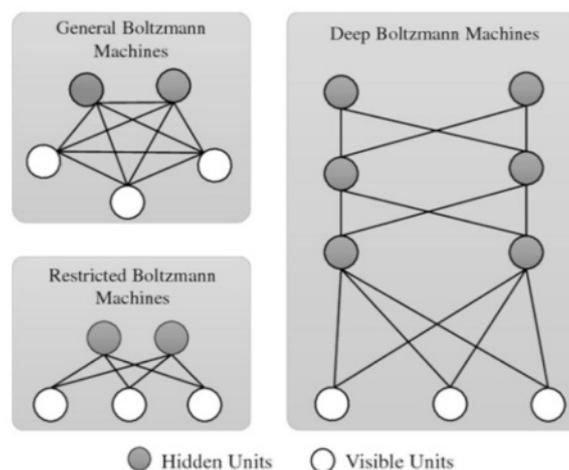


Figure 4: Distintas arquitecturas de máquinas de Boltzmann [18]

Además de los referidos anteriormente, las redes DBN presentan dos problemas principales:

- El problema de inferencia: cómo inferir los estados de las variables no observadas.
- El problema de aprendizaje: cómo ajustar las interacciones entre variables para que la red sea más propensa a generar los datos de entrenamiento.

Dado que las DBNs se entrenan de manera no supervisada, los problemas típicos que afectan a otras estructuras de redes neuronales, como el desvanecimiento y la explosión del gradiente, no son un problema.

E. Modelos híbridos

Algunos investigadores han intentado combinar las ventajas en varias arquitecturas de redes neuronales dentro del mismo modelo para aumentar sus prestaciones generales.

Por ejemplo, las redes DBN surgieron como una combinación de máquinas de Boltzmann restringidas y perceptrones multicapa.

La combinación más prometedora que se ha extraído de la literatura es la que incluye capas convolucionales dentro de las redes LSTM.

Sabiendo que las redes convolucionales se han implementado principalmente para la clasificación de imágenes y videos, así como para el procesamiento del lenguaje natural, dada su capacidad para identificar patrones característicos, son un gran recurso para localizar patrones relevantes cuya dependencia en el tiempo se puede luego capturar con un modelo LSTM.

II. Optimización de los modelos

A. Hiperparámetros de la arquitectura de red

Los hiperparámetros son parámetros del modelo que no se ajustan durante el proceso de entrenamiento, pero que determinan fuertemente las prestaciones del modelo resultante. Por lo tanto, o bien de manera previa en base a la experiencia o bien realizando campañas de entrenamiento de diferentes modelos para después combinarlos, estos hiperparámetros deben ajustarse cuidadosamente. Los más habituales en modelos de redes neuronales:

- **Número de capas ocultas:** generalmente se cree que aumentar el número de capas ocultas aumenta la precisión del modelo, aunque

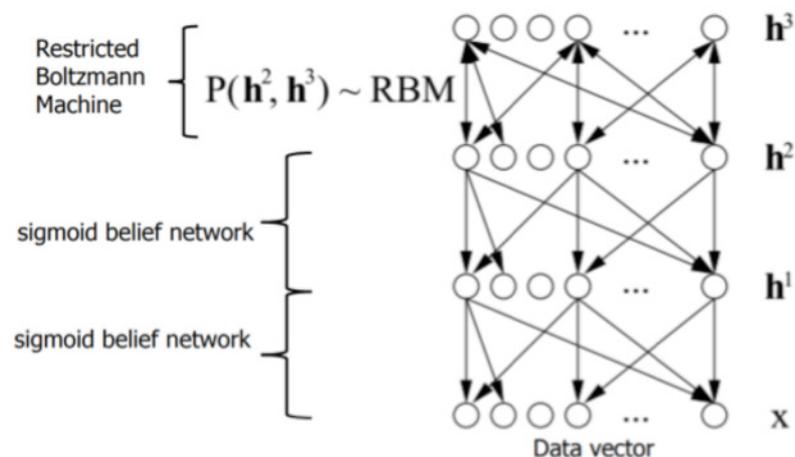


Figure 5: Representación de una red DBN [19]



esta práctica aumenta el riesgo de obtener modelos sobreentrenados.

- **Neuronas por capa:** al igual que con el número de capas ocultas, un mayor número de neuronas por capa podría ayudar a identificar de manera óptima el comportamiento relevante en los datos. También de manera análoga al efecto del número de capas, tener una gran cantidad de neuronas puede conducir a un aumento en el peso computacional e incluso a un sobreajuste.
- **Funciones de activación:** son el equivalente matemático del potencial eléctrico que se acumula en las neuronas biológicas que luego se disparan cuando se alcanza un umbral determinado. Deciden cuánto se activa la salida después de multiplicar las entradas por los pesos. Se pueden ajustar muchos tipos diferentes, especialmente *softmax*, lineal, tangente hiperbólica, función logística, *ReLU*, *Softplus* y *Maxout*.
- **Inicialización de parámetros:** es necesario inicializar los pesos antes de la primera iteración del proceso de entrenamiento. Estos valores pueden establecerse en cero u obtenerse con una función aleatoria. Esto puede conducir a la desaparición o explosión de gradientes, lo que refuerza la necesidad de encontrar una manera de inicializarlos fácilmente sin comprometer el entrenamiento. Algunas otras técnicas importantes de inicialización de parámetros son la inicialización normal de He y la inicialización de Xavier. [21]
- **Tasa de aprendizaje:** representa la cantidad que se desplazan los pesos durante el entrenamiento por cada unidad de gradiente. Por lo general, tiene un valor positivo de 0 a 1. Este hiperparámetro es uno de los más relevantes, ya que puede conducir a un proceso de entrenamiento pesado y prolongado, después del cual el proceso podría atascarse (valores bajos) o demasiado rápido y con dinámicas oscilantes o incluso con obtención de valores subóptimos (valores grandes) [22]
- **Función de pérdidas:** es la función diseñada para calcular la distancia entre la salida predicha y la salida esperada. Después de calcular las pérdidas, los distintos algoritmos basados en el descenso del gradiente se usan para actualizar los pesos de una manera que reducirse dichas pérdidas en la próxima iteración. Algunas de las funciones de pérdida más comunes son el RMSE, el MSE, la entropía cruzada binaria, la entropía cruzada, el costo exponencial y la función de pérdidas de Huber. La entropía cruzada binaria y la entropía cruzada se utilizan en problemas de clasificación, mientras que el resto son comunes en problemas de regresión y pronóstico.
- **Épocas, iteraciones y tamaño de lote:** estos tres hiperparámetros definen la forma en que los datos se envían al modelo, como se explica en [23]:
 - Una época consiste en el procesamiento de todas las muestras del conjunto de entrenamiento.
 - El tamaño del lote es el número de muestras del conjunto de entrenamiento que se emplea para actualizar los pesos en una época. Este valor se establece cuando el número de muestras es demasiado grande para ejecutarse en una sola época, o cuando la complejidad del modelo lo hace necesario. Cuando el proceso de entrenamiento se ejecuta con tamaño de lote unitario, se suele referir como estocástico, i.e. descenso del gradiente estocástico, por ejemplo.
 - El número de iteraciones es el número de lotes que se han procesado.
- **Regularización de tipo dropout:** define el número de neuronas muertas en cada época para evitar el sobreajuste del modelo durante el entrenamiento.
- **Normalización por lotes:** es una técnica que hace que las redes sean robustas ante una mala inicialización de los pesos. Por lo general, se inserta justo antes de las capas de activación. Reduce el cambio en la covarianza al escalar y normalizar entradas. [24]

- **Aumento de datos:** consiste en enriquecer los datos existentes para permitir mejores habilidades de generalización de la red. Implica aplicar transformaciones conocidas al conjunto de datos, ya sea en una proporción fija o aleatoria. Hay un caso muy claro para las redes neuronales convolucionales, donde las imágenes del conjunto de entrada se transforman volteándolas, rotándolas, estirándolas, modificando el color, etc. [25]
- **Dropconnect:** implica neutralizar algunas conexiones durante el proceso de entrenamiento, poniendo sus pesos a cero [24].
- **Algoritmo de optimización y momento:** el optimizador de la red neuronal se encarga de ejecutar el descenso de gradiente para actualizar los pesos de cada variable. La forma de hacerlo varía de un optimizador a otro, lo que puede afectar el rendimiento del modelo. Hay varios algoritmos que se han desarrollado a lo largo de los años con este propósito, así como conceptos como el impulso. El término de impulso en una función de optimización replica el efecto del impulso lineal en el trabajo físico, y lleva al algoritmo a no detenerse y, por lo tanto, a reducir las oscilaciones. Algunos algoritmos de optimización importantes incluyen el descenso de gradiente estocástico o por lotes, el impulso de Nesterov, AdaGrad, RMSProp, Adam, Adamax y Nadam. [26]

B. Técnicas de optimización de los hiperparámetros

B.1. Ajuste manual

Aunque este método puede parecer obvio y demasiado simple, el ajuste manual puede conducir a mejores resultados al ajustar un hiperparámetro que otros métodos que se revisarán en esta sección.

La razón es que podemos aprender fácilmente de nuestros errores anteriores, lo que ayuda a adaptar rápidamente el modelo cuando los resultados mejoran o empeoran después de modificar el valor de un determinado hiperparámetro. Sin

embargo, un gran inconveniente de este modelo es que no funciona bien (o, al menos, podemos decir que es altamente complejo) cuando se necesita optimizar varios hiperparámetros ya que estos suelen estar fuertemente interrelacionados, de manera que cambiar uno puede desplazar a otro previamente ajustado a regiones alejadas del valor óptimo. Otro problema es que puede llevar a convergencias en óptimos locales.

En definitiva, este método puede usarse siempre que el conocimiento y la experiencia previa lo respalden, pero no garantizará que los hiperparámetros del modelo estén optimizados.

B.2. Barrido de hiperparámetros

El barrido de hiperparámetros (*grid search* en inglés) es la forma más simple de seleccionar automáticamente el valor óptimo para varios hiperparámetros.

Este método se basa en un proceso iterativo que prueba múltiples valores para cada hiperparámetro. Estos valores suelen predefinirse en intervalos con un tamaño de paso fijo, y el método entrenará al modelo para cada valor posible y devolverá las prestaciones en términos de precisión en los conjuntos de entrenamiento, prueba y validación.

En comparación con el ajuste manual, este método permite ajustar una cantidad de hiperparámetros todos juntos, aunque también requiere de una cierta experiencia para seleccionar el rango de opciones para cada hiperparámetro. Además, son extraordinariamente pesados computacionalmente, un problema que se acentúa cuando crece la complejidad de los modelos a entrenar (entendida como el número de parámetros en el problema de optimización).

B.3. Búsqueda aleatoria

Si tuviéramos que realizar un barrido de los 6 hiperparámetros mencionados anteriormente, intentando para cada uno de ellos 10 valores posibles, necesitaríamos ejecutar el modelo un millón de veces. Si cada proceso de entrenamiento tarda 5 minutos en completarse, el modelo



podría probar todos los valores posibles en 9.5 años, sin considerar ningún ajuste adicional en caso de que los valores predefinidos no indiquen que se ha encontrado una solución de, al menos, óptimo local.

Para evitar esto, los métodos de búsqueda aleatoria sólo prueban valores aleatorios de hiperparámetros [49]. Estos valores se recopilan de todo el espacio del problema, en lugar de buscar en áreas prometedoras que podrían ocultar un óptimo local. Si pudiéramos reducir el número de opciones para cada hiperparámetro a 5, el tiempo requerido para entrenar el modelo se reduciría a 0,17 años, lo que es una gran disminución en comparación con los 9,5 años requeridos con un método de búsqueda de cuadrícula regular.

Uno de los principales problemas con este método es que deja regiones sin cubrir, mientras que puede evaluar puntos que están demasiado cerca el uno del otro para realmente hacer una mejora significativa. Para evitar esto, las secuencias cuasialeatorias ayudan a distribuir de manera más uniforme los puntos de datos. Algunas de estas secuencias cuasialeatorias son las secuencias de Sobol, Hammersley, Halton, Kronecker y Niederreiter [25], [26].

El problema principal con este método es que todavía requieren experiencia para elegir el método o distribución correctos.

Como los métodos de barrido, los métodos de búsqueda aleatoria no retienen información sobre evaluaciones anteriores. Esto significa que no aprenden de errores pasados, lo que significa que se puede invertir mucho tiempo en evaluar valores que no mejorarán. Como se mencionó anteriormente, esta es la razón por la cual el ajuste manual podría ser una mejor solución para estos métodos cuando las dimensiones del problema lo permiten.

B.4. Optimización secuencial basada en modelo (SMBO por sus siglas en inglés) – Optimización Bayesiana

Los métodos de optimización secuenciales basados en modelos representan una mejora sustan-

cial en comparación con los métodos de búsqueda en barrido y aleatoria, ya que basan su operación en el intento de mejorar las evaluaciones pasadas a través de un modelo probabilístico, haciendo suposiciones sobre valores no observados a través de una función de adquisición.

Los métodos bayesianos tienen una arquitectura muy similar que permite algunas modificaciones dependiendo del modelo utilizado [25]

B.5. Otros métodos

Aunque los cuatro métodos referidos son la referencia en la práctica actual, también hay recursos alternativos que pueden usarse para la optimización de hiperparámetros.

La optimización basada en el gradiente, los algoritmos evolutivos y los algoritmos poblacionales son algunos de estos métodos alternativos.

Los métodos de optimización basada en el gradiente aplican métodos de descenso similares a los que se emplean para encontrar los parámetros óptimos de la red.

Los algoritmos evolutivos para el ajuste de hiperparámetros aplican estrategias de mejora de una determinada función de pérdidas inspiradas en procesos evolutivos presentes en la naturaleza. Estos métodos son ampliamente utilizados específicamente para la optimización de redes neuronales, ya que son fáciles de calcular y funcionan bien con diversas arquitecturas [27].

Los algoritmos poblacionales (a veces también pueden incluirse en el grupo de evolutivos, como es el caso de los algoritmos genéticos) suponen una combinación de los métodos de barrido y de búsqueda aleatoria con métodos de búsqueda secuencial (optimización manual y bayesiana). Aprenden conjuntamente los hiperparámetros y los pesos de las redes, llevando a cabo una optimización integral del modelo de predicción. El conjunto inicial de valores debe darse de antemano, pero las modificaciones en los valores de los hiperparámetros eliminan la necesidad de realizar ajustes manuales adicionales [28].

V. Bibliografía

- [1] A. Menon, S. Singh, and H. Parekh, 'A Review of Stock Market Prediction Using Neural Networks', in 2019 IEEE International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN), Pondicherry, India, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICSCAN.2019.8878682.
- [2] T. life Editorial, 'How artificial neural networks copy the brain so AI can think faster than you', Medium, 14-Feb-2017. [Online]. Available: <https://toa.life/how-artificial-neural-networks-copy-the-brain-and-power-ai-to-think-faster-than-you-218929fa5dd3>. [Accessed: 19-Jan-2020].
- [3] H. Wan, 'Deep Learning:Neural Network, Optimizing Method and Libraries Review', in 2019 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS), Haikou, China, 2019, pp. 497–500, doi: 10.1109/ICRIS.2019.00128.
- [4] R. Zhang, Z. Yuan, and X. Shao, 'A New Combined CNN-RNN Model for Sector Stock Price Analysis', in 2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Tokyo, Japan, 2018, pp. 546–551, doi: 10.1109/COMPSAC.2018.10292.
- [5] I. Valenca, T. Ludermit, and M. Valenca, 'Hybrid Systems to Select Variables for Time Series Forecasting Using MLP and Search Algorithms', in 2010 Eleventh Brazilian Symposium on Neural Networks, Sao Paulo, 2010, pp. 247–252, doi: 10.1109/SBRN.2010.50.
- [6] S. Bouktif, A. Fiaz, A. Ouni, and M. Serhani, 'Optimal Deep Learning LSTM Model for Electric Load Forecasting using Feature Selection and Genetic Algorithm: Comparison with Machine Learning Approaches †', Energies, vol. 11, no. 7, p. 1636, Jun. 2018, doi: 10.3390/en11071636.
- [7] S. Chen and H. He, 'Stock Prediction Using Convolutional Neural Network', IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., vol. 435, p. 012026, Nov. 2018, doi: 10.1088/1757899X/435/1/012026.
- [8] R. Agarwal, 'The 5 Feature Selection Algorithms every Data Scientist should know', Medium, 28-Jul-2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/the-5-feature-selection-algorithms-every-data-scientist-need-to-know-3a6b566efd2>. [Accessed: 26-Jan-2020]
- [9] J. Brownlee, 'How to Choose a Feature Selection Method For Machine Learning', Machine Learning Mastery, 26-Nov-2019. [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/feature-selection-with-real-and-categorical-data/>. [Accessed: 26-Jan-2020].
- [10] DataVedas, 'EMBEDDED METHODS | Data Vedas'. [Online]. Available: <https://www.datavedas.com/embedded-methods/>. [Accessed: 28-Jan-2020].
- [11] <https://towardsdatascience.com/illustrated-guide-to-lstms-and-gru-s-a-step-by-step-explanation-44e9eb85bf2>. [Accessed: 01-Jan-2020].
- [12] <https://www.cs.cmu.edu/~bhiksha/courses/deeplearning/Spring.2019/archive-f19/www-bak11-22-2019/document/lecture/lec11.recurrent.pdf>. [Accessed: 23-Dec-2019].
- [13] <https://www.cs.cmu.edu/~bhiksha/courses/deeplearning/Spring.2019/archive-f19/www-bak11-22-2019/document/lecture/lec18.hopfield2.pdf>. [Accessed: 05-Jan-2020].
- [14] https://www.cs.cmu.edu/~tom/10701_sp11/slides/. [Accessed: 05-Jan-2020].
- [15] <http://www.cs.toronto.edu/~hinton/coursera/lecture11/lec11.pdf>. [Accessed: 03-Jan-2020].
- [16] <https://towardsdatascience.com/types-of-optimization-algorithms-used-in-neural-networks-and-ways-to-optimize-gradient-95ae5d39529f>. [Accessed: 03-Jan-2020].
- [17] <https://www.cs.cmu.edu/~epxing/Class/10715/lectures/DeepArchitectures.pdf>. [Accessed: 07-Jan-2020].
- [18] 'Hyperparameters: Optimization Methods and Real World Model Management', MissingLink.ai. [Online]. Available: <https://missinglink.ai/guides/neural-networkconcepts/hyperparameters-optimization-methods-and-real-world-model-management/>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [19] <https://towardsdatascience.com/adam-latest-trends-in-deep-learning-optimization-6be9a291375c>. [Accessed: 01-Feb-2020].



- [20] J. Brownlee, 'Understand the Impact of Learning Rate on Neural Network Performance', Machine Learning Mastery, 24-Jan-2019. [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/understand-the-dynamics-of-learning-rate-on-deeplearning-neural-networks/>. [Accessed: 04-Feb-2020].
- [21] 'machine learning - Epoch vs Iteration when training neural networks', Stack Overflow. [Online]. Available: <https://stackoverflow.com/questions/4752626/epoch-vs-iterationwhen-training-neural-networks>. [Accessed: 04-Feb-2020].
- [22] http://cs231n.stanford.edu/slides/2019/cs231n_2019_lecture07.pdf. [Accessed: 02-Feb-2020].
- [23] 'Hyperparameter optimization for Neural Networks — NeuPy'. [Online]. Available:http://neupy.com/2016/12/17/hyperparameter_optimization_for_neural_networks.html#h-and-tuning. [Accessed: 05-Feb-2020].
- [24] 'The Unreasonable Effectiveness of Quasirandom Sequences | Extreme Learning'. [Online]. Available: <http://extremelearning.com.au/unreasonable-effectiveness-of-quasirandom-sequences/>. [Accessed: 05-Feb-2020].
- [25] W. Koehrsen, 'A Conceptual Explanation of Bayesian Hyperparameter Optimization for Machine Learning', Medium, 02-Jul-2018. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/a-conceptual-explanation-of-bayesian-model-based-hyperparameter-optimization-for-machine-learning-b8172278050f>. [Accessed: 05-Feb-2020]
- [26] J. S. Bergstra, R. Bardenet, Y. Bengio, and B. Kégl, 'Algorithms for Hyper-Parameter Optimization', p. 9.
- [27] A. Osipenko, 'Genetic algorithms and hyperparameters — Weekend of a Data Scientist', Medium, 30-May-2019. [Online]. Available: <https://medium.com/cindicator/geneticalgorithms-and-hyperparameters-weekend-of-a-data-scientist-8f069669015e>. [Accessed: 06-Feb-2020].
- [28] A. Li et al., 'A Generalized Framework for Population Based Training', in Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining - KDD '19, Anchorage, AK, USA, 2019, pp. 1791–1799, doi: 10.1145/3292500.3330649.

6. LOGÍSTICA

La logística es uno de los campos en los que hay mayor potencial de mejora de eficiencia, tanto en lo que se refiere al movimiento de mercancías fuera de los centros de producción como a la logística interna de productos semielaborados, almacenes, etc.

Por ello, en el CIC LAB hemos lanzado una línea de trabajo en logística. Inicialmente, los estudiantes están interactuando con las APIs de Google Maps en un proyecto en el que estamos caracterizando la "impedancia" al tránsito de la ciudad de Madrid en las diferentes horas y días de la semana. Con estos resultados, pretendemos averiguar cuáles son los principales inductores de exceso de tráfico para poder proponer alternativas que alivien las congestiones en la ciudad.

En el futuro, este dominio de herramientas avanzadas de análisis y representación será empleado en optimizar la cadena logística de las compañías industriales, de manera que puedan sincronizarse adecuadamente producción y transporte de mercancías para optimizar su eficiencia en coste y su sostenibilidad.

▶ OPTIMIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA INDUSTRIAL MEDIANTE EL USO DE GOOGLE MAPS API.

*Alberto Menéndez Ruiz de Azúa, Carlos Moro García,
Roberto Rioja García y Carlos Sanjuán Ruiz.*
(Beca Cátedra Industrial Conectada, Universidad Pontificia de Comillas)

En este documento se presenta el estado del proyecto "Optimización de la logística industrial mediante el uso de Google Maps API". Hasta la fecha se ha realizado un estudio del tráfico durante una semana en las principales vías de la ciudad de Madrid, en el área interior a la circunvalación M-30.

Índice de Términos – API, Logística, Google, Tráfico

I. Introducción

El objetivo actual del proyecto consiste en estudiar la distribución del tráfico en la ciudad de Madrid durante todas las horas de una semana con especial interés en los períodos de tráfico elevado. Una vez se ha conseguido este objetivo se buscará emplear la información obtenida a fin de mejorar la logística industrial de las empresas.

Actualmente existen herramientas que nos permiten predecir los tiempos de transporte entre dos puntos. Sin embargo, la gran problemática es la poca transparencia que tienen por motivos competitivos. En este proyecto se buscará obtener un sistema que trabaje con información propia a fin de poder darle uso para sectores específicos.

La herramienta empleada para tal propósito es la API de Google Maps la cual obtiene las direcciones mediante diversos nodos y las uniones entre éstos. Los nodos representarán los cruces, rotondas y puntos de interés mientras que las uniones irán de un punto a otro contiguo. Esta API a su vez nos permitirá realizar representaciones sobre mapas reales de las rutas, determinadas ubicaciones introducidas por coordenadas y obtener valores básicos de la información de Google que nos ayudarán a obtener predicciones de tráfico.

Siguiendo la lógica previamente mencionada según la cual funciona la API se decide tomar los principales nodos de Madrid en una zona



comprendida dentro de la M-30 y, posteriormente, estudiar a lo largo de una semana, mediante mapas de calor, el comportamiento de estos nodos. Con ello se diseñará una red simplificada de Madrid con información básica sobre estas rutas principales.

II. Procedimiento

A. Creación del sistema nodos-uniones

Se toman 75 nodos diferentes incluidos en la zona central de Madrid y delimitados por la circunvalación M-30.

Se presta especial atención a las vías y rotondas principales y se sitúan los puntos de una manera equidistante para poder estudiar el tráfico en zonas de distancias similares. Los diferentes nodos empleados para tal propósito se muestran en la Figura 1.

Como se puede comprobar en dicha figura, se ha prestado especial atención al Paseo de la Castellana en el que vemos situados más de una décima parte de estos marcadores. Otra zona de especial atención será Plaza España – Gran Vía. Estas zonas se han considerado especialmente conflictivas y por ello se ha considerado necesario tomar mayor número de puntos entre ellas.

La otra zona de gran conflictividad en lo relativo al tráfico que podemos observar, y que se ha mencionado previamente, es la M-30, circunvalación que rodea Madrid. Para ésta se ha situado un marcador en todas sus entradas principales.

B. Obtención de datos

Los datos de tráfico se obtienen mediante Python usando la *directions API* de Google Maps. Para ello se enviaron múltiples peticiones o *requests* a la API representando cada una de estas peticio-

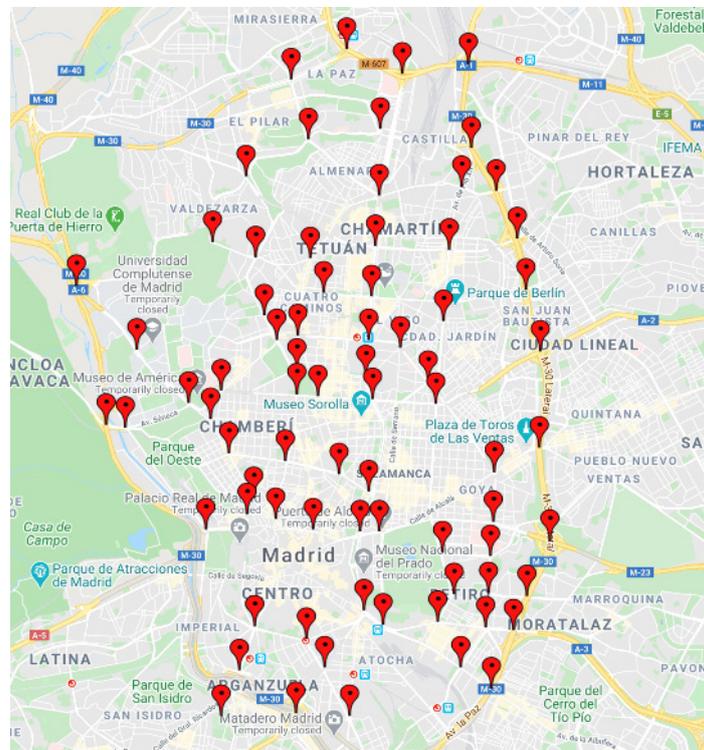


Fig. 1. Representación de los nodos escogidos para representar la variación del tráfico en el centro de Madrid.

nes una hora diferente de un día de la semana. Se obtendrá como resultado el valor de la distancia recorrida de un punto al contiguo en metros y la duración del recorrido de un punto a otro en segundos. En el caso de la duración, se obtienen dos valores siendo uno de estos el tiempo medio que se tarda de un punto a otro sin tener en cuenta el tráfico y calculado como una media de los valores de Google durante los últimos años. El otro valor tendrá en cuenta el tráfico.

Estas peticiones se realizaron para cada hora de cada día de una semana entre un determinado marcador y sus marcadores vecinos, es decir, aquellos a los que se llega sin necesidad de pasar previamente por otro.

Se decidió llevar a cabo esto empleando las previsiones de Google Maps y pidiendo resultados de tráfico en tiempos posteriores. A futuro se plantea conseguir estos mismos datos mediante peticiones en tiempo real que se envíen automáticamente mediante un algoritmo. Con este método se podría conseguir unos resultados reales que permitirían crear una mejor base de datos propia.

Así pues, se obtendrían resultados *reales* del tráfico en cada zona, ya que Google es capaz de obtener información acerca de que calles se encuentran con mayor densidad de vehículos y cuales menos haciendo uso de la cantidad de dispositivos móviles y su velocidad en cada lugar.

C. Creación del mapa de calor

Los datos obtenidos como respuesta de la API se emplearon para crear un mapa de calor para presentar de manera gráfica la evolución del tráfico.

Para cada ruta se calculó una impedancia llevando a cabo una relación entre el tiempo que se obtiene teniendo en cuenta el tráfico y un tiempo base, tomado a una hora y un día donde se considera el tráfico nulo (Lunes 3 a.m.). A cada nodo se le otorga una variable "tráfico" que dependerá de la media de las impedancias de las rutas que entren en este.

El mapa se imprime empleando la API de JavaScript de Google Maps. Sobre este mapa se incluirá el mapa de calor.

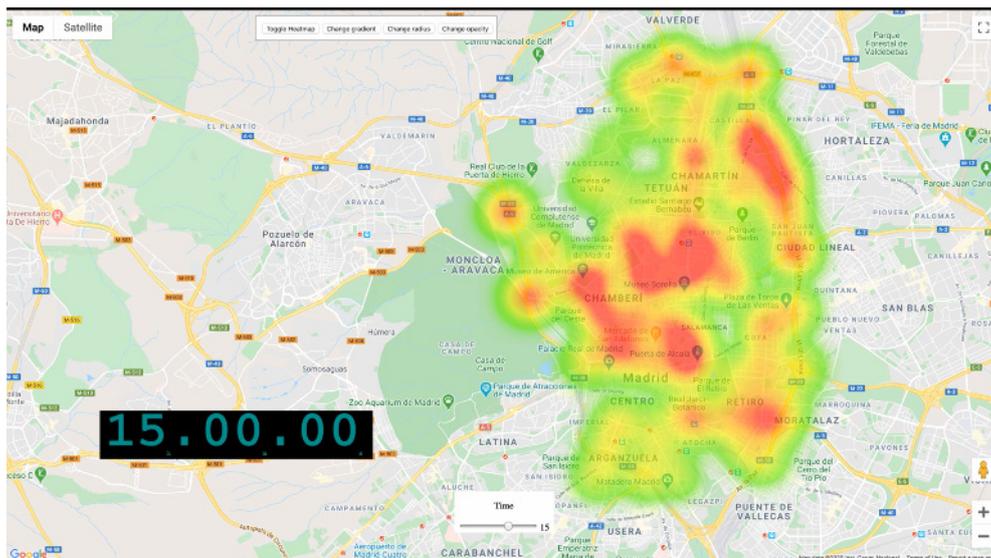


Fig. 2. Representación del mapa de calor que representa la densidad del tráfico en la zona central de Madrid el viernes 14 de febrero a las 15:00.



D. Trabajo Futuro

El objetivo final del proyecto es conseguir la optimización de las entregas de productos, materiales y otros bienes mediante el conocimiento previo de las condiciones de tráfico en las diferentes zonas de Madrid.

A su vez, teniendo en cuenta el conocimiento obtenido a cerca de la situación se podrá también planificar la producción con el objetivo de tener el envío listo para salir en un momento de valle de tráfico. De este modo se podrán reducir notablemente las acumulaciones de stock, los tiempos de entrega y todos los gastos relacionados con lo anterior.

A su vez, una reducción notable del tráfico en horas punta puede tener unos efectos notablemente positivos en el medio ambiente. De este modo, otro foco del proyecto el evitar las acumulaciones de tráfico en zonas con situaciones especialmente delicadas en lo relativo a la polución como puede ser la zona conocida como *Madrid Central*.

Otra posibilidad que se derivan de este proyecto puede ser la creación de una base de datos con información obtenida con peticiones en tiempo real. Obtendríamos así unos valores más reales que los proporcionados por Google generando así una base propia sobre la que trabajar con mucha información la cual es privada en el histórico de Google. Esta base de datos propia se obtendría con un programa que se ejecutase automáticamente cada hora aproximadamente en las horas de mayor densidad de tráfico. Permitiría obtener predicciones de tráfico de manera independiente de cualquier API y proporcionaría la

opción de otorgar mayor peso a las variables que se deseen.

III. La matemática

Para el cálculo de la impedancia de tráfico de cada punto se ha realizado un sumatorio de la variable tráfico de cada una de las uniones que llegan a este de sus vecinos y se ha calculado la media.

Una vez calculadas cada una de estas medias, se ha tomado la mayor y la menos y se han colocado todas en una escala entre estas comprobando así el tráfico en cada zona en comparación con el que será el mayor tráfico de esa semana y el que será el menor.

IV. Conclusión

En este proyecto se buscará crear una aplicación para controlar la logística industrial de forma óptima. Como se ha visto, la API de Google Maps permite estudiar el tráfico de determinadas zonas a las horas y los días deseados; sin embargo, la información proporcionada será muy básica por motivos de confidencialidad del proveedor.

Sólo con peticiones en tiempo real se podrá obtener una base de datos propia capaz de permitirnos estudiar el tráfico para propósitos propios ya que la información aportada por Google en tiempo real será mucho mayor y más verídica.

El proyecto actual es capaz de obtener la información proporcionada por Google de sus predicciones a futuro y con ella comprender, y expresar con mapas de calor, la distribución de tráfico en la ciudad. El siguiente paso a realizar será generar la base de datos propia con que trabar.

Referencias

- [1] Documentación de la API de Google Maps: https://developers.google.com/maps/documentation/?hl=es&_ga=2.70466644.599183931.1581501076-780107663.1575220927
- [2] Udacity. Google Maps API by Google: <https://www.udacity.com/course/google-maps-apis-ud864>

7. TRANSFORMACIÓN DIGITAL SOCIALMENTE RESPONSABLE

A día de hoy, como resultado de la transformación digital de la industria y de la economía en general, se espera que la automatización avanzada de procesos elimine una gran cantidad de tareas que son realizadas por la fuerza laboral humana. Lamentablemente, las nuevas tareas requeridas para la operación de los sistemas altamente automatizados, que actuarán como un elemento tractor del empleo, no se llevarán necesariamente a cabo en los mismos lugares que las eliminadas ni, en la mayoría de los casos, por los mismos perfiles laborales.

Por lo tanto, si bien es de esperar que en un determinado horizonte temporal (quizás 10-15 años) haya más personas empleadas en la nueva economía digital que las que hay empleadas en la actualidad, nos hemos de enfrentar a una etapa transitoria en la que muchos empleados van a quedar desactualizados. Además, a veces estos empleados tendrán una edad lejana a la de jubilación y con pocas habilidades para adaptarse al cambio (plasticidad, capacidad de aprendizaje, etc.). Para contribuir a la propuesta de soluciones para mitigar este problema, en esta línea de trabajo del CIC LAB hemos realizado una revisión de los acontecimientos que tuvieron lugar en las anteriores revoluciones industriales, con el objeto de sacar conclusiones que nos permitan mejorar en esta cuarta revolución.

Como está claro que el aprendizaje continuo y la optimización del aprovechamiento del talento interno en las compañías son piezas clave para mitigar los posibles problemas laborales derivados de la automatización masiva de procesos, en este proyecto proponemos una herramienta para la caracterización del talento en una compañía. Su objetivo es permitir a las empresas tener una imagen mejorada del talento de su fuerza laboral, de manera que se puedan aumentar el *engagement* de sus empleados y adelantarse a posibles problemas de desactualización de su plantilla mediante el impulso de programas de formación altamente adaptados a sus necesidades.

A continuación, mostramos el estado de avances de este proyecto.

► INFORME SOBRE TRANSFORMACIÓN DIGITAL RESPONSABLE FOCALIZADO EN ESPAÑA

Marta Bravo, Gabriela Martín Carballo
(Beca Cátedra Industrial Conectada, Universidad Pontificia de Comillas)

Con el objetivo de profundizar en el efecto de la emergente Revolución 4.0 y analizar su impacto y retos generados en la actualmente denominada Sociedad 5.0 desde la perspectiva laboral, económica y social, se ha elaborado este artículo por parte de la beca de la Cátedra de Industria Conectada en la Universidad Pontificia de Comillas.

I. Introducción

La llegada de la Cuarta Revolución Industrial, también conocida como Revolución 4.0, trae consigo una creciente preocupación en la sociedad actual alimentada por el desconocimiento a lo que cabe esperar en un futuro cada vez más próximo con la introducción de las tecnologías emergentes. Como indicó en la teoría sobre el pesimismo social el profesor Hans Rosling, el desconocimiento lleva al pesimismo, y es lo que actualmente la sociedad muestra, miedo a lo que vendrá [1].

Pero ¿qué es realmente lo que se debe esperar y a qué adversidades se enfrentará la sociedad en las futuras generaciones? El presente informe trata de dar respuesta a estas dudas echando la vista atrás para analizar y extrapolar lo que ya ha sucedido y avanzar hacia el futuro, analizando cuál será el efecto de la automatización del trabajo en las sociedades próximas. Se trata así de focalizar el punto de vista en la sociedad española.



II. Estado del Arte

A. Revoluciones industriales. Razones y consecuencias en los ámbitos económico, laboral y social

Si se analizan desde un punto de vista económico, laboral y social los impactos de las revoluciones industriales ya vividas, es posible concluir que esta nueva revolución se espera que tenga como consecuencia un impulso próspero en diversos aspectos. El hecho de ser capaces de analizar las revoluciones ya ocurridas es una oportunidad de conocer las razones sociales que impulsan que estas revoluciones se den y las posibles consecuencias adversas para poder preparar a la sociedad ante ellas. Resulta interesante reflexionar sobre las adversidades, controversias y progresos en el camino de transformación que conllevan las revoluciones.

Richard Balwin indica: "La tecnología produce una transformación económica, la transformación económica produce una convulsión económica y social, la convulsión produce una reacción de rechazo y el rechazo produce una revolución". Éste indica que son cuatro fases inevitables a la hora de hacer frente a cualquier tipo de revolución muy vinculadas, por tanto, a la gestión del cambio social.

En la Primera Revolución Industrial, con la aparición de la máquina de vapor surgen las fábricas. Esto se traduce un impulso económico y social a nivel mundial. Consecuentemente se produce un progresivo desplazamiento de las zonas rurales a zonas industriales y comienza una época en la que la creación de empleo es significativa. Sin

embargo, también hubo consecuencias adversas como las condiciones laborales precarias, debido a la falta de preparación de dichos empleos, y consideración de los derechos mínimos del trabajador, así como el comienzo de lo que actualmente conocemos como despoblamiento rural. Además, surgió un movimiento social, los luditas, que sintiendo que sus puestos de trabajo estaban en riesgo debido a la automatización de los mismos con las máquinas de hilar y los telares industriales, intentaron encabezar un movimiento de protesta en contra de la nueva maquinaria.

En la Segunda Revolución Industrial, las fábricas continuaron su crecimiento y expansión, la aparición e impulso del uso de la electricidad, teléfono y radio, y el creciente sector de transportes, hace que comiencen a establecerse y asentarse las raíces del capitalismo.

La Tercera Revolución Industrial trae consigo la aparición del sector servicios, actualmente uno de los sectores principales en los que se fundamenta la economía española. Esta revolución es conocida como la Revolución Científico-Tecnológica y surge tras la II Guerra Mundial, a mediados del siglo XX. En ella se da la introducción de los ordenadores y las máquinas, así como el desarrollo de nuevas formas de obtención y almacenaje de energías. En términos de empleo se abre un nuevo marco laboral totalmente diferente con el comienzo del auge del sector servicios.

El cambio del PIB a nivel mundial en las revoluciones industriales es uno de los mayores indicadores de los cambios generados por las mismas, tal y como se puede observar en la Ilustración 1.

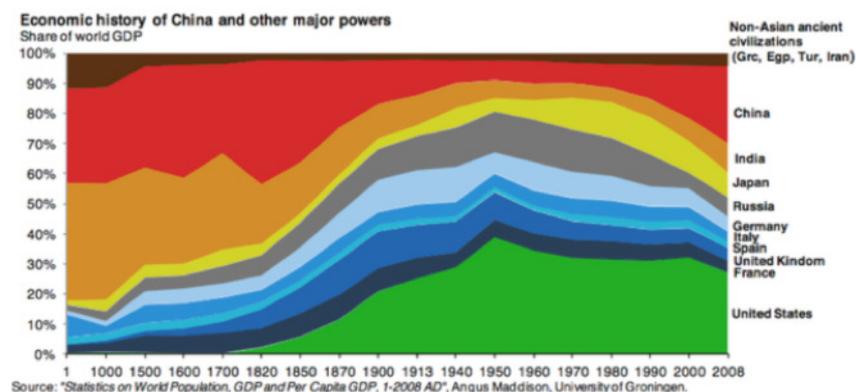


Ilustración 1 Evolución del PIB mundial (1000-2000 d.C.) - Fuente: Angus Maddison, University of Groningen.

Antes de la primera revolución industrial, el PIB de los distintos países o regiones era muy similar ya que dependía mayoritariamente de la natalidad y mortalidad; por ello las variaciones eran mínimas, tratándose, además, de economías esencialmente locales. Sin embargo, la aparición de la máquina de vapor, las cadenas de producción, la electricidad o los ordenadores y procesadores han conllevado a la desaparición de ciertos puestos de trabajos, siendo en última instancia necesaria la adaptación de los profesionales a los nuevos marcos laborales que han ido asentándose gracias a las diferentes tecnologías desarrolladas.

En algunos casos se ha dicho que nos encontramos ante la tercera gran transformación. Echando la vista atrás, el primer gran salto de la sociedad se produjo con el paso de una sociedad agraria a una sociedad inmersa en el auge de la industria, lo que provocó un desplazamiento de las zonas rurales a zonas más industriales. El segundo se desencadenó con el surgimiento del sector servicios que, al ofrecer bienes intangibles resultado del intelecto humano, parecían ser insustituibles por máquinas, pese a que los últimos avances en inteligencia artificial (IA) nos están demostrando lo contrario. Se produce así, el segundo gran giro de las aptitudes requeridas en el mercado laboral. Consecuentemente, continúa el desplazamiento de mano de obra de las zonas rurales a zonas más industriales y surge el trabajo en sector terciario, con un desplazamiento también al espacio de "oficina".

Actualmente, los softwares han pasado de tener capacidades limitadas a un uso concreto a poder aprender por sí solos con el reciente desarrollo de la IA. Surge así, el "aprendizaje automático", el cual parece haber conseguido desarrollar destrezas sustitutivas de ciertos empleos en todo tipo de sectores, incluido el sector servicios, aportando a estos grandes destrezas en las oficinas y produciendo un potencial desplazamiento que afecta tanto a los trabajadores de las fábricas como de las propias oficinas o despachos.

Se puede observar que los cambios son cada vez más disruptivos en las consecutivas revoluciones industriales; cabe resaltar la progresiva reducción de los periodos en los que se sitúan las revolucio-

nes industriales. La primera revolución data de una duración de aproximadamente 80 años, la segunda de 44 años y la tercera de 16 años. Se puede por tanto esperar una reducción exponencial a su vez en la cuarta revolución industrial. Además, es necesario mencionar la renovación del marco laboral que se ha ido produciendo progresivamente y que actualmente reconoce fundamentalmente el activo intangible.

B. La cuarta revolución industrial

La Cuarta Revolución Industrial no se encuentra ante el surgimiento de nuevas tecnologías, sino ante la creación de un sistema completamente diferente que se apoya en las infraestructuras de las revoluciones anteriores; se habla en este caso de *digitalización*.

De acuerdo con lo que apunta *The World Economic Forum* el elemento diferenciador de esta revolución es la velocidad, dado que la velocidad en los avances actuales no tiene precedentes en la historia y está actualmente interfiriendo en todas las industrias internacionalmente.

La Cuarta Revolución Industrial se entiende no solo como una revolución con unos efectos y unas consecuencias, y de una duración determinada, sino como una gran transformación o cambio de paradigma y forma de proceder, además de mostrar una inmersión en la sociedad prácticamente inmediata y cambiante en el tiempo próximo.

La aparición de nuevas máquinas capaces de realizar trabajos repetitivos, así como la aparición de nuevas tecnologías software capaces de aprender por sí mismas en la toma de decisiones y rectificación de errores, permiten la sustitución de trabajos que requieren destrezas repetitivas y manuales por máquinas.

La inteligencia artificial es uno de los desarrollos tecnológicos diferenciadores de esta revolución principalmente por la inmersión del aprendizaje automático en el ámbito laboral. Actualmente, el uso de las nuevas tecnologías de software inteligentes muestra en ciertas tomas de decisión una precisión mayor que la que podría ser llevada a cabo por seres humanos debido a la posibilidad de acumular un mayor número de datos.



Cabe por tanto concluir, que esta Cuarta Revolución Industrial conlleva a una transformación próxima en el ámbito laboral. El uso de las nuevas tecnologías ya comienza a suponer la supresión de puestos de trabajo que pueden ser sustituidos por máquinas – cabe resaltar el debate entre beneficios y adversidades que conlleva dicha sustitución - y la generación de nuevos puestos.

Una de las mayores incógnitas que se genera de cara a lo que la Cuarta Revolución trae consigo, y a la esperada generación de nuevos trabajos, es cómo será el cambio en las habilidades requeridas, dado que, de cara a anticipar a la sociedad frente a las adversidades, y con el fin de que la misma este formada y preparada para poder lidiar con los nuevos de trabajo generados, será necesario generar paralelamente cambios en la educación y estructura a nivel global.

El mismo Richard Balwin en su libro “La convulsión globótica” acuña un nuevo término, *Globotización*, donde se entremezcla la globalización y la automatización, los dos grandes factores que están generando el cambio de paradigma. En otros términos, son las dos variables que generan valor entre las compañías, pero a su vez rechazo entre la sociedad.

Gracias a la globalización y el avance de las comunicaciones se puede establecer una conexión inmediata entre EEUU y Europa. Esto puede suponer, por un lado, que países donde 12 euros la hora es considerado como sueldo decente sea una mano de obra con potencial para algunas

empresas. Esto debe sumarse al hecho de que el teletrabajo que comienza a coger fuerza.

“Se presenta aquí a Amelia. Amelia está capacitada para entender la intención, así como el estado de ánimo y emocional del cliente. Además, es capaz de cambiar de idioma y trabajar 24 horas sin riesgo de caer enferma.” [2]

La cuestión es, ¿cómo de justo será el tener que enfrentarnos por un puesto de trabajo a una persona dispuesta a recibir un sueldo mucho menor por que las políticas económicas en su país de origen son muy inferiores? ¿Cómo de justo es el tener que “luchar” por conservar un puesto de trabajo que puede ser realizado por una máquina que es capaz de trabajar 24/7 sin el riesgo de enfermar? Se abre así, la problemática de una posible confrontación social al traducir todo lo comentado anteriormente como competencia desleal.

III. Transformación digital en España

Si se extraen las características latentes en la sociedad actual procedentes de los efectos de la Tercera Revolución Industrial, cabe resaltar el auge de la tecnología. A pesar de que en sus inicios pudo ser considerado un bien de lujo, ésta ha evolucionado y actualmente los precios son lo suficientemente asequibles para que un elevado porcentaje de la población tenga acceso a ella. La desigualdad o brecha tecnológica vista desde el punto de accesibilidad a la misma se ha ido reduciendo progresivamente. Esto se puede observar en la Ilustración 2.

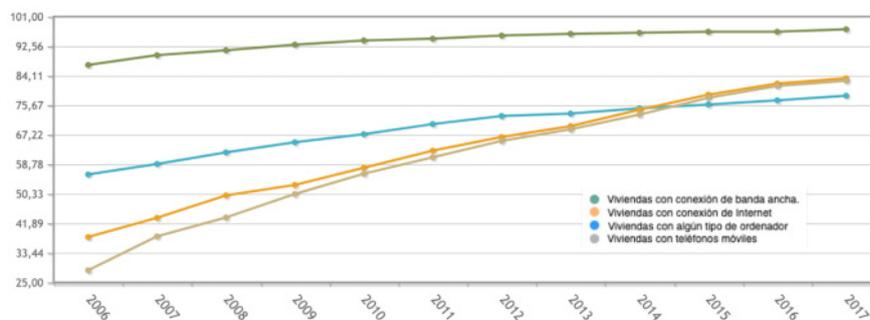


Ilustración 2 Evolución de la digitalización de los hogares españoles desde la tercera Revolución Industrial (Datos obtenidos a través del INE)

Además, los cambios de las revoluciones ya pasadas han mostrado cada vez un grado de disrupción mayor. Este concepto tiende a ser aplicado cada vez a más sectores de la sociedad, se busca la disrupción dada la sociedad cambiante en la que nos encontramos. Cabe esperar pues una revolución tecnológica mayoritariamente a nivel de software, lo que facilita la continuación de desarrollo y la fácil difusión de los cambios generados.

La Revolución 4.0 parece traer consigo unos cambios a nivel software que van a revolucionar el uso de las tecnologías. Esto a su vez va a afectar consecuentemente a la generación y supresión de empleos. ¿Cómo se debe recibir esta predicción, como una oportunidad o como un riesgo? En esta incertidumbre es donde se encuentra la sociedad actual.

La Cuarta Revolución Industrial o Revolución 4.0 dice estar todavía en su infancia y existe tanta incertidumbre que es complejo encontrar una definición común. Una de las más ampliamente aceptadas es la de Genpact, que propone a la 5IR como el momento en que las máquinas y los humanos se combinan en el sitio de trabajo.

Las pequeñas y grandes empresas a nivel mundial están comenzando a introducir estas nuevas tecnologías como herramientas de trabajo, de los cuales aún son pocos los profesionales existentes capaces de manejarlas y sacarles el rendimiento

óptimo. Consecuentemente, actualmente muestran una tendencia en un futuro próximo de ser realmente demandados. Por ejemplo, observando las encuestas del primer trimestre del INE sobre el uso de Big Data en empresas de más de 10 empleados, agrupadas por actividad económica, podemos realizar una pequeña estimación de impacto de estas tecnologías, focalizando el estudio en la sociedad española. Esta información se encuentra representada en las ilustraciones 3 y 4 .

Además, cabe resaltar de los resultados obtenidos en las gráficas anteriores que la introducción del Big Data ha sido llevada a cabo mayoritariamente en el sector servicios, más que en el sector industrial. Por otro lado, las aplicaciones relacionadas con la robótica son mayoritarias en este segundo. Sin embargo, a pesar de que la robótica está orientada a ser un sustitutivo laboral en los trabajos repetitivos y cada vez se desarrolla más la capacidad de decisión de los mismos, ambos ámbitos necesitan de nuevos profesionales y estiman la aparición de nuevos empleos consecuentes de estos cambios.

En cuanto a la población activa, tal y como se representa en la Ilustración 5 podemos intuir la desestabilidad que hay actualmente en el mercado laboral. La población varía de forma apreciable entre los últimos años como resultado de las crisis vividas en torno a los mismos.

ROBOTICA EN ESPAÑA [INE,2019]

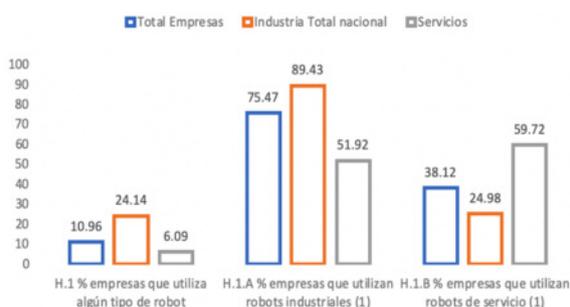


Ilustración 3. Análisis del uso de Big Data en España según sector y tamaño de la empresa

% DE EMPRESAS QUE ANALIZARON BIG DATA EN ESPAÑA SEGÚN SECTOR Y TAMAÑO DE LAS EMPRESAS[INE,2019]

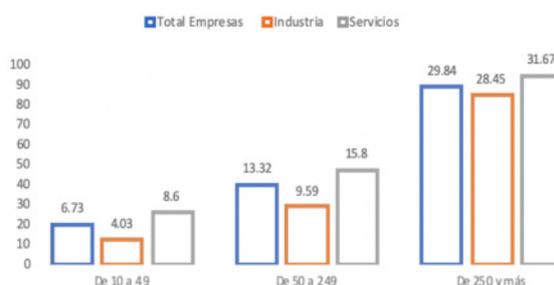


Ilustración 4. Robótica en España según sectores (INE 2019)

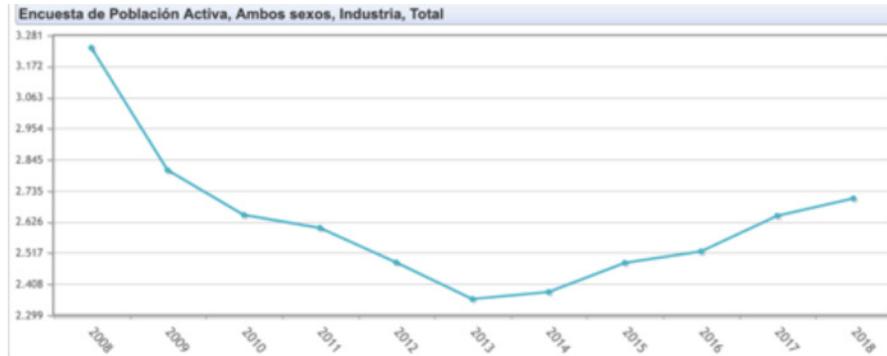
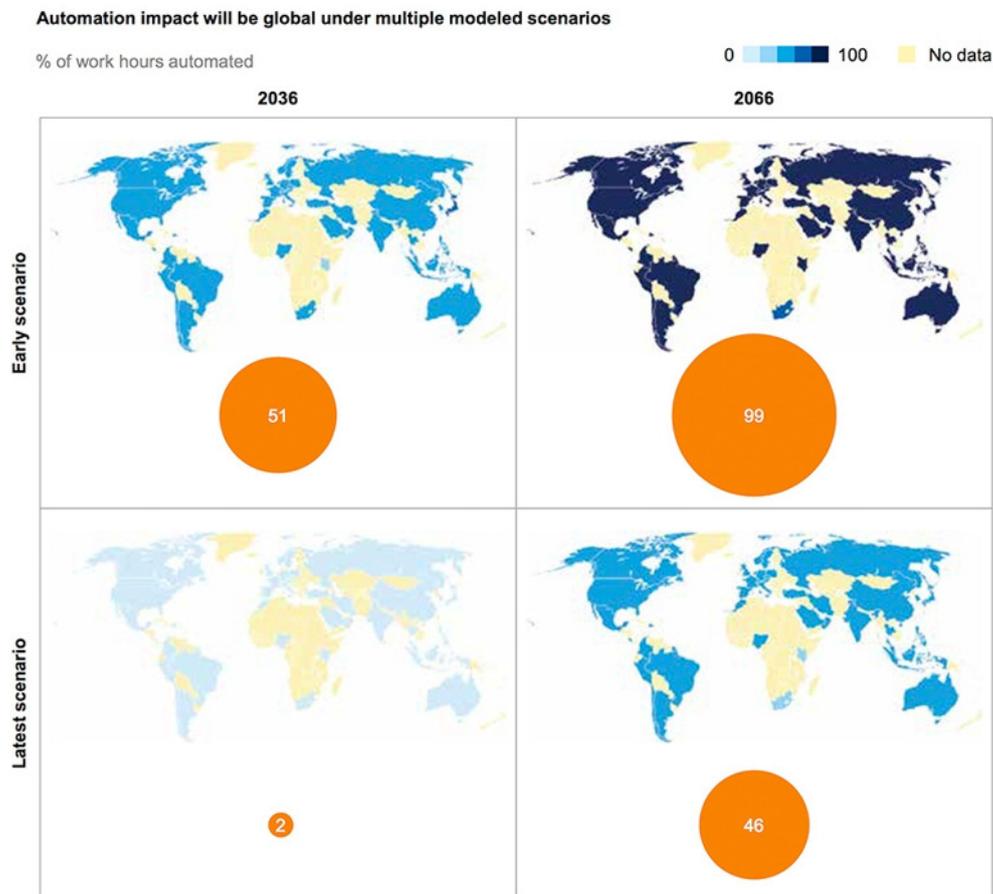


Ilustración 5. Número de trabajadores en España en el sector Industrial.
Datos en miles de personas (Fuente INE)

Por último, Mckinsey realizó en 2017 un estudio sobre el futuro del empleo y que previsiones existen en torno a la automatización en el trabajo. Para ello hace un análisis de dos escenarios tratándose uno de ellos del escenario optimista y otro de ellos pesimista en cuanto a la penetración de la automatización y tecnología.

Tal y como se observa, cabe esperar que en 2066, aún encontrándonos en el estadio pesimista, se consiga automatizar un 46% de las horas laborales tomando como inicio el 2014, año en que se tomaron las medidas expuestas.

Por tanto, en un escenario medio entre los dos, en



SOURCE: US Bureau of Labor Statistics, 2014 O'Net database; McKinsey Global Institute analysis

Ilustración 6 Estudio " A future that works: Automation, employment and productivity. Mc Kinsey Global Institute" [3].

2066 se espera que la situación será de un mundo donde la automatización habrá logrado irrumpir de tal forma que sobre el 60% de las horas de trabajo que se realizan actualmente sean automatizadas.

IV. Generaciones afectadas por los cambios tecnológicos con dificultad de adaptación a los impactos esperados

Tras realizar un estudio a través de datos obtenidos por encuestas realizadas por el INE [4], se han analizado cuáles son los factores más sensibles a la adaptación a los cambios ante las nuevas herramientas de las que se dispone. Los resultados demuestran que el grupo de edad y el tipo de trabajo en el que se encuentra el encuestado es determinante para el grado de adaptación a las nuevas tecnologías y desarrollos software como plataformas online, *marketplaces*, etc. Esto genera un “aislamiento” o falta de sintonía con las tecnologías que se han convertido en determinantes para seguir teniendo la consideración de “actores activos” en la sociedad. Por ejemplo, uno de los métodos más utilizados para la búsqueda de trabajo es la vía online, sin embargo, un estudio realizado por el INE demuestra que

existen generaciones aún no adaptadas a estos nuevos métodos.

Este proyecto está orientado a alcanzar una alternativa a los problemas generados por la transformación digital en España con el objetivo de desarrollar un proceso responsable con aquellas generaciones que sufren el riesgo de quedarse atrás en el proceso de cambio. Además, el objetivo fijado cuenta con utilizar las nuevas aplicaciones de Big Data para avanzar en la solución al problema.

Esto, junto con la temporalidad que actualmente presentan los contratos que se realizan en España, hace que se genere una oportunidad de cambiar la dirección que está tomando la forma de contratación. Se plantea modificar el sistema de buscar/encontrar empleo, de forma que, en vez de ser el trabajador el encargado de buscar empleo sea la propia empresa o compañía quien asuma la responsabilidad de encontrar al trabajador adecuado para un puesto de trabajo. De este modo se pretende fomentar la fidelización del empleado con la empresa en cuestión, fomentar el talento oculto de los empleados, aumento de los contratos indefinidos y fundamentalmente, una reducción de los grupos que se encuentran en riesgo de exclusión ante la modificación del marco laboral.

Referencias

- [1] H. Rosling, *Factfulness: Diez razones por las que estamos equivocados sobre el mundo. Y por qué las cosas están mejor de lo que piensas*, Deusto, 2018.
- [2] R. Baldwin, *La convulsión globótica*, Barcelona: Antoni Bosch, 2019.
- [3] J. C. M. M. B. J. G. K. W. P. D. M. .. Manyika, “A future that works: automation, employment and productivity”, McKinsey & Company, 2017.
- [4] INE, “Instituto Nacional de Estadística”, [En línea]. Available: ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=6058&capsel=6059.



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**.

En 2019 ha tenido lugar la segunda edición del Máster combinado en Ingeniería Industrial e Industria Conectada (MII – MIC).

A su vez, la Cátedra apuesta por reforzar la **formación de los profesionales en activo** que son quienes pueden facilitar desde sus propios trabajos la cuarta revolución industrial. Por ello en 2019 ha tenido lugar la segunda edición del Programa Avanzado en Industria Conectada. Liderazgo y Transformación Digital.

En el 2019 también hemos creado el laboratorio de investigación e innovación (CIC LAB), el cual constituye un espacio destinado a los estudiantes, para que puedan aplicar sus conocimientos resolviendo problemas reales e investigar en temas relevantes para la Cátedra y la industria.



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MÁSTER EN INDUSTRIA CONECTADA (MII-MIC)



Alumnos colaboradores del
Master de Industria
Conectada participan en las
actividades del CIC-Lab.

El Máster combinado formado por el Máster en Ingeniería Industrial (MII) y el Máster en Industria Conectada (MIC) permite obtener las capacidades generalistas del ingeniero industrial, a la vez que se adquiere una formación específica sobre el nuevo contexto industrial resultante de la digitalización de la industria.

Este programa se ha diseñado para desarrollar las habilidades y capacidades de ambas titulaciones en dos años. El incremento de la carga lectiva, requiere alta capacidad de organización, de estudio y de trabajo, un esfuerzo que está permanentemente guiado por profesores y tutores.

La combinación de rigor académico y prácticas en proyectos reales permitirá al alumno responder con solvencia a los nuevos retos de las empresas (*machine learning, big data, IoT, cloud communications, digital manufacturing, cybersecurity...*). 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 da acceso a los programas de Doctorado.

El perfil de ingreso natural es el de graduado en Ingeniería Electromecánica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, ya que para garantizar la adquisición de competencias incluidas en el Máster en Ingeniería Industrial propuesto es necesario que los estudiantes accedan con las competencias, los conocimientos y los resultados del aprendizaje previamente adquiridos en el mencionado Grado. Otros perfiles de acceso naturales son los graduados en Tecnologías Industriales de otras escuelas de ingeniería.

Este título habilita para la profesión regulada de ingeniero industrial, según la normativa vigente. Así mismo el Máster en Ingeniería Industrial está enfocado de tal forma que proporciona una formación multidisciplinar e integradora, combinando la formación tradicional de los ingenieros con formación transversal para el liderazgo en contextos internacionales mediante el desarrollo de las habilidades profesionales y de comunicación. El complemento del Máster en Industria Conectada permitirá añadir a las habilidades del Máster en Ingeniería Industrial una amplia visión de las posibilidades de las nuevas tecnologías digitales en los procesos industriales.



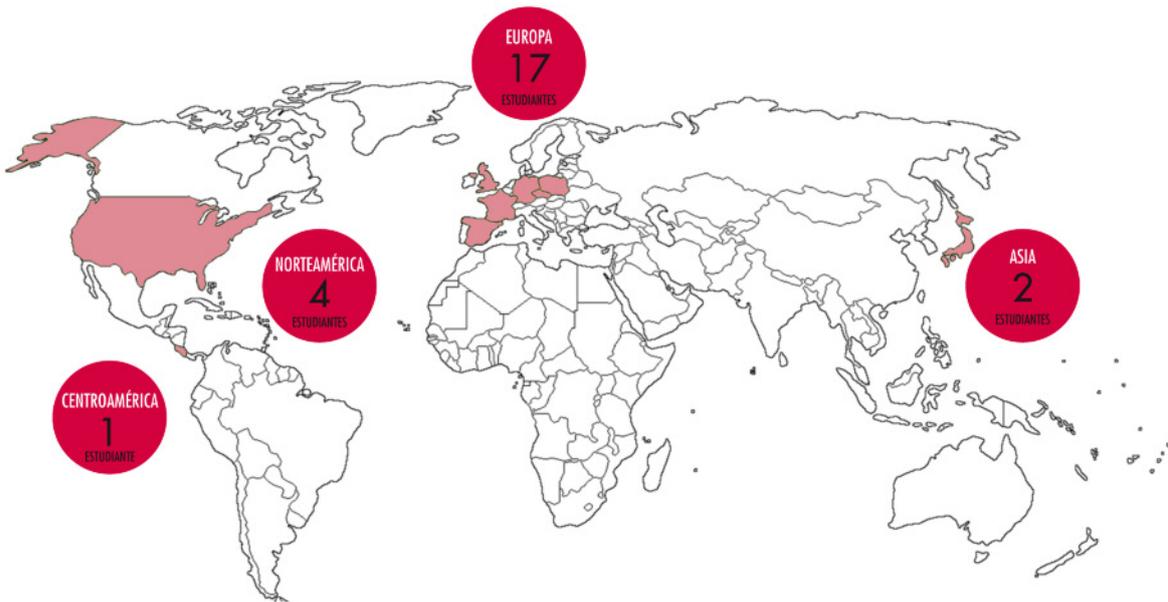
Las salidas profesionales más habituales de esta titulación son:

- Responsable de proyectos industriales
- Responsable de productos industriales
- Responsable de grandes instalaciones industriales
- Dirección de transformación digital
- Dirección general, técnica, estratégica o tecnológica de organizaciones
- Director de planificación, calidad, producción o gestión medioambiental
- Investigación, Desarrollo e Innovación
- Dirección de equipos multidisciplinares o internacionales
- Consultor y asesor



En 2019 los alumnos de la primera promoción del Máster en Industria Conectada terminaron sus estudios con un periodo de prácticas en empresa. Como puede verse en la figura, nuestros alumnos pusieron en práctica sus conocimientos en de todo el mundo.

Todos los egresados del programa están actualmente empleados en sectores como la consultoría estratégica, industria, etc. Dos de los participantes en esta primera promoción han decidido continuar con su formación en la ETSI ICAI, comenzando su etapa de doctorado.



Alumnos del Master de Industria Conectada



Algunos testimonios de alumnos actuales del Máster en Industria Conectada:

Marta Bravo Lázaro:

“ Es una oportunidad que te abre camino entre los grandes cambios y oportunidades en el sector industrial, además de poder afrontarlos en alguna gran empresa. ”

Alberto Menéndez Ruíz de Azúa:

“ El Máster de Industria Conectada me ha permitido complementar mis conocimientos y desarrollo como ingeniero industrial con una formación en transformación digital, que me permiten entender los procesos industriales desde el punto de vista de la Industria 4.0 y adaptarlos a esta nueva revolución industrial. Su marcado carácter tecnológico y práctico, junto con la inmersión en temas como el Machine Learning, Ciberseguridad, BigData o Robótica te permiten desde el primer día tener la sensación de progreso profesional y sentir que estas desarrollando destrezas que suponen un factor determinante a la hora de posicionarte en el mercado laboral. Sin duda un Máster que recomiendo a cualquier ingeniero que quiera adaptar sus conocimientos a las nuevas tecnologías disruptivas que están transformando la industria y con ganas de liderar el cambio hacia la digitalización que se está produciendo en el sector industrial. ”



PROGRAMA AVANZADO EN INDUSTRIA CONECTADA. LIDERAZGO Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL



Profesionales en una de las sesiones del Programa Avanzado de Industria Conectada, Liderazgo y Transformación Digital.

Según diferentes estudios, España se sitúa por debajo de la media europea y fuera del Top 40 mundial en lo que respecta a nivel de digitalización, tanto individual como empresarial. Por eso, la Cátedra de Industria Conectada ha puesto en marcha la segunda edición del pionero "Programa Avanzado en Industria Conectada. Liderazgo y Transformación Digital".

Este Programa nace a partir del Máster en Industria Conectada (60 ECTS), dirigido a graduados en ingeniería de la rama industrial sin experiencia profesional, y tiene por objetivo ofrecer formación sobre transformación digital de empresas industriales a profesionales con experiencia de entre 4 y 8 años.

Se imparte en modalidad presencial en Alberto Aguilera 25, en más de 200 horas lectivas –entre teoría, práctica, almuerzos con directivos y visitas a empresas–, por reconocidos profesionales de empresas líderes del sector en estrategias digitales.

Para ser admitido al Programa es necesaria una carta de presentación que incluya información relevante sobre la formación y experiencia del candidato. El proceso de admisión cuenta además con una entrevista personal con el director del Programa Avanzado. La salida profesional natural es de director de transformación digital.

Para Bernardo Villazán, codirector de la Cátedra de Industria Conectada y director del Programa Avanzado, "la transformación digital no es una tendencia, es visión, es estrategia, cultura organizativa, rediseño de procesos".

El reto pasa por repensar los modelos de negocio y las cadenas de valor basándonos en un mercado que cambia muy deprisa y en el que nos enfrentamos a competidores cada vez más ágiles". Por su parte, Mariano Ventosa, codirector de la Cátedra y vicerrector de investigación e internacionalización de la Universidad indica que "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 que repercute en la forma de hacer negocios, no sólo en los procesos".





La segunda edición del Programa Avanzado ha concluido con 16 graduados. El acto de graduación y entrega de diplomas se celebró el 29 de junio de 2019 en el museo fábrica de Pernod Ricard España en Manzanares.

Javier Jarauta, Director de Consultoría de Grupo SIA, director del Máster en Ciberseguridad de la ETSI ICAI y miembro del claustro de profesores del Programa Avanzado presidió el acto y a él también acudió Pedro Manuel Casablanca, director industrial de Pernod Ricard España y también miembro del claustro de profesores del programa. Intervino también Bernardo Villazán, director del Programa Avanzado y codirector de la Cátedra de Industria Conectada. Durante el acto, Javier Jarauta, destacó la importancia de contar con unos fundamentos sólidos para poder desenvolverse con éxito en el nuevo entorno cambiante de la industria y la economía digital.

Acto de graduación de los alumnos
del Programa Avanzado
de Industria Conectada,
Liderazgo y Transformación Digital.



El Programa Avanzado sigue causando gran satisfacción en el alumnado. De hecho, los 20 participantes en la tercera promoción se graduarán en el primer trimestre de 2020.

Algunos testimonios de alumnos que han realizado el programa:

David Linares, PLADUR GYPSUM S.A.U. Export Manager:

“ El programa de Liderazgo para la Transformación Digital es ideal para personas que quieran tener una visión global de las nuevas tecnologías que afectan con su disrupción al mundo de los negocios convencional y las nuevas formas de trabajar (Agile). Lo recomiendo a Seniors que tienen que tomar responsabilidades digitales viniendo de áreas no digitales y profesionales con un mínimo de experiencia de 5 años que quieren iniciar su andadura profesional en este campo. El alto nivel de los ponentes, una cuidada selección de alumnos, además del complemento de los almuerzos con el CEO y las visitas a industrias disruptivas han cambiado mi manera de ver los negocios. Ha sido la palanca para dar un salto mental y obtener resultados por encima de los crecimientos incrementales. ”

María José Franco, Structuring, ENDESA:

“ Participar en el Programa Avanzado en Industria Conectada ha sido una oportunidad tanto de aprender como de relacionarme con excelentes profesores y profesionales. Además, me ha generado curiosidad y ganas de continuar profundizando en muchas de las materias y, sobre todo, de mantenerme al día en este entorno cambiante. ”

Miguel Canga, IBERIA Vendor Control Manager:

“ Una buena combinación entre teoría y práctica donde la red de conocimiento que se forma entre los alumnos, cada uno con una formación y procedente de un sector diferente, se convierte en unos de los activos de mayor valor del programa. Es espectacular cómo las experiencias previas en retos de transformación y la apertura de pensamiento que el programa genera hacen que los debates, durante y después del programa, se enriquezcan notablemente y nos permitan llegar a soluciones antes inexploradas.. ”



MEMORIA ANUAL 2019

© Universidad Pontificia Comillas

EDITA:
Cátedra de Industria Conectada

DISEÑO Y REALIZACIÓN:
Alcuadrado, Diseño y Comunicación, S.L.





comillas.edu