

BRTA

BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY
ALLIANCE

TECNOLOGÍAS DIGITALES

LA AGENDA DE INVESTIGACIÓN DE BRTA

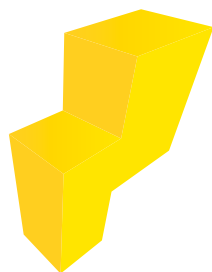
LA AGENDA DE INVESTIGACIÓN DE BRTA



LA AGENDA DE INVESTIGACIÓN DE BRTA

ÍN- DI- CE





BRTA

BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY
ALLIANCE

Introducción **_04**

Pilares tecnológicos **_12**

Tecnologías disruptivas **_64**

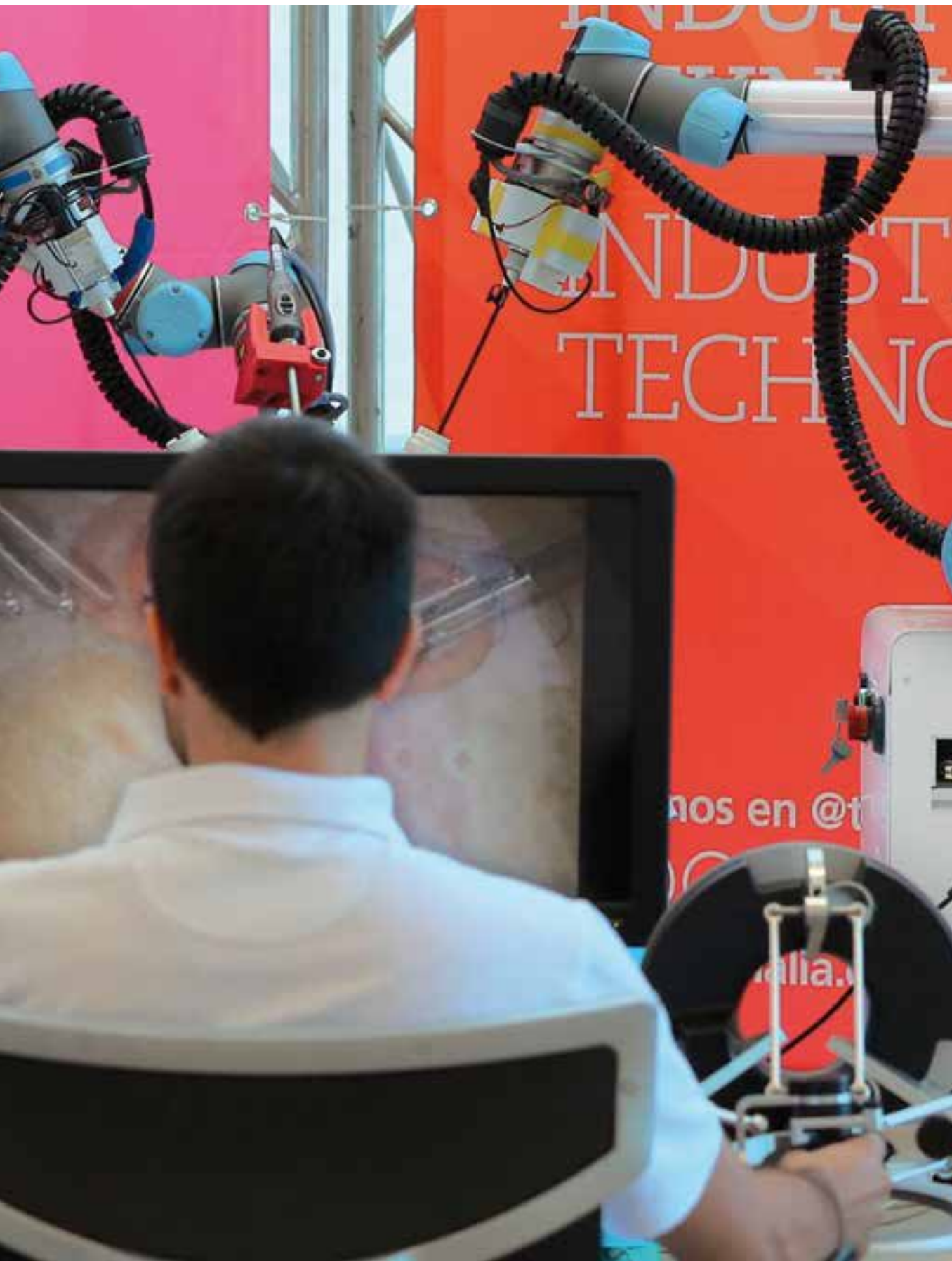
Soluciones digitales **_82**

Capacidades de BRTA **_94**

01

INTRODUCCIÓN





TECNOLOGÍAS DIGITALES

01

INTRODUCCIÓN



Las tecnologías digitales están cambiando la vida de las personas, desde la forma en que nos comunicamos hasta la manera en que vivimos y trabajamos. La **transformación digital** es la integración de las tecnologías digitales en las empresas y su impacto en la sociedad. Las plataformas digitales, el Internet de las Cosas (IoT), las nubes informáticas y la Inteligencia Artificial forman parte de las tecnologías que afectan a sectores que van desde el transporte a la energía, sistema agroalimentario, telecomunicaciones, servicios financieros, producción industrial, sanidad, así como a la vida cotidiana de los ciudadanos.

La apuesta por lo digital es esencial en las políticas de la UE, ya que presenta importantes oportunidades en creación de empleo, promoción de la educación, aumento de la competitividad y la innovación, lucha contra el cambio climático y la facilitación de la transición ecológica.

La apuesta por lo digital es esencial en las políticas de la UE, ya que presenta importantes oportunidades en creación de empleo, promoción de la educación, aumento de la competitividad y la innovación, lucha contra el cambio climático y la facilitación de la transición ecológica.

Europa aspira a capacitar a las empresas y a las personas para un futuro digital sostenible, más próspero y centrado en el ser humano. Para ello se ha definido el programa «Itinerario hacia la Década Digital», con metas y objetivos concretos para 2030, guiando la transformación digital de Europa en los ejes de capacidades (20 millones de especialistas en TICs y 80 % de la población con capacidades digitales), empresas (70% de empresas utilizando de la nube y la IA, duplicar unicornios), infraestructuras (duplicar cuota producción semiconductores, ordenador con aceleración cuántica) y digitalización de los servicios públicos (100% online, identidad digital).

La consecución de los objetivos digitales se apoya en la declaración sobre los derechos y principios digitales para la Década Digital. Su finalidad es definir los derechos de los ciudadanos en el espacio digital situando a las personas en el centro de la transformación digital¹⁻².

Para favorecer esta transformación digital la UE está desarrollando los siguientes ámbitos de actuación³:

Economía de los datos

Con el desarrollo de la tecnología, cada vez hay más datos disponibles. El Consejo pretende crear un mercado único de datos, permitiendo así un mayor intercambio y reutilización de datos entre sectores y a través de las fronteras, de acuerdo con los principios de la UE. Es una economía en crecimiento, de 2018 a 2025 se espera que el valor de la economía de los datos en la UE-27 pase de 301 000 millones de euros a 829 000 millones de euros; el número de profesionales de los datos pasará de 5,7 millones a 10,9 millones; el porcentaje de población de la UE con competencias básicas aumentará del 57 % al 65 %. Para ello, la CE ha propuesto una Estrategia Europea de Datos que facilitará la transformación digital en los próximos cinco años que incluye el Reglamento de Gobernanza de Datos, cuyo objetivo es promover la disponibilidad de datos para su reutilización intersectorial y transfronteriza.

Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) puede contribuir a una economía más innovadora, eficiente, sostenible y competitiva, mejorando al mismo tiempo la seguridad, la educación y la atención sanitaria de los ciudadanos. También favorece la lucha contra el cambio climático. Al tiempo que apoya el desarrollo de la tecnología de IA, el Consejo reconoce los riesgos potenciales y propugna que se adopte un enfoque ético y antropocéntrico de dicha tecnología. Respecto al empleo, de aquí a 2025, la IA y la robótica podrían crear 60 millones de nuevos puestos de trabajo en todo el mundo. En el ámbito regulatorio, se ha publicado un Reglamento para la armonización de las normas en materia de Inteligencia Artificial que garantice una IA segura, lícita y fiable que respete los derechos fundamentales.

Conectividad

Es necesaria una conectividad rápida y ubicua en toda la UE que dé a todos los europeos acceso a la tecnología digital. La UE ha fijado unos objetivos de conectividad para 2025, que son la conectividad de gigabit para todos los motores socioeconómicos principales, una cobertura 5G sin interrupciones en las zonas urbanas y en las grandes vías de transporte terrestre, y un acceso a la conectividad que ofrezca al menos 100 Mbps para todos los hogares europeos.

Ciberseguridad

Dado que las amenazas y los delitos cibernéticos aumentan en número y complejidad, la UE está trabajando para mejorar su capacidad de respuesta y proteger la integridad, la seguridad y la resiliencia **de los productos electrónicos**, de las infraestructuras digitales y de las redes y los servicios de comunicación. Para ello es fundamental proporcionar un entorno de comunicación seguro, y garantizar el acceso a los datos y pruebas electrónicas a efectos judiciales y policiales⁴⁻⁵.

--

1 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/shaping-europes-digital-future_es

2 <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2022/11/14/declaration-on-digital-rights-and-principles-eu-values-and-citizens-at-the-centre-of-digital-transformation/>

3 <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/a-digital-future-for-europe/>

4 <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/cybersecurity/>

5 <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/e-evidence/>

TECNOLOGÍAS DIGITALES

01

INTRODUCCIÓN

Los Estados miembros de la UE reconocen la necesidad de reforzar, modernizar y aclarar las normas sobre los servicios digitales a fin de garantizar la seguridad de los usuarios en línea, y permitir el crecimiento de las empresas digitales innovadoras.

8

Servicios digitales

Las plataformas en línea son una parte importante del mercado y de la economía digitales de la UE. Los Estados miembros de la UE reconocen la necesidad de reforzar, modernizar y aclarar las normas sobre los servicios digitales a fin de garantizar la seguridad de los usuarios en línea, y permitir el crecimiento de las empresas digitales innovadoras.

En consonancia con las políticas europeas, a nivel estatal, la agenda España Digital⁶ es la hoja de ruta para la transformación digital, una estrategia ambiciosa para aprovechar plenamente las nuevas tecnologías y lograr un crecimiento económico que contribuya a la cohesión social. España Digital 2026 actúa en tres dimensiones clave: **infraestructuras y tecnología, economía y personas** con 10 ejes estratégicos. En la dimensión de infraestructuras y tecnología los ejes son la conectividad digital, el impulso a la Tecnología 5G, la ciberseguridad y la economía del dato e Inteligencia Artificial. En el ámbito de la economía tenemos la transformación digital del sector público, la transformación digital de la empresa y emprendimiento digital, la transformación digital sectorial y sostenible y España, hub audiovisual. Por último, en el ámbito de personas se encuentran las competencias y los derechos digitales.

En Euskadi se ha definido la Estrategia para la Transformación Digital de Euskadi 2025 (ETDE2025)⁷ y se estructura en tres dimensiones: palancas tecnológicas, habilitadores y ámbitos de aplicación que actúan como un sistema buscando la generación de valor para Euskadi. La selección de las palancas tecnológicas se ha llevado a cabo teniendo en cuenta el papel disruptivo que están llamadas a tener a corto, medio y largo plazo en los retos que se plantean en las tres transiciones (tecnológico-digital, energético-medioambiental y social-sanitaria).

Las **palancas tecnológicas** son tecnologías digitales innovadoras en las que Euskadi debe ir ganando un conocimiento avanzado para su aplicación en la actividad pública, productiva y social. Estas palancas incluyen aspectos como conectividad 5G, Inteligencia Artificial, computación cuántica, servicios cloud, servicios de interoperabilidad y la ciberseguridad.

Los **habilitadores** son el conjunto de instrumentos impulsados desde las Administraciones Públicas y el sector privado, que hacen que el territorio sea más fértil y atractivo para la proliferación de iniciativas innovadoras basadas en las palancas tecnológicas de mayor potencial transformador. Entre los habilitadores se incluyen las competencias digitales, I+D, compra pública de innovación, conectividad de banda ancha, emprendimiento, comunidad tecnológica cohesionada, ...

Los **ámbitos de aplicación** son las áreas específicas de la actividad pública y privada que se están viendo afectadas por la irrupción de las tecnologías digitales y que está conllevando todo un proceso de transición a nuevos modos de generar valor, nuevos modelos de relación social y productiva o nuevos modelos de negocio. Estos ámbitos incluyen pymes, Industria Inteligente, energía y medioambiente, industria alimentaria, seguridad, empleo, educación, movilidad, e-Administración, ...

En este contexto a europeo, estatal y Euskadi, BRTA es un actor clave para responder a los retos que nos presenta la transición tecnológico-digital. Para ello en este documento presentan las capacidades de la alianza BRTA clasificados en pilares tecnológicos, tecnologías disruptivas y soluciones digitales. Los pilares tecnológicos son 7 ámbitos de desarrollo tecnológico consolidados en BRTA: electrónica y sistemas embebidos, IA y ciencia de datos, conectividad, plataformas digitales, ciberseguridad, ingeniería del software y tecnologías de interacción. Las tecnologías disruptivas son ámbitos de desarrollo incipientes con gran potencial transformador y las soluciones digitales son soluciones que utilizan varios pilares tecnológicos.

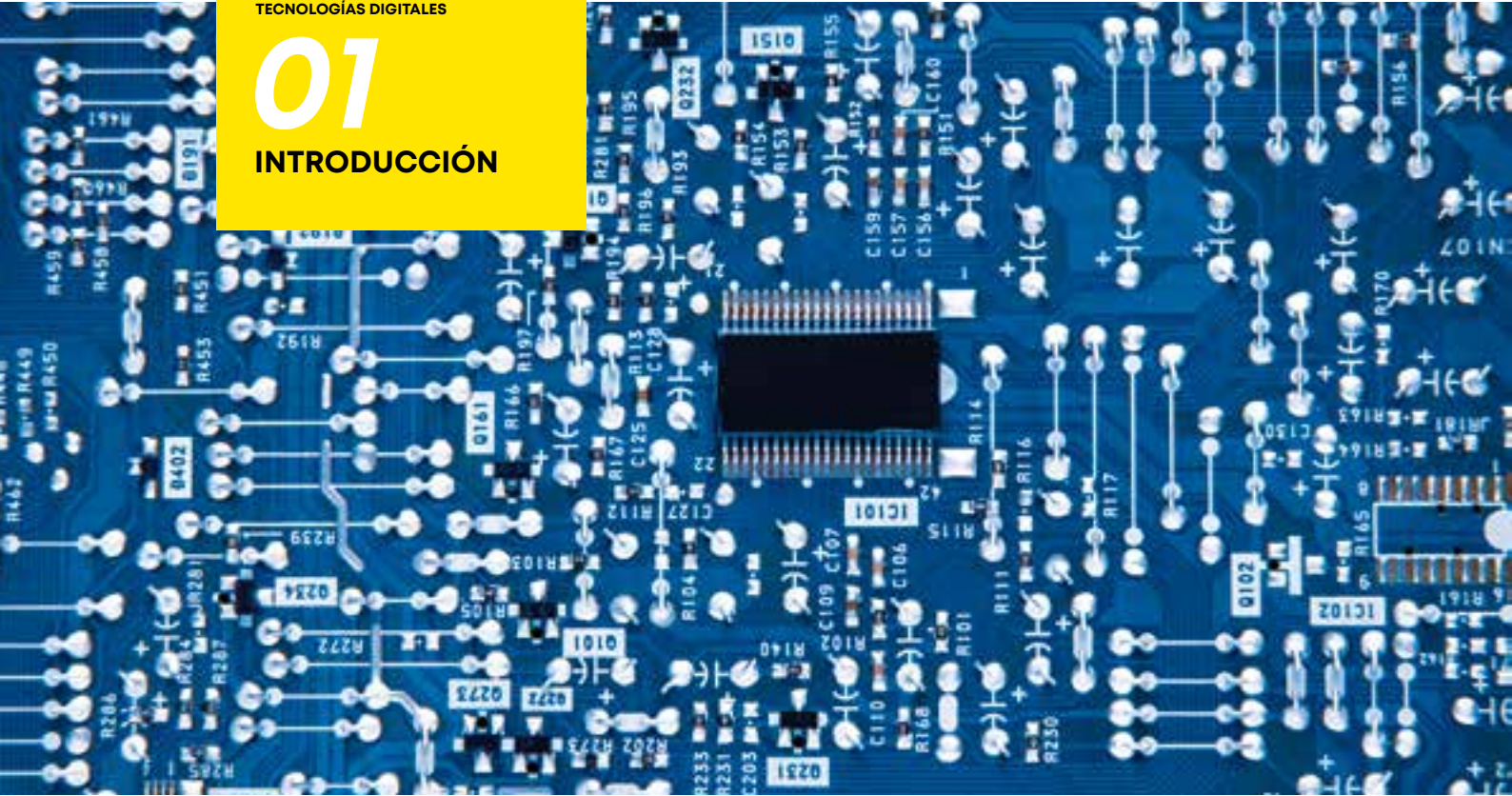


⁶ https://portal.mineco.gob.es/ca-es/ministerio/estrategias/Paginas/00_Espana_Digital.aspx

⁷ https://www.spri.eus/archivos/2021/10/pdf/etde2025_estrategia_es.pdf

01

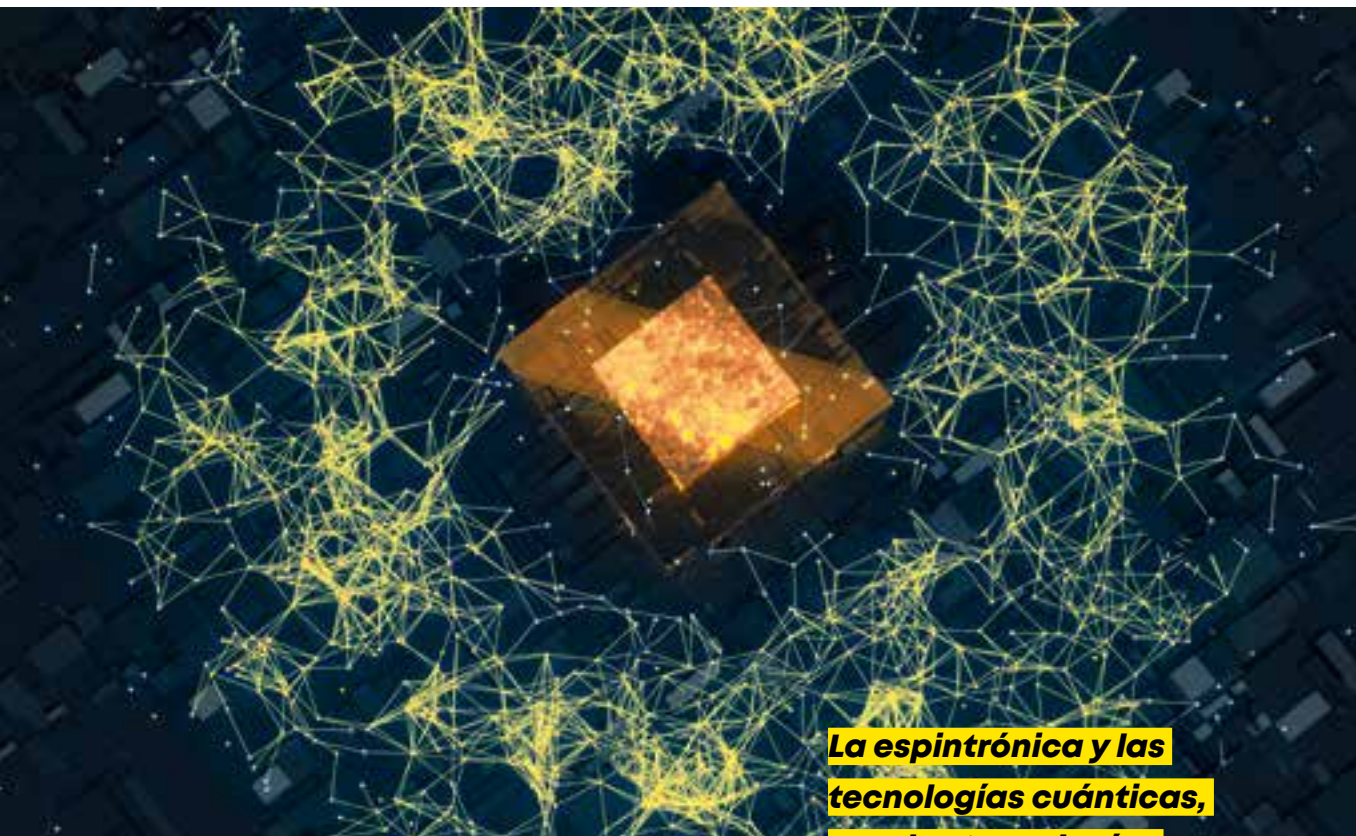
INTRODUCCIÓN



El documento se estructura de la siguiente manera. En la Sección 2 se describen los pilares tecnológicos sobre los que se componen las soluciones digitales en los diferentes sectores y actividades industriales. Para ello, se analiza el posicionamiento en el País Vasco, los principales retos asociados y las capacidades de BRTA para afrontar dichos retos. La Sección 3 analiza dos tecnologías disruptivas que aunque todavía tienen un reducido impacto, pueden llegar a provocar

verdaderas revoluciones tecnológicas. Estas dos tecnologías disruptivas son la espintrónica y las tecnologías cuánticas. En la Sección 4, se presenta un conjunto de Soluciones Digitales que se componen de los pilares tecnológicos ya descritos en la Sección 2 y que tienen un alto impacto en la industria actual. Finalmente, la Sección 5, muestra un mapa de capacidades de BRTA sobre el conjunto de Tecnologías Digitales abordadas a lo largo del documento.

Pilares Tecnológicos	Tecnologías Disruptivas	Soluciones Digitales
<ul style="list-style-type: none"> • Electrónica y sistemas embebidos • IA y ciencia de datos • Conectividad • Plataformas digitales • Ciberseguridad • Ingeniería del software • Tecnologías de interacción 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías cuánticas • Espintrónica 	<ul style="list-style-type: none"> • Gemelo Digital • Robótica • CPS y Redes IoT • Monitorización, Diagnóstico y Predicción



La espintrónica y las tecnologías cuánticas, son dos tecnologías disruptivas que aunque todavía tienen un reducido impacto, pueden llegar a provocar verdaderas revoluciones tecnológicas.

Configurar el futuro digital de Europa / Prioridades de la Unión Europea

- <https://www.digitales.es/publicacion/2030-digital-compass-the-european-way-for-the-digital-decade/>
- https://www.digitales.es/wp-content/uploads/2021/07/kk0521014enn_002_double_paged_81E59A7C-C5D9-65D8-2BAFF66AFB1A4D54_75375.pdf
- <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/strategy-data>
- <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/a-digital-future-for-europe/>
- https://www.digitales.es/wp-content/uploads/2021/07/kk0521014enn_002_double_paged_81E59A7C-C5D9-65D8-2BAFF66AFB1A4D54_75375.pdf

02

PILARES TECNOLÓGICOS

12

2.1 Electrónica y sistemas embebidos _ 14

2.2 IA y ciencia de datos _ 20

2.3 Conectividad _ 29

2.4 Plataformas digitales _ 35

2.5 Tecnologías de Interacción _ 42

2.6 Ciberseguridad _ 53

2.7 Ingeniería del Software _ 59







Las áreas de trabajo de BRTA en el ámbito digital son 7, y por cada una de ellas se desarrolla el siguiente esquema: introducción, posicionamiento del País Vasco, retos tecnológicos y prioridades de I+D.

2.1 Electrónica y sistemas embebidos

2.1.1 Introducción

Cuando hablamos de electrónica y sistemas embebidos nos referimos a los dispositivos y sistemas electrónicos que están integrados en otros productos o equipos. Estos sistemas suelen incluir una combinación de hardware, como microprocesadores y sensores, y software, y firmware y software integrado. Podemos encontrar ejemplos de sistemas embebidos en numerosas aplicaciones industriales, del sector de la automoción y hasta de la salud. De hecho, los sistemas electrónicos son uno de los principales facilitadores de la transformación digital, permitiendo el desarrollo de muchos productos innovadores y servicios en todos los sectores de la economía.

La realización de componentes y sistemas electrónicos inteligentes para las aplicaciones actuales de digitalización requiere de diferentes elementos, tales como: electrónica digital, electrónica analógica, electrónica mixed-signal,

memorias, electrónica de potencia, sensores, actuadores, circuitos para la gestión de la energía, etc. Esta heterogeneidad de funcionalidades se puede integrar de forma monolítica en un único chip en los denominados sistemas en chip (SoC). Sin embargo, la complejidad creciente de las aplicaciones actuales requiere de componentes multichip y del uso de tecnologías de integración system-in-package o sistema en paquete (SiP). Un sistema en paquete (SiP) integra múltiples circuitos integrados (IC) y otros componentes, como componentes pasivos, en un solo paquete. Estos circuitos integrados y componentes generalmente se fabrican por separado y luego se ensamblan para formar un solo paquete. El paquete puede incluir una variedad de funciones diferentes, como microprocesadores, memoria y comunicación inalámbrica. La tecnología SiP permite la integración de múltiples funciones en un solo paquete, lo que puede reducir el tamaño y el costo de los dispositivos y sistemas electrónicos, y mejorar su rendimiento y confiabilidad.

Se espera que el futuro de la electrónica esté determinado por varias tendencias y tecnologías clave, tales como la miniaturización, la flexibilidad, o la denominada electrónica verde. La miniaturización permitirá la integración de la electrónica en espacios más pequeños. Los componentes electrónicos flexibles se adaptarán a diferentes formas y tamaños. La electrónica verde utilizará materiales sostenibles y permitirá el desarrollo de dispositivos más



eficientes energéticamente. En general, se espera que el futuro de la electrónica y los sistemas integrados esté determinado por la integración de diversas tecnologías y la creciente demanda de dispositivos y sistemas conectados.

2.1.2 Posicionamiento en el País Vasco

En el PCTI EUSKADI 2030, se identifican los sistemas ciberfísicos como una de las tecnologías base para la transición tecnológico-digital. Estos sistemas ciberfísicos son sistemas electrónicos que están interconectados entre sí formando una red de componentes electrónicos inteligentes.

En Euskadi, se dispone de un ecosistema de empresas, de centros tecnológicos y universidades con un gran conocimiento en electrónica y sistemas embebidos. La Asociación de Industrias del Conocimiento y Tecnología Aplicada (GAIA) engloba a estos agentes.

Así, podemos encontrarnos en Euskadi tanto con empresas que diseñan y fabrican componentes electrónicos y circuitos impresos ensamblados (PCBs), como, por ejemplo, IKOR Sistemas Electrónicos, IDK Elektronika, P4Q, Fagor Electrónica o Microelectrónica MASER; como con empresas que integran distintos componentes electrónicos para diseñar dispositivos electrónicos innovadores para muy distintas aplicaciones, tales como electrónica de consumo, telecomunicaciones o telemedicina (ALCAD Electronics, Ikusi-Velatia,

Cuando hablamos de electrónica y sistemas embebidos nos referimos a los dispositivos y sistemas electrónicos que están integrados en otros productos o equipos. Estos sistemas suelen incluir una combinación de hardware, como microprocesadores y sensores, y software, y firmware y software integrado.

Copreci, Fagor Automation, etc). Asimismo, nos podemos encontrar con empresas que ofrecen servicios de ingeniería para el diseño de software y hardware de un dispositivo electrónico (Ulma Embedded Solutions, Tinkoa Embedded Systems, etc)

Cabe resaltar que GAIA ha traccionado el **Basque Microelectronics Hub** (<https://bmh.gaia.es/es/hub/>), en colaboración con la Alianza Vasca para la I+D (BRTA) y ocho centros tecnológicos y de investigación cooperativa (CEIT, Gaiker, CIC Energigune CIC Nanogune, IKERLAN, TECNALIA, TEKNIKER y VICOMTECH) que cuentan con especialización y soluciones relacionadas con la microelectrónica y sus tecnologías. El objetivo del Basque Microelectronics Hub es poner en valor la disciplina microelectrónica, que engloba el estudio y la fabricación de diseños y componentes electrónicos de muy pequeño tamaño y que típicamente están hechos de materiales semiconductores.



En estos momentos, más de 80 empresas industriales vascas han mostrado su apoyo y compromiso con esta iniciativa.

Entidades de **BRTA traccionan iniciativas de investigación básica con el diseño de sistemas electrónicos de alta capacidad y ultra-bajo consumo y sistemas de sensorización avanzados** (Proyectos Elkartek μ 4IoT, ANDREA, IDEA II) y **lideran y participan también proyectos nacionales o internacionales** en este sentido (WATEREYE, DRAGON, PolySensor)

A continuación, se listan los proyectos nacionales en electrónica y sistemas embebidos más representativos de los miembros de BRTA:

- **harshMop:** Sistema de monitorización continua de plataformas offshore mutiusos para la detección temprana de la corrosión combinado con sistemas de protección a la corrosión. (CPP2021-008523) (2022-2025).
- **MODITRANS:** Modelización y diagnóstico de transformadores (CPP2021-008580) (2022-2025), donde se van a desarrollar tecnologías avanzadas de sensado.
- **PolySensor** Materiales Piezorresistivos de Matriz Termoplásticas para una mayor Integración de Sensores en los Productos de Inyección y Fabricación Aditiva (AEI – 2021 - 2022).

Algunos de los proyectos ELKARTEK en electrónica y sistemas embebidos más representativos de los miembros de BRTA son:

- **MICRO4FAB, μ 4F, μ 4INDUSTRY, μ 4IoT** (conjunto de proyectos ELKARTEK del periodo 2016-2022), donde se han desarrollado tecnologías de sensado avanzadas, investigado en sistemas electrónicos de alta capacidad y ultra-bajo consumo y en tecnologías de fabricación electrónica avanzada.
- **IDEA II** Investigación y desarrollo en electrónica aditiva 3D impresión e integración (2021 – 2022).
- **ANDREA** (2022-2023): Transformación digital y uso eficiente de recursos mediante inspecciones no destructivas.
- **INSPECTA** (2019-2020): Un enfoque de las inspecciones de uniones críticas y defectos por métodos robustos y automatizables.
- **IN-SENSE** (2020-2021): Desarrollo de una nueva generación de trenes de aterrizaje “con capacidad de sentir” que incrementa la seguridad aeronáutica.
- **ERTZEAN** (2021-2022) - Arquitectura embebida para nuevas aplicaciones edge computing.

Destacamos algunos proyectos europeos significativos en los que participan diferentes entidades del País Vasco:



Entidades de BRTA traccionan iniciativas de investigación básica con el diseño de sistemas electrónicos de alta capacidad y ultra-bajo consumo y sistemas de sensorización avanzados y lideran y participan también proyectos nacionales o internacionales.

- **WATEREYE** (O&M tools integrating accurate structural health in offshores energy) donde se han desarrollado tecnologías de sensado de corrosión y sistemas de posicionamiento (2019-2022).
- **DRAGON** (D-band radio 5G network technology), donde se están investigando en tecnologías de diseño de radiofrecuencia de onda milimétrica (2020-2024).
- **FLASH-COMP**: Sustainable production of composites through a human centered digital approach (2022-2026).
- **FR8RAIL, FR8HUB, FR8RAIL II, FR8RAIL III, FR8RAIL IV** (conjunto de proyectos europeos del programa Shift2Rail, periodo 2016-2023): donde se ha investigado en la línea de la digitalización del tren de mercancías y se han desarrollado tecnologías para su monitorización, posicionamiento, etc.
- **NIMBLE-AI**, donde se están investigando arquitecturas de computación neuromórficas para chips orientados a aplicaciones de visión.

2.1.3 Retos tecnológicos / Prioridades de I+D

1) Sistemas electrónicos de alta capacidad y ultra-bajo consumo

Uno de los grandes retos de los sistemas electrónicos del futuro es ser capaz de desarrollar dispositivos cada vez más pequeños, con una mayor capacidad computacional, pero con un menor consumo energético. Asimismo, estos dispositivos deberán ser capaces de trabajar en entornos hostiles de forma robusta. Cada vez más, se integrarán componentes y sistemas en chip (SoC) heterogéneos. Por ese motivo, se identifican las siguientes líneas de actuación:

- Diseño de circuitos integrados (ASIC) y de arquitecturas de FPGAs de altas prestaciones y/o de ultra-bajo consumo.
- Integración de lógica con dispositivos de gestión de la energía, con tecnologías de radiofrecuencia (RF), tecnologías ópticas, de sensorización o de actuación.
- Nuevas arquitecturas de computación neuromórfica.
- Mejora de la compatibilidad de la electrónica en entornos hostiles (altas temperaturas, vibraciones, EMI) para aplicaciones industriales, de automoción o espaciales.
- Diseño en tecnología de ultra-bajo consumo.
- Electrónica impresa de bajo consumo y sostenible.

2) Tecnologías de sensorización avanzadas

Se necesitan sensores de menor consumo energético, capaces de trabajar en entornos hostiles y que permitan caracterizar con mejor precisión distintos parámetros claves de las aplicaciones en las que se vayan a emplear. Así, se considera que los avances en las siguientes líneas de actuación son claves para los sistemas electrónicos del futuro:

- . Diseño de nuevos sensores mecánicos (aceleración, giroscopios, etc).
- . Diseño de sensores de detección selectiva de gases ambientales y respiratorios (CO, CO₂, NO_x, VOC, etc.).
- . Diseño de sensores electromagnéticos o de ultrasonidos, que permitan medir propiedades de los materiales en los que están colocados (corrosión, dureza, etc).
- . Tecnologías de transmisor/receptor para aplicaciones como LIDAR e imágenes Active Phased Array.
- . Sensores biológicos y bioquímicos.
- . Sistemas de posicionamiento.

3) Tecnologías avanzadas de electrónica de potencia

Se necesitan nuevos y significativos avances en la electrónica de potencia de los sistemas electrónicos empleados en aplicaciones Internet of Things (IoT), para una gestión óptima de la energía disponible. Se debe avanzar tanto en una mejor recolección y almacenamiento de la energía, como en una mejor gestión de la energía disponible. Así, se identifican las siguientes líneas de actuación en las que avanzar en el diseño de la electrónica de potencia:

- . Mayor densidad de potencia y frecuencia, nuevos materiales para electrónica de alta temperatura y nuevos procesos CMOS/IGBT
- . Recolección y almacenamiento de energía, micro baterías, supercondensadores y transferencia inalámbrica de energía.
- . Componentes y sistemas energéticamente eficientes.
- . Sistemas autónomos de energía para aplicaciones IoT.

4) Tecnologías de diseño de radio frecuencia

Los sistemas ciber-físicos habitualmente se comunican de forma inalámbrica, porque se suelen colocar en lugares donde no es sencillo llegar mediante red cableada. Asimismo, estos enlaces de comunicación cada vez requieren de mayores tasas de comunicación. Dado que el espectro electromagnético está cada vez más saturado, una de las tendencias de los sistemas de comunicación es aumentar las frecuencias de trabajo para trabajar en bandas que permitan comunicarse con grandes anchos de banda, lo que impone grandes retos en el diseño de los dispositivos electrónicos de radio-frecuencia. Así, se considera que las siguientes líneas de actuación serán claves para el desarrollo de los sistemas ciber-físicos del futuro:

- . Diseño de soluciones miniaturizadas de alta frecuencia, trabajando en bandas de onda milimétrica (> 60 GHz) y de THz (>100 GHz).
- . Diseño de electrónico de bajo consumo de radio frecuencia para señales de ultra-ancho de banda.
- . Integración de funcionalidades adicionales como antenas, dispositivos pasivos y fuentes de potencia embebidos: Power-Source-in-Package (PSiP)/Power-Source-on-Chip (PwrSoC)

5) Tecnologías de fabricación de hardware avanzadas

Los distintos componentes electrónicos se montan habitualmente sobre PCBs (printed circuit boards). Como se ha comentado, la tendencia actual es tratar de embeber más funcionalidad en menos espacio, ya que se busca tener dispositivos electrónicos de menor tamaño y de menor peso. Para ello, se requiere mejorar las técnicas de fabricación de hardware actuales, tanto de las PCBs como de los propios componentes electrónicos. Se listan a continuación las líneas de actuación que se consideran críticas para conseguir los objetivos marcados en este reto:



Se debe avanzar tanto en una mejor recolección y almacenamiento de la energía, como en una mejor gestión de la energía disponible.

- Diseño de PCBs en sustrato flexible
- Impresión 3D de componentes IC sobre PCB
- Fabricación de circuitos integrados empleando nuevas tecnologías y nuevos materiales: BiCMOS, GaN, SiC, SiGe, etc.

6) Tecnologías de diseño de software en componentes y sistemas electrónicos

Un diseño adecuado del software que se ejecuta en un sistema electrónico es clave para obtener un dispositivo seguro y eficiente energéticamente, tanto de si se trata del firmware que corre en un microcontrolador como de software que corre en un microprocesador con sistema operativo. Por ese motivo, se deberá seguir trabajando en las siguientes líneas a actuación:

- . Diseño de firmware seguro y eficiente energéticamente.
- . Técnicas de actualización de firmware en tiempo de ejecución (Over-the-Air updates).
- . Implementación de software en sistemas operativos en tiempo real.
- . Programación eficiente en coprocesadores, GPU y aceleradores de hardware.
- . Programación de middleware distribuido.

7) Ingeniería (Virtual) de Componentes y Sistemas Electrónicos

La ingeniería virtual o el diseño de gemelos digitales de los componentes y sistemas

electrónicos es clave para poder modelar el funcionamiento de un sistema antes de su implementación física, sobre todo cuando se trata de dispositivos de seguridad crítica. Estos modelos deberán permitir no solo verificar la funcionalidad del dispositivo electrónico antes de su fabricación, sino estimar su robustez, fiabilidad y hasta su consumo de potencia. Por ese motivo, se consideran claves las siguientes líneas de actuación:

- . Métodos y herramientas interoperables para la creación de prototipos virtuales de sistemas complejos con una gran cantidad de componentes.
- . Métodos para la co-simulación de hardware y software de sistemas heterogéneos (co-simulación de software, hardware y sensores, hardware-in-the-loop, etc).
- . Metodologías de verificación, validación y pruebas basada en modelos, herramientas interoperables y plataformas para sistemas críticos.
- . Procedimientos para la evaluación de la seguridad funcional, robustez y fiabilidad de dispositivos de seguridad crítica.
- . Métodos y herramientas para el modelado e integración de subsistemas heterogéneos (analógicos, digitales, RF, antenas, electrónica de potencia, memorias, buses, componentes ópticos, componentes pasivos, etc).



2.2 IA y ciencia de datos

20

2.2.1 Introducción

La **ciencia de datos** engloba varias disciplinas, como pueden ser la ingeniería y preparación de datos, la minería de datos, el análisis descriptivo y predictivo, las técnicas de aprendizaje basado en datos, su visualización, etc.

Por otra parte, la **Inteligencia Artificial** se asocia, en general, a sistemas software (y hardware) para los que, dado un objetivo complejo, (1) perciben el contexto a través de los datos (2) razonan a partir tanto de la información extraída de los datos como del conocimiento existente y (3) actúan en una dimensión física o digital para conseguir el objetivo.

La Inteligencia Artificial la podemos entender como un conjunto de tecnologías incluidas en el amplio concepto de la ciencia de datos o no, en cualquier caso son dos conceptos íntimamente ligados. El **proceso analítico de datos puede terminar en la implementación de un algoritmo de IA** o no.

La ciencia de datos e IA se **aplica en multitud de ámbitos**. En la **fabricación** y la **producción industrial**, contribuye a un uso más eficiente de recursos, la energía y los materiales, a través de mejores procesos de diseño y fabricación,

mejorando su operación. Es relevante su contribución en otros sectores, como el de la energía, la salud, la logística y comercio electrónico, la agricultura y la producción de alimentos, el marketing, el entretenimiento y en los sectores de servicios, como los servicios financieros, los servicios públicos, etc.

Indicar que, en general, se trabaja en base a **datos estructurados y no estructurados** (texto, audio, vídeo, etc.), siendo muy relevante la fase de captación del dato con la precisión, fiabilidad y frecuencia requeridas.

El **proceso que sigue un científico** de datos para responder cuestiones que se le plantean se puede resumir en estos pasos: 1) Obtención de los datos; 2) Preprocesamiento de los datos donde se limpian y filtran aquellos datos que no cumplen los criterios de calidad o no son de interés para el análisis; 3) Transformación e integración para homogenizar los datos que provienen de múltiples fuentes, para que sean comparables entre ellos; 4) Análisis de los datos usando diferentes métodos y algoritmos que respondan a las cuestiones objeto de análisis; 5) Validación de los datos: ver si estos datos son robustos o cambian por sesgos propios de los datos, si son necesarios datos adicionales;



BAIC

BASQUE ARTIFICIAL
INTELLIGENCE CENTER

En el 2021, se crea el Centro Vasco de Inteligencia Artificial (BAIC) con el objetivo de liderar e impulsar el desarrollo de la Inteligencia Artificial en Euskadi.

6) visualizar, presentar los resultados, implementar el algoritmo para embeberlo en el producto/ solución deseada.

2.2.2 Posicionamiento del País Vasco

El “**Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación Euskadi 2030**” del País Vasco considera la **Ciencia de Datos y la Inteligencia Artificial** como una de las **tecnologías base clave** en relación a las áreas de especialización y su adaptación a las transiciones tecnológico-digital, energético-climática y social/ sanitaria, y con potencial de desencadenar innovaciones disruptivas en estos ámbitos. Entre sus prioridades estratégicas destacan:

- La **Industria Inteligente** y su reto de valorizar el uso de los datos, aportando inteligencia y en último caso valor a los clientes, lo que pasa por la servitización y el desarrollo de nuevos modelos de negocio.
- **Energías más limpias:** La digitalización, el acceso a datos, la compartición de estos a lo largo de las cadenas de valor, así como la transición hacia nuevos modelos de negocio basados en datos.

- **Salud personalizada:** Acceso a datos a gran escala y analítica avanzada, y nuevas maneras de gestionar datos y extraer conocimiento a partir de datos diversos y complejos, y de emplear dichos datos, para impulsar la investigación e innovación biomédica y avanzar en la prevención, tratamiento y cura de enfermedades.

Como parte de esta estrategia, se crea en el 2021 el **Centro Vasco de Inteligencia Artificial (BAIC)** con el objetivo de liderar e impulsar el desarrollo de la Inteligencia Artificial en Euskadi. BAIC nace para ser un espacio de colaboración público-privada que impulse la Inteligencia Artificial (IA) en Euskadi, un instrumento para su adopción rápida por parte de la industria, a la vez que servirá de laboratorio de experimentación y aceleración de proyectos que sirvan de posicionamiento internacional en uno de los mayores retos tecnológicos y sociales.

Disponemos de un ecosistema y unos objetivos compartidos entre agentes de distintos tipos: Proveedores de IA (consolidados y startups), Empresas usuarias, Agentes de conocimiento, Oferta formativa y Administraciones Públicas.



En paralelo, el **Cluster GAIA ha creado AI Basque**, cuyo alcance se centra en fomentar la Inteligencia Artificial en todos los ámbitos económicos y sociales, promoviendo la colaboración con otros sectores y propiciando el desarrollo de nuevos productos/servicios, tecnologías y mercados. A finales del 2021, AI Basque estaba constituida por 21 empresas del sector ICTA, 3 centros tecnológicos, el Clúster GAIA y la UPV-EHU.

En cuanto a **alineamiento con la estrategia europea**, entidades del País Vasco son parte del ecosistema asociado a los espacios de datos que se están constituyendo en Europa. Destacamos la presencia vasca en la asociación "International Data Spaces (IDS)": El hub español se pilota desde el País Vasco (Baidata), TECNALIA está catalogado como "Competence Center" y tanto TECNALIA como TEKNIKER e IKERLAN son "Implementation partners".

Entidades de **BRTA traccionan iniciativas de investigación** básica relacionadas con el diseño e implantación de **sistemas confiables (robustos, seguros y éticos)** basados en Inteligencia Artificial (Proyectos Elkartek 3KIA, SIIRSE) y **lideran también proyectos europeos** en este sentido (AI-PROFICIENT, ARISE, AITHENA, DARROW).

Iniciativas/proyectos singulares (ELKARTEK):

- . HODEI-X (Contribución del ecosistema vasco a GAIA-X, infraestructura europea federada de datos y servicios)
- . 3KIA (Propuesta Integral y Transversal para el Diseño e Implantación de Sistemas Confiables basados en Inteligencia Artificial)
- . SIIRSE (Sistemas Industriales Inteligentes, robustos, seguros y éticos para la Industria 5.0: paradigmas avanzados de especificación, diseño, evaluación y monitorización)

- . EKODATA – Economía del Dato, generación de valor a través de la explotación analítica
- . RESTERIA (21-22): Desarrollo de una plataforma de inducción resonante para la optimización de ensayos de termografía inductiva mediante la aplicación de Inteligencia Artificial.

Destacamos algunos proyectos europeos significativos en los que participan diferentes entidades del País Vasco:

- . AI-PROFICIENT (Artificial Intelligence for improved PROduction effICIency, quality and maiNTenance)
- . ARISE (23-26) Artificial Intelligence in Manufacturing for Sustainable Applications at SMEs
- . BEAM-IDL (22-23): Multiple laser BEAM-shaping monitoring and Identification boosted by deep-Learning algorithms. VEDLIOT Open call.
- . DARROW (22-26) AI for improved wastewater treatment)
- . AITHENA(22-25) AI - based Trustworthy, Explainable scene and motion prediction and Actions
- . KINAITICS(22-25) AI for cybersecurity reinforcement

Proyectos nacionales significativos:

- . ION-MAKE (Aceleración mediante IA del proceso de optimización en la fabricación de electrodos para baterías de nueva generación - PROYECTOS DE TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y TRANSICIÓN DIGITAL 2021, MICINN)
- . ION-SELF (Automatización y autonomización mediante IA del proceso de síntesis y caracterización de nuevos materiales de electrodo para baterías - Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad, MICINN)



**El Cluster GAIA ha creado
AI Basque, cuyo alcance
se centra en fomentar
la Inteligencia Artificial
en todos los ámbitos
económicos y sociales**



- . Posicionamiento estratégico en modelos virtuales y gemelos digitales para una industria 4.0 – MIRAGED”, utilización de IA para la generación de gemelos digitales, Acreditación y concesión de ayudas destinadas a Centros Tecnológicos de Excelencia “Cervera”, CDTI.
- . IA4TES Artificial Intelligence for Sustainable Energy Transition. Investigación en las soluciones que pueden proporcionar las distintas tecnologías de Inteligencia Artificial, en el desarrollo al sector eléctrico, pensando en el nuevo paradigma de sistema eléctrico que se caracteriza por tener una producción mayoritariamente renovable, mezcla de centralizada y distribuida, una red digitalizada y automatizada, optimizada, capaz de proveer servicios bidireccionales a todo tipo de usuarios.

23

2.2.3 Retos tecnológicos / Prioridades de I+D

. Sensorización y percepción

La sensorización está relacionada con la detección de un objeto o propiedad física y la conversión de esos principios de medida en una señal que puede ser captada y tratada. La percepción es la organización, identificación e interpretación de la información sensorial para comprender la información captada.

El fin último de la sensorización y percepción es el de disponer de información que pueda ser comunicada y procesada. Estas tecnologías deben ser capaces de tratar diferentes tipos de datos: procedentes de sensores en tiempo real, series temporales, textos, sonidos, imágenes, videos, etc.



La sensorización y percepción es el punto de partida para cualquier aplicación relacionada con la IA y la ciencia de datos, las cuales dependerán de que se reciban datos a tiempo, de calidad, significativos y fiables.

Las prioridades de I+D en este ámbito son:

- Asegurar la **percepción independientemente de las condiciones operacionales**: diferentes condiciones ambientales, climáticas, personales, etc.
- Mejorar la **capacidad de sensado en frecuencia y calidad** reduciendo el coste.
- Integración de la **sensorización y procesado de forma modular**.

Estas prioridades están íntimamente relacionados con las del pilar de “Electrónica y sistemas embebidos” y en particular con las “Tecnologías de sensorización avanzadas”.

· Datos, conocimiento y aprendizaje

Este apartado engloba las diferentes tecnologías que permiten construir los modelos. Esta construcción se realiza a partir tanto de los datos que, una vez filtrados y acondicionados, se reciben en un sistema como del conocimiento existente sobre el mismo (organizado por ejemplo en conjuntos de reglas, en ecuaciones físico-matemáticas, o en ontologías). A partir de estos dos elementos se configuran modelos digitales (sólo datos) o híbridos que permitirán realizar los procesos posteriores de razonamiento, optimización, actuación, etc.

El aprendizaje engloba el conjunto de tecnologías dentro de la IA que permite a generar o actualizar un modelo a partir de datos. En el aprendizaje automático el objetivo es automatizar y generalizar la inducción del conocimiento a partir de los datos, en donde también se presta especial atención a la complejidad computacional de los problemas y su solución en tiempos de procesamiento adecuados. Por otro lado, existe un amplio abanico de técnicas (ej. probabilísticas, por refuerzo) en donde el objetivo es actualizar el modelo a partir de la información recibida (nuevos datos, resultados, ...) durante su operación y explotación.

Las prioridades de I+D en este ámbito son:

- Métodos capaces de facilitar la **explicabilidad de los modelos**, especialmente a partir de tecnologías con poca capacidad de auto-explicación, como son las redes neuronales.
- La **‘federación’ del aprendizaje**, dentro de escenarios en donde los datos se encuentran distribuidos en diferentes espacios (ej. por políticas de privacidad) y es necesario combinar/componer la operación y los resultados de modelos simples.
- El uso de técnicas para la **augmentación de datos** que puedan nutrir a estos sistemas de aprendizaje, aumentando tanto la calidad como el número de datos de entrenamiento.
- La incorporación desde el diseño de las premisas de **‘confiabilidad’** (desde una triple perspectiva **ética, legal y de robustez**) tanto a los sistemas de aprendizaje como a los modelos para facilitar su inclusión y evitar el rechazo entre la sociedad.



El razonamiento y toma de decisiones es el fin último de la Inteligencia Artificial. La complejidad en los procesos de toma de decisiones ha crecido de la mano del incremento en la complejidad en un mundo digital, hiperconectado y global.

. Razonamiento y soporte a la decisión

El razonamiento y toma de decisiones es el fin último de la Inteligencia Artificial. La complejidad en los procesos de toma de decisiones ha crecido de la mano del incremento en la complejidad en un mundo digital, hiperconectado y global. El número de variables inmiscuidas en una toma de decisión es cada vez mayor y los tiempos de respuesta cada vez menores. Ambos factores provocan que la capacidad humana en esas tomas de decisiones se vea claramente reducida. La hiper-monitorización de un mundo cada vez más digital abre un abanico ingente de posibilidades para que la Inteligencia Artificial se convierta en complemento perfecto para aumentar las capacidades humanas en la toma de decisiones.

El conjunto de técnicas englobadas dentro de este apartado iría encaminado a **complementar la capacidad cognitiva tanto de modelos (fases de conocimiento y aprendizaje) como de los humanos**, orientando esas capacidades aumentadas hacia la toma de decisiones (p. ej. cómo controlar una máquina para que minimice su consumo mientras satisface los requerimientos de producción generando el menor número de faltas).

Las prioridades de I+D en este ámbito son:

- . La **toma de decisiones** se identifica con la **prescripción o actuación**, tanto si hablamos de **optimización, planificación, búsquedas o diagnóstico**. El razonamiento va más encaminado a garantizar certitud, credibilidad y transparencia al proceso de decisión.

- . Combinación de los sistemas de emulación clásicos basados en ecuaciones físicas paramétricas con el Machine Learning: Los sistemas de toma de decisiones pueden ser **realizados por humanos, máquinas (Machine Decision Making), o una combinación de ambos**. Existe un concepto novedoso denominado *Physics Aware ML*, en el que se **conjuga el Machine Learning con conceptos o leyes físicas** que permiten garantizar la credibilidad y certitud de las soluciones aportadas; o el concepto introducido por el Instituto tecnológico de Massachussets recientemente *Shared Interest* que permite hacer interpretaciones semánticas del comportamiento de los modelos.

- . Sistemas de interacción hombre-máquina: En la interacción hombre máquina normalmente existe un gap de entendimiento en la forma en la que ambos toman decisiones. Para los sistemas mixtos no existe un esquema único de interacción hombre-máquina, pueden tomar diferentes formas (la máquina sugiere y es el humano el que decide declinando, modificando o aceptando la sugerencia; el humano guía en el proceso de búsqueda de la solución a la máquina en un proceso iterativo y cooperativo, esquemas HMI, Human Machine Interaction). Ejemplos de este tipo de aproximaciones son la conjugación de la computación neuronal con la representación simbólica, la inferencia de relaciones de causalidad



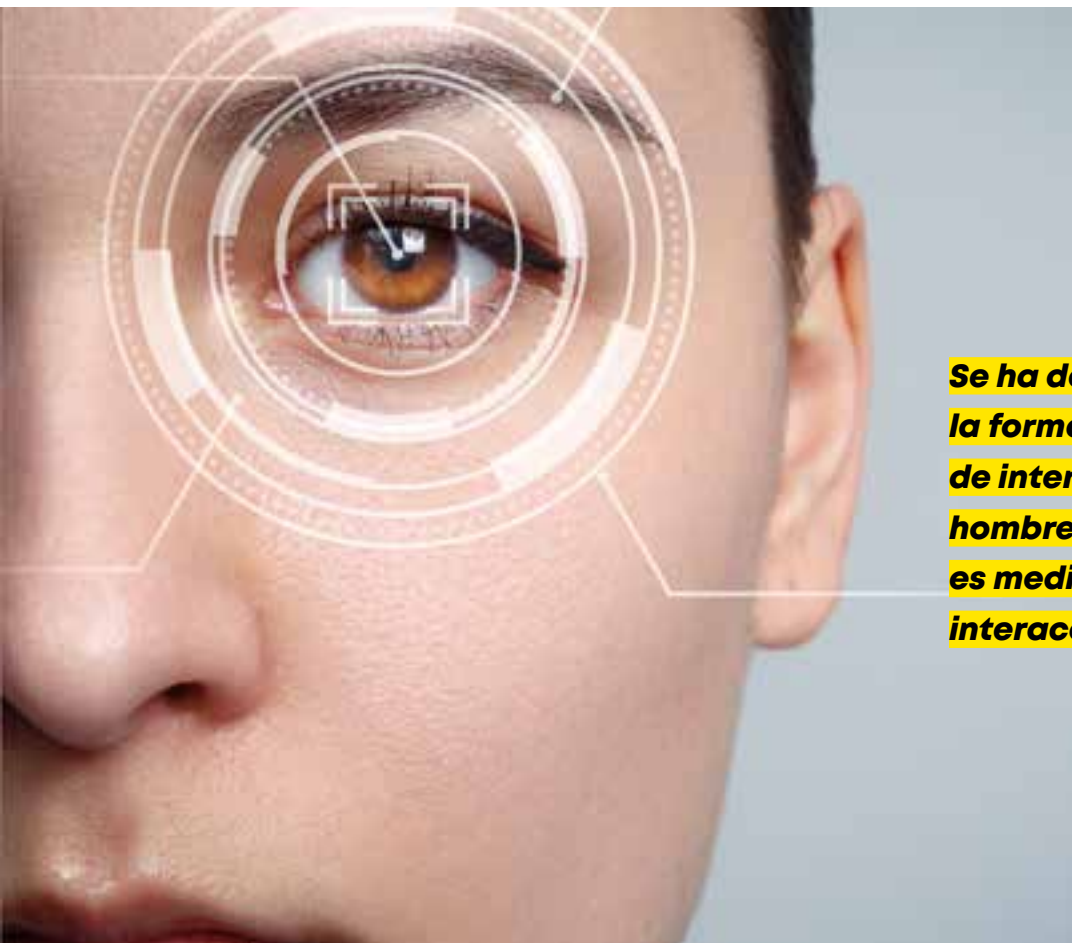
. Interacción

Más allá de las técnicas de interacción identificadas en el apartado “*Tecnologías de Interacción*” donde se expresan formas de interacción del hombre con la máquina (lengua y/o habla) a través de las tecnologías RA/RV/RX, este apartado se centra en cómo la IA puede ayudar a mejorar esa interacción.

Históricamente, pero sobre todo en las últimas décadas, se ha demostrado que la forma más eficiente de interacción del hombre con la máquina es mediante una interacción aptica.

Las prioridades de I+D en este ámbito son:

- Las formas más extendidas son mediante el uso de la lengua (NLP; *Natural Language Processing* y/o NLU *Natural Language Understanding*) y el reconocimiento del habla (Speech Recognition) mediante el desarrollo de **agentes conversacionales**. La tendencia a futuro es el **agente multimodal**, es decir, el que es capaz de analizar, decidir/sugerir y razonar mediante texto, habla, gestos, emociones, relaciones espacio-temporales, entre otras.
- La interacción orientada a aumentar las capacidades humanas en la actualidad se conoce como “**augmented human**”, centrando la investigación en tres pilares fundamentales: 1) percepción (tanto del humano como de la máquina); 2) esquema de interacción; y 3) información y telecomunicaciones.
- La mejora de los sistemas de interacción facilitará que los humanos empleen los desarrollos basados en IA de manera efectiva y segura, garantizando además la mejora de sus capacidades en el esquema que los pilares éticos de la IA dictamina, que es el “**human centered automation**” (La IA al servicio del humano). En esta novedosa tendencia, las funcionalidades de la máquina y el medio de interacción (interface) están al servicio de explotar las capacidades de inferencia, necesidades y finalidad del humano en el proceso de toma de decisiones (que será implementado siguiendo lo establecido en el apartado razonamiento y soporte a la decisión).



Se ha demostrado que la forma más eficiente de interacción del hombre con la máquina es mediante una interacción óptica.

27

. Arquitecturas, métodos y herramientas

Las arquitecturas, métodos y herramientas necesarias para desplegar soluciones digitales han de garantizar tanto aspectos de diseño (confiabilidad, reproductibilidad, interoperabilidad, privacidad y/o seguridad), como técnicos en operación (latencia, consumo de energía, recursos de comunicaciones, calidad, entre otros). La **operacionalización de la Inteligencia Artificial en todo su ciclo de vida como producto o servicio**, inmiscuye aspectos de software, hardware, ingeniería e integración, validación, testeo y certificación, así como su interoperabilidad. Todos estos elementos han de permitir entrenar, reutilizar e implementar modelos en pasos reproducibles, vinculando modelos, datos e hiperparámetros, permitiendo monitorizar todo su ciclo de vida.

Las prioridades de I+D en este ámbito son:

- . Desde el punto de vista de plataformas están encaminadas a la operacionalización de los

productos o servicios basados en IA, ofreciendo la **IA como SaaS** ("software as a service") o **IaaS** ("Infrastructure as a service") ofreciendo un ecosistema que garantice la interoperabilidad y estabilidad. Todos los grandes gigantes digitales ofrecen sus plataformas de referencia GoogleAI, Microsoft Azure ML, Amazon Web Services (AWS), IBM Watson, SAS, NVIDIA GPU Cloud, entre otras.

. Desde el punto de vista de métodos, los puntos clave irán más encaminados a los aspectos más técnicos en la operación de esos productos o servicios (latencia, consumo energía, etc) haciéndose claves aspectos como el **Edge-cloud computing** (en lo relacionado con latencia y necesidades de comunicaciones) o el concepto **GreenAI** que tiene en cuenta el coste energético de los modelos de Inteligencia Artificial.

TECNOLOGÍAS DIGITALES

02

PILARES
TECNOLÓGICOS

La conectividad se presenta como uno de los pilares principales de este proceso al ofrecer acceso a la información de forma ubicua e inmediata.

Las tecnologías 5G como aquellas tecnologías habilitadoras que permitirán mover datos de forma masiva y con ultra-baja latencia entre dispositivos finales y plataformas de Cloud Computing.

5G

2.3 Conectividad

2.3.1 Introducción

El rápido desarrollo que han tenido en estos últimos años las tecnologías de la información y comunicación (ICT) está dando lugar a una importante transformación en prácticamente todos los sectores de actividad. La conectividad se presenta como uno de los pilares principales de este proceso al ofrecer acceso a la información de forma ubicua e inmediata. Sectores como el entretenimiento y las industrias creativas, el transporte y la logística, telemedicina, o la banca, han experimentado una clara transformación gracias a la conectividad de los elementos o activos implicados en sus procesos.

En el caso de procesos industriales como la energía o la manufactura, cada vez más se sustentan en la combinación de la interconexión de los sistemas ciberfísicos (CPS, *Cyber-Physical-Systems*) y el Internet de las cosas o *Internet of Things* (IoT). En este tipo de entornos industriales se pueden distinguir varios tipos de aplicaciones, con requisitos de conectividad muy diferenciados: por un lado están las aplicaciones de automatización de procesos ("Process Automation"), tales como la monitorización de plantas industriales, donde se sensorizan magnitudes físicas (p.ej. temperatura, presión, etc) de una gran cantidad de nodos y con tiempos de variación muy lentos. Por otro lado están las aplicaciones de automatización de fábricas ("Factory Automation"), tales como las aplicaciones robóticas, donde se realizan operaciones que requieren tiempos de respuesta muy rápidos y con latencias muy controladas. Este tipo de aplicaciones se han realizado tradicionalmente mediante el uso de buses cableados, como es el caso de la robótica colaborativa; sin embargo, la llegada de tecnologías inalámbricas de alta capacidad y alta fiabilidad están haciendo posible el despliegue de nuevas aplicaciones industriales, como son el control y la monitorización de máquinas rotativas de alta velocidad o la gestión de robots en entornos de alta movilidad.

2.3.2 Posicionamiento del País Vasco

Las tecnologías de conectividad representan uno de los pilares transversales en los que se apoya el "Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación Euskadi 2030". Concretamente, este Plan apunta al Internet de las Cosas ("Internet of Things", IoT) y las tecnologías 5G como aquellas tecnologías habilitadoras que permitirán mover datos de forma masiva y con ultra-baja latencia entre dispositivos finales y plataformas de *Cloud Computing*. Estas tecnologías de conectividad serán asimismo las que permitirán repartir las tareas de computación entre diferentes puntos del enlace dispositivo-Cloud, haciendo posible que estas tareas se puedan dividir entre servidores remotos de alta capacidad ("Cloud Computing") y dispositivos cercanos al nodo final con menor tiempo de respuesta ("Edge/Fog Computing").

En este sentido, las entidades de BRTA lideran diversos proyectos de investigación ELKARTEK relacionados con la tecnología 5G (B-INDUSTRY5G), las comunicaciones powerline (COM4RED, COM4RED2) y las comunicaciones vehiculares (AUTOLIB, AUTOEV@L), así como diversos proyectos relacionados con verticales como el transporte ferroviario y la automoción, tanto a nivel nacional (5G EUSKADI, OpenVerso) como a nivel europeo (Safe4RAIL-3, X2RAIL-5, C-ROADS, 5G-IANA).

Algunos de los proyectos ELKARTEK en conectividad más representativos de los miembros de BRTA son:

- **B-INDUSTRY5G** (ELKARTEK 2021-2022), proyecto que ha desarrollado una plataforma tecnológica 5G puntera basada en la coordinación de un conjunto de laboratorios 5G avanzados para la Industria 4.0.
- **COM4RED, COM4RED2** (conjunto de proyectos ELKARTEK del periodo 2017-2019), donde se investigaron las comunicaciones Powerline para la red eléctrica en nuevas bandas de frecuencia.

- **AUTOLIB, AUTOEV@L** (conjunto de proyectos ELKARTEK del periodo 2019-2023), donde se investigaron las comunicaciones ITS-G5 para el ITS cooperativo.
- **5G4BRIS3** (ELKARTEK 2020-2021), que tenía como objetivo establecer las bases de una estrategia de investigación en tecnologías clave para las redes 5G, con especial foco en las áreas principales de la Regional Innovation Strategy for Smart Specialization (RIS3) vasca.

Destacamos algunos proyectos europeos significativos sobre conectividad en los que participan diferentes entidades del País Vasco:

- **Safe4RAIL, Safe4RAIL-2, Safe4RAIL-3** (conjunto de proyectos europeos del programa Shift2Rail, periodo 2016-2023), donde se han desarrollado comunicaciones inalámbricas para entornos ferroviarios, tanto fuera como dentro del tren.
- **X2RAIL-1, X2RAIL-3, X2RAIL-5** (conjunto de proyectos europeos del programa Shift2Rail, periodo 2016-2023), donde se ha trabajado en la tecnología de comunicaciones tren-tierra del futuro y se han desarrollado herramientas para facilitar su despliegue.
- **C-ROADS** (Connected Roads): donde se ha investigado en la digitalización de carreteras por medio de comunicaciones ITS-G5.
- **5G-IANA**, 5G Intelligent Automotive Network Applications. Proyecto Europeo para el diseño, desarrollo y testing de servicios 5G para el automóvil.
- **5G Mobix**, Servicios avanzados de movilidad conectada y automatizada.

Y por último se listan los proyectos nacionales en conectividad más representativos de los miembros de BRTA:

- **5G EUSKADI** (Programa Red.Es financiado por el Ministerio de Economía y Empresa en 2020-2022), donde se investigó en distintas aplicaciones de la tecnología 5G para movilidad, el sector industrial y energético, entre otros.





- **OpenVerso** (Open Virtualized Technology Demonstrators for Smart Grids), Red de Excelencia Cervera para acelerar la evolución de las redes de comunicación móviles de próxima generación 5G y futuras.

2.3.3 Retos tecnológicos / Prioridades de I+D

Las tecnologías de conectividad del futuro tendrán que dar respuesta a una serie de retos que vendrán establecidos por aquellas aplicaciones novedosas y avanzadas a las que tendrán que dar servicio. Entre estos retos están los siguientes:

1. Grandes volúmenes de datos

Éste es el caso de la transmisión de información multimedia, donde el incremento en la definición de las imágenes y el número de dispositivos está haciendo que los volúmenes de transmisión de datos hayan incrementado de forma exponencial los últimos años. Para dar cabida a este incremento de información, tanto las redes celulares 5G como los estándares WiFi basados en IEEE 802.11 están migrando hacia modulaciones más complejas y canales de comunicación con mayor ancho de banda, incluso moviéndose a bandas de comunicaciones milimétricas.

2. Optimización del consumo

Existen múltiples aplicaciones *Machine-to-Machine* (M2M) donde las transmisiones efectuadas son de muy pocos bytes y la frecuencia de envío de datos puede llegar a ser muy baja; sin embargo, su acceso es complicado y no permiten cableado. Es el caso de las aplicaciones en las que se monitorizan variables físicas como la deformación, la temperatura o la presión en grandes instalaciones industriales, infraestructuras críticas, etc que siguen el paradigma IIoT (“Industrial IoT”). En estos casos es fundamental disminuir el consumo energético, y es aquí donde se enfocan las soluciones LPWAN (“Low-Power Wide Area Network”), que son tecnologías inalámbricas para redes en áreas extensas especializadas en la interconexión de dispositivos con bajo ancho de banda y orientados al largo alcance y al bajo consumo. Entre estas tecnologías están actualmente los sistemas propietarios LoRA™, RPMA (“Random Phase Multiple Access”) o Sigfox®, así como las tecnologías licenciadas LPWAN basadas en redes celulares como LTE Cat-M1, NB-IoT y EC-GSM.

3. Ultra-baja latencia

En comunicaciones críticas como las industriales es fundamental disponer de mecanismos que garanticen la obtención de parámetros de latencia/jitter de comunicación extremadamente bajas y acotadas. En esta dirección se mueven los servicios *Ultra-Reliable and Low-Latency Communications* (URLLC) de 5G, así como la tecnología *Time Sensitive Networking* (TSN). TSN consiste en una serie de estándares dentro del IEEE 802.1, que están diseñados para obtener comunicaciones confiables, deterministas y de bajo jitter sobre redes cableadas. Actualmente existe un gran interés sobre la extensión de la tecnología TSN al medio inalámbrico, y se espera que se incluya en las siguientes versiones del estándar WiFi y en los futuros *releases* de 5G donde combinado con las técnicas de *slicing* el control sobre latencia los servicios inalámbricos podrán satisfacer servicios de comunicaciones críticos en términos de latencia y jitter.

4. Confiabilidad y disponibilidad

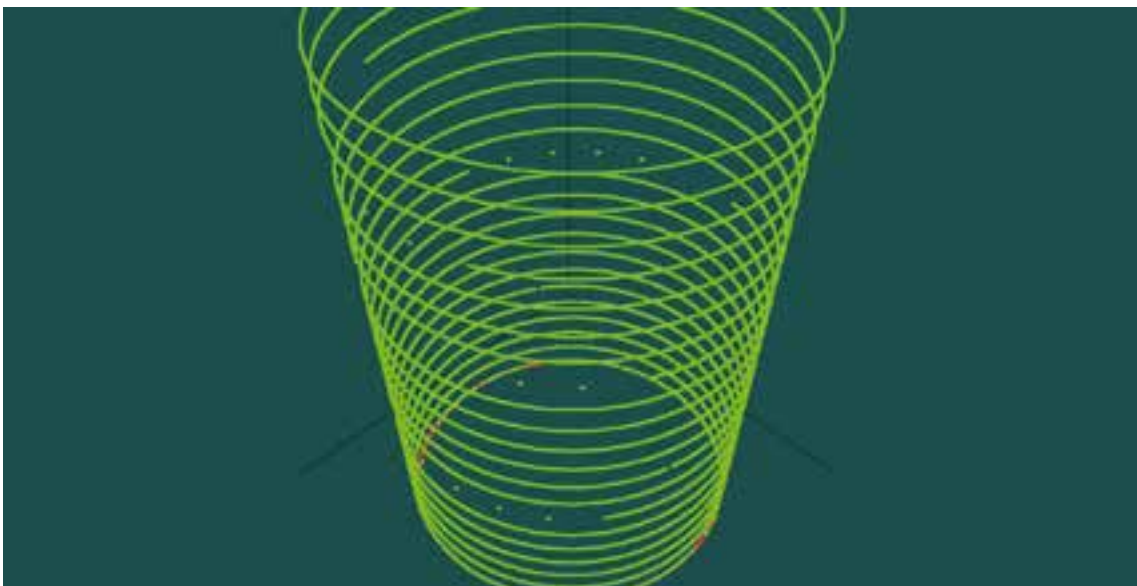
La confiabilidad y la disponibilidad son también dos requisitos fundamentales en aplicaciones industriales, tales como la automatización industrial (“Factory Automation”) y la automatización de procesos (“Process Automation”). Estos factores se vuelven especialmente críticos cuando se trasladan los buses industriales al mundo inalámbrico, donde la comunicación se vuelve más vulnerable frente a interferencias, tanto intencionadas como no intencionadas, así como a variaciones en las condiciones de propagación del canal

inalámbrico. En estos casos el sistema de comunicación debe ser capaz de garantizar el funcionamiento de la aplicación por debajo de un nivel de error residual que viene definido por el nivel de integridad de seguridad (“Safety Integrity Level”, SIL). Para ello es necesario aplicar distintas técnicas de mitigación como son la diversidad espacial, temporal y frecuencial, el uso de enlaces redundados (técnicas de “Multi-Link” y “Multi-Access Point”), así como enlaces inalámbricos directivos y técnicas de salto de frecuencia y espectro expandido.

5. Alta movilidad

Otra de las vertientes de las tecnologías de conectividad que ha experimentado una importante evolución en los últimos años son las comunicaciones vehiculares V2X (“Vehicle to Everything”). Estas tecnologías que inicialmente se plantearon sobre la base de la tecnología WiFi en el estándar IEEE 802.11p, han sido incorporadas por el 3GPP en el roadmap del desarrollo del 5G, planteando un estándar basado en LTE para comunicaciones V2X denominado C-V2X (“Cellular Vehicle to Everything”). En la primera versión de este estándar se definieron los mecanismos básicos necesarios para llevar a cabo comunicaciones vehiculares como V2V (“Vehicle to Vehicle”) y V2I (“Vehicle to Infrastructure”), aunque es en las últimas versiones (5G-V2X) donde se han incluido otra serie de mecanismos de mayor impacto, con el objetivo de dar soporte a los requisitos de latencia y/o fiabilidad que requieren este tipo de comunicaciones.

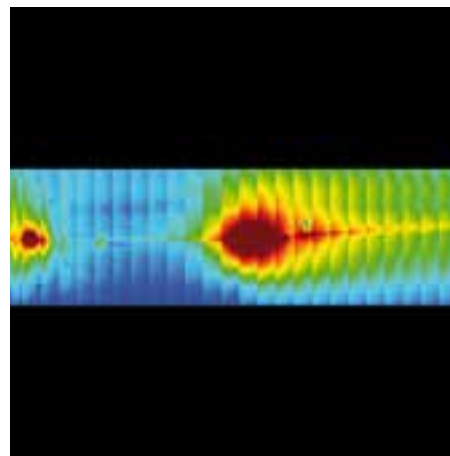
La IA en la IoT puede analizar los datos recopilados en tiempo real para identificar patrones anormales. Esto se puede hacer utilizando técnicas de aprendizaje automático y minería de datos.




33

6. Análisis de datos

Uno de los puntos donde se espera un mayor crecimiento del desarrollo tecnológico de las comunicaciones es en la dotación de mecanismos de Inteligencia Artificial (IA) en el ámbito de IoT, y en especial en el *Mobile Edge Computing* (MEC). Esto permite ejecutar operaciones en tiempo real mucho más cerca del origen de los datos, permitiendo tomar decisiones y actuar en muy pocos milisegundos, ya que se reduce la latencia respecto a trabajar con la inteligencia solamente en la nube y se optimizan las comunicaciones. Para esto es necesaria una coordinación clara entre los dispositivos en el Edge y en la nube, que permita un dinamismo para decidir en cada momento dónde se debe ejecutar cada una de las acciones. Para este ámbito destaca la utilización de técnicas de *Machine Learning* (ML), donde los





La seguridad y la protección de la información son unos retos fundamentales en las comunicaciones actuales, especialmente en el caso de las comunicaciones inalámbricas, que son más vulnerables a los ataques que las cableadas.

34

modelos son entrenados en la nube con la vasta cantidad de datos que producen los dispositivos, y después los modelos entrenados se despliegan en nodos más cercanos al *Edge* de la arquitectura para inferir la toma de decisiones más cerca de donde se necesita, reduciendo el tiempo de respuesta en sistemas críticos.

7. Seguridad

La seguridad y la protección de la información son unos retos fundamentales en las comunicaciones actuales, especialmente en el caso de las comunicaciones inalámbricas, que son más vulnerables a los ataques que las cableadas. La solución a este problema pasa por aplicar técnicas de refuerzo de la seguridad en todos los niveles de la pila de comunicaciones, desde técnicas de procesamiento de señal en la capa física hasta técnicas de cifrado a niveles superiores. Además, se hace necesaria la monitorización constante de estos sistemas junto con la implantación de métodos basados en ML para detectar posibles amenazas a partir de comportamientos anómalos de la red de comunicaciones.



2.4 Plataformas digitales

2.4.1 Introducción

Una plataforma digital es la arquitectura sobre la que se despliega la captura, almacenaje, procesamiento, análisis y visualización de los datos de un ecosistema y es uno de los principales pilares para la digitalización de una empresa y de los servicios que ofrece. Estas plataformas permiten crear nuevos modelos de negocio y de interacción con proveedores, clientes y usuarios más ágiles que las redes de cadena de valor tradicionales. Así mismo, permiten tomar decisiones críticas basadas en datos.

Actualmente existen multitud de plataformas digitales enfocadas al ocio, a realizar compras online (“marketplace”), reservar y compartir activos, etc. que han revolucionado los hábitos, cultura y valores de nuestra sociedad moderna. En los ámbitos social e industrial destacan las plataformas para la captura y gestión de datos durante el ciclo de vida de un producto, las enfocadas a monitorizar los consumos y eficiencias energéticas, las aplicadas en procesos de producción y logística, las plataformas para el cuidado de la salud y las ciudades inteligente. Es muy habitual que estas plataformas reciban el adjetivo de inteligentes o *smart*.

Cada plataforma se distingue por un tipo de arquitectura y unas características técnicas esenciales entre las que se incluyen:

- 1) La definición de las variables físicas sensorizadas y el tipo de datos capturados.
- 2) El tipo de sensores, conectores y protocolos de comunicación para capturar y enviar los datos. Aspectos relacionados con sistemas embebidos y conectividad.
- 3) El tipo de infraestructura sobre la que se recibe, almacenan, analizan y se accede a los datos bien en servidores locales (“edge”) o a través de Internet (“cloud” o “hybrid”).
- 4) Las aplicaciones de software que se ejecutan sobre la plataforma, incluyendo las de Inteligencia Artificial, y su tipología (“open-source”, software comercial, software propio).
- 5) Los sistemas de despliegue y escalado (orquestadores).
- 6) Los criterios de gobernanza del dato.
- 7) Los sistemas de seguridad y ciberseguridad (encriptación, autenticación, “blockchain”).

Estas características influyen en dos conceptos de vital importancia para la implementación de las plataformas digitales: su escalabilidad y flexibilidad. De este modo, una sola plataforma digital industrial puede controlar varias líneas y con diferentes procesos de fabricación (flexibilidad), y un solo desarrollo se puede implantar en PYMEs con un volumen de datos “pequeño” y en grandes empresas con miles de nodos de información (escalabilidad).

En cuanto a su evolución en la industria, las plataformas digitales de datos han evolucionado rápidamente en los últimos años y han pasado de ser silos de datos aislados en máquinas a estar interoperativos en servidores y espacios de datos virtuales (“datalakes”) sobre los que se pueden realizar distintas operaciones basadas en analítica de datos de múltiples fuentes. La última evolución de las plataformas industriales está relacionada con el despliegue rápido, continuo y con alta calidad de aplicaciones y desarrollos (“DevOps”) y de algoritmos de optimización y predicción basados en Inteligencia Artificial (“MLOps”, “IAOps”) en servidores conectados con múltiples activos y máquinas.

Según la Comisión Europea y tal y como se recoge en su estrategia digital, actualmente más de un millón de empresas en Europa están empleando plataformas digitales para vender sus productos y

ofrecer servicios avanzados, aunque el porcentaje de pequeñas y medianas empresas que tienen integradas estas soluciones apenas supera el 50%.

Por otro lado, el volumen de datos generados a nivel mundial está creciendo exponencialmente, y se estima que de los 33 zettabytes en 2018 se llegará a 175 zettabyte en 2025. Esto supone una gran oportunidad para las empresas. Además, la forma en que almacenan y procesan los datos va a cambiar drásticamente en los próximos años. Actualmente se estima que el 80% del procesamiento y análisis de datos se realiza en centros de computación y datos centralizados y el 20% en objetos inteligente conectados (vehículos, electrodomésticos, robots) y sistemas de computación cercanos al usuario ("edge computing"). En los próximos años es muy probable que estas proporciones se igualen y puedan incluso invertirse.

Por otro lado, se estima que más de 41,5 billones de dispositivos IoT estén conectados y activos en el año 2025, muchos de ellos en los sectores industriales. Las empresas que apuesten por la gestión de los datos generados por estos dispositivos en plataformas digitales podrán ofrecer nuevos servicios avanzados para diagnosticar, anticiparse y resolver de manera automática las necesidades y problemas internos y de sus clientes.

2.4.2 Posicionamiento del País Vasco

En el PCTI EUSKADI 2030 se identifican las plataformas digitales como una de las tecnologías base de carácter digital con potencial para contribuir a las áreas de especialización inteligente y a las tres transiciones, la tecnológico-digital, energético-climática y social-sanitaria.

La transición tecnológico-digital en Euskadi busca una transición hacia organizaciones basadas en la digitalización y que puedan sacar beneficio del uso de tecnologías de Inteligencia Artificial y Big Data. En este sentido las plataformas digitales permitirán poner la tecnología al servicio de los ciudadanos y fomentar una economía digital más justa y competitiva. Otras tecnologías clave como Internet de las cosas, tecnologías 5G o ciberseguridad, están permitiendo desarrollar estas plataformas digitales con los más elevados estándares de conectividad, seguridad y confianza.

Los centros de BRTA son pioneros en el desarrollo de plataformas digitales para diferentes aplicaciones entre las que se incluyen plataformas de captura, visualización y análisis de datos en entornos industriales, redes eléctricas inteligentes, servicios inteligentes, logístico inteligente, salud y ciudades inteligentes. Muchas empresas industriales ya confían en estas soluciones para la

La transición tecnológico-digital en Euskadi busca una transición hacia organizaciones basadas en la digitalización y que puedan sacar beneficio del uso de tecnologías de Inteligencia Artificial y Big Data.

gestión de los datos de sus procesos y negocios y para la definición de nuevos servicios avanzados de mayor valor añadido que permitan monitorizar la captura y análisis de esos datos. El uso de estas plataformas y la toma de decisiones basadas en datos está generando importantes ventajas para las empresas tanto desde un punto de vista interno (reducción costes, optimización de procesos,...) como hacia sus clientes.

El listado de plataformas digitales desarrolladas por los centros de BRTA incluye:

- . KONNEKT by IKERLAN para transporte, energía e industria 4.0.
- . Dananext (VICOMTECH). Plataforma para la conectividad, procesamiento, predicción y optimización de datos de procesos industriales.
- . VIXION360, plataforma de monitorización de datos industriales creada por TECNALIA y la empresa Spyro, y explotada por la NEBT Vixion creada al efecto.
- . BikiTT, BikiTT-Ind, BikiForge by CEIT, Plataforma de control de proceso y producto con integración de gemelos digitales para tratamientos térmicos convencionales, inducción y forja.
- . MainRail, inicialmente desarrollado por CEIT e Inycom, se explota comercialmente por MainRail S.L, para gestión del mantenimiento de la infraestructura ferroviaria.
- . SAM by TEKNIKER orientada a aumentar el rendimiento de las instalaciones, optimizar operaciones y mantenimiento predictivo.
- . SAVVY INDUSTRIAL CLOUD by Savvy Data Systems orientada al sector de fabricación industrial, mecanizado y la transformación metalmeccánica. Desarrollado por Savvy Data Systems, empresa participada por DANOBATGROUP e IDEKO, IPF, FAGOR Automation y FAGOR Arrasate.

- . Plataforma Intelliweld desarrollada por LORTEK para procesos de soldadura e inspección, Plataforma industrial eMenhir Welding desarrollada en colaboración con la empresa HISPAVISTA e HyperCog plataforma hiperconectada con capacidades cognitivas para fabricación flexible y desarrollo de sistemas ciberfísicos.

Por otro lado, las entidades de BRTA tienen un papel relevante en proyectos de investigación relacionados con el desarrollo de nuevos conceptos de diseño, despliegue y validación de plataformas digitales y de sus funcionalidades basadas en el análisis de datos e Inteligencia Artificial para diferentes aplicaciones y entornos. Entre otros destacan proyectos en el marco europeo (InterQ, HYPERCOG, DAWN, X2RAIL, LINX4RAIL, Cloud LSVA) y estratégicos a nivel de Euskadi (Proyectos Elkartek: DIGITAL, EGIA).

2.4.3 Retos tecnológicos / Prioridades de I+D

Relacionados con tecnologías:

1) Despliegue y escalado eficiente

Se cree firmemente que, en un mundo de alta velocidad, ninguna aplicación individual crea una ventaja competitiva a largo plazo, más bien, son las plataformas con la capacidad de desarrollar, implementar y escalar aplicaciones impulsadas por IA las que más rápido marcarán la diferencia. Esto mismo es cierto en el mundo industrial. Desde nuestra perspectiva, la fábrica digital necesita una plataforma de software ágil y eficiente para la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones que incluye el desarrollo, las pruebas, la implementación y la supervisión de las operaciones. Para mejorar la agilidad en torno al desarrollo de aplicaciones, las capacidades de *low-code*, las arquitecturas de microservicios y la tecnología de contenedores forman el fundamento técnico más relevante.



La integración de Inteligencia Artificial en las plataformas digitales supondrá una ventaja competitiva importante y posibilitará el desarrollo de nuevos servicios de mayor valor añadido.

De hecho, para un despliegue, escalado y mantenimiento eficiente de las plataformas industriales se recomienda el uso de contenedores virtuales que empaquetan el código, los archivos de configuración, librería y elementos de las aplicaciones para ejecutarse. El uso de estos contenedores virtuales y herramientas de contenerización y orquestación tales como Docker, Kubernetes u Openshift presenta una serie de ventajas como el despliegue de aplicaciones y portabilidad a diferentes entornos, acelerar el desarrollo y despliegue de nuevas versiones de aplicaciones o la reducción de recursos a nivel computacional.

Los contenedores virtuales son sistemas de virtualización capaces de ejecutar partes separadas de una aplicación con un único sistema operativo huésped. Los contenedores virtuales son mucho más ligeros y eficientes que las máquinas virtuales o VM que tiene su propio sistema operativo, CPU, memoria, interfaz de red y almacenamiento.

La principal ventaja del uso de contenedores es que se facilita la compatibilidad y se facilita el desarrollo y despliegue de aplicaciones dentro de la filosofía DevOps que promueve un desarrollo más eficiente de aplicaciones en

menor tiempo y la publicación rápida de nuevas funciones o revisadas versiones de software para los clientes. Esa filosofía requiere de un control exhaustivo de versiones, seguimiento de cambios y coordinación entre programadores, así como del uso de herramientas de construcción, ensayo e integración continua de software. Herramientas como Git y Jenkins son soluciones habituales para dar respuesta a estos retos.

Finalmente, cabe señalar que las plataformas disponen de diferentes soluciones para la captura y distribución de datos. En la actualidad se está trabajando en el desarrollo de sistemas *Universal data distribution* (UDD) que permiten facilitar la conectividad y los flujos de datos de cualquier sistema de captura a cualquier sistema de almacenamiento local o en la nube (*from any source to any destination*).

2) Arquitecturas seguras y confiables (arquitecturas “edge-fog-cloud”)

Antes de que surgiera la computación en la nube, el procesamiento de datos solo ocurría en el borde de la máquina. Se trataba de un mundo desconectado. Los PLC (controladores lógicos programables) y los IPC (PC industriales) son ejemplos clásicos de procesamiento de datos de sensores directamente en el borde de la máquina. En estos casos, las actualizaciones de software generalmente se realizan manualmente *on-premise*.

El acercamiento de la computación en la nube al mundo industrial, marcó el comienzo del concepto de IIoT. Este concepto permitió trasladar el procesamiento de datos y la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones a infraestructuras de nube pública. Esta etapa representa básicamente el nacimiento del “IIoT industrial”. Con este paso en la evolución, surgieron *hyperscalers* como Microsoft, Amazon AWS, SAP, Adamos, Siemens Mindsphere, Forcam, Aveva, etc con ofertas en el ámbito industrial. La gran ventaja de este concepto es el hecho de que se puede establecer un lago de datos holístico en la nube, lo que brinda transparencia en los procesos de producción en entornos multi fábricas y permite la aplicación de capacidades analíticas para la optimización de procesos.

Actualmente se está evolucionando hacia un IIoT centrado en plataformas en el borde, el *Edge*, de la máquina. Se aprovecha la tecnología de contenedores para introducir nuevas soluciones en las que la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones se traslada a la nube, mientras

que el procesamiento de datos permanece en la máquina. Ejemplos en este contexto son el Siemens Industrial Edge, Phoenix Contact PLCNext, Bosch Rexroth CtrlX, Litmus, Savvy Edge, Beckhoff. Este paso a dado pie al comienzo del concepto de IIoT centrado en la máquina.

La opción de desarrollar plataformas Edge centradas en la fábrica, el también denominado *Factory Fog* o *Factory Edge* es una tendencia en auge, que parte de sectores con alto grado de proteccionismo (aeronáutica y espacio) pero que se está expandiendo a otros sectores. Se trata de consolidar la infraestructura de IT dentro de la fábrica. Proporciona varias ventajas para los clientes, cómo son; la capacidad de disponer de mayor capacidad de almacenamiento y cómputo, la seguridad de controlar la información de forma perimetral y la reducción de costos de infraestructura de IT a través de la consolidación. Las soluciones van desde soluciones propietarias cómo; Siemens MindSphere On-premise, Savvy Fog, etc , hasta soluciones personalizadas cómo Canonical, Edgeworx, Red Hat, VMware, Cloudera, etc basadas en proveedores externos.

3) Integración de IA

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la integración de Inteligencia Artificial en las plataformas digitales supondrá una ventaja competitiva importante y posibilitará el desarrollo de nuevos servicios de mayor valor añadido. Por tanto, un reto y una prioridad de investigación y desarrollo es la relacionada con la integración y despliegue eficiente de aplicaciones de Inteligencia Artificial en las plataformas digitales. En este sentido y partiendo de la filosofía DevOps, se han desarrollado metodologías IAOps, MLOps, *model serving and monitoring, intelligent redeployment* que incluyen estrategias para el despliegue supervisado o automático de modelos de ML y DL, la trazabilidad del conjunto de datos o *datasets*, el acceso a datos de modelos entrenados o la comparativa entre modelos de predicción, entre otros.

El que las plataformas digitales tengan este tipo de características y la integración y despliegue de las aplicaciones de Inteligencia Artificial estén diseñados en base a estas metodologías es esencial para asegurar la ventaja competitiva de las mismas. Los centros de BRTA tienen una amplia experiencia en la implementación de estas metodologías en diferentes ecosistemas.

4) Plataformas para Big Data

El concepto de *big data* (datos masivos o datos a gran escala) hace referencia a conjuntos de datos muy grandes y complejos que requieren de aplicaciones informáticas no tradicionales de procesamiento para gestionarlos adecuadamente. Debido a su volumen y complejidad, se requieren procedimientos y software más sofisticados para analizar y extraer conocimiento en forma de patrones, correlaciones, etc.

El reto asociado a la gestión de grandes volúmenes de datos comprende su ingesta y almacenamiento, el dimensionamiento de los sistemas, la realización de búsquedas, comparticiones y análisis, la visualización en tiempo real y en diferido e interpretación de los mismos. La necesidad de manipular grandes volúmenes de datos es debida a la generación de informes estadísticos y modelos predictivos en sistemas muy complejos y con muchas variables o grados de libertad con relaciones no lineales.

En la actualidad existen herramientas y aplicaciones diseñadas específicamente para trabajar con grandes volúmenes de datos entre las que destacan Hadoop (gestión datos “Big Data”), Spark (“streaming big data”) o Hive (base de datos).

5) Compatibilidad con 5G

Este reto está relacionado con el pilar de conectividad, donde los estándares 5G y WiFi se han diseñado para dar respuesta al constante incremento de los volúmenes de transmisión de datos. El hecho de que las plataformas digitales sean compatibles con redes 5G y sistemas de comunicación inalámbricas con este protocolo, asegura una captación de un volumen elevado de datos con mayor eficiencia y a partir de un número mayor de sensores y sistemas de adquisición de datos. En entornos con estas características esta compatibilidad puede marcar la diferencia.



El intercambio de datos es un habilitador fundamental para las soluciones de Inteligencia Artificial (IA) competitivas. Un ecosistema de plataformas de datos debería admitir flujos de datos continuos y coordinados, moviendo datos sin problemas entre sistemas inteligentes.

6) Gobernanza y espacio de datos

Un espacio de datos es cualquier ecosistema de modelos de datos, *datasets*, ontologías, contratos de intercambio de datos y servicios de gestión especializados, junto con competencias software a su alrededor. Estas competencias siguen un enfoque de ingeniería de datos para optimizar los mecanismos de almacenamiento e intercambio de datos, preservando, generando y compartiendo nuevos conocimientos.

El intercambio de datos es un habilitador fundamental para las soluciones de Inteligencia Artificial (IA) competitivas. Un ecosistema de plataformas de datos debería admitir flujos de datos continuos y coordinados, moviendo datos sin problemas entre sistemas inteligentes. Dos soluciones conceptuales que introducen nuevos enfoques para abordar esta necesidad particular de regular los datos personales y de propiedad cerrados son los Industrial Data Spaces (IDS) y los Personal Data Spaces (PDS).

La solución conceptual IDS está orientada a los datos propietarios industriales. Su realización debe garantizar un entorno seguro y confiable donde los participantes puedan monetizar e intercambiar sus activos de datos de manera segura y legal dentro de un marco legal claro. Una realización funcional de conectores IDS promete reducir significativamente las barreras existentes para un flujo libre de datos dentro de una economía de datos avanzada.

El concepto de Espacios de datos personales (PDS) se considera una alternativa valiosa para brindar a las personas un control granular sobre los datos que se capturan sobre ellos y sobre cómo se comparten y utilizan estos datos, pero también como un medio para que las organizaciones desarrollen más fácilmente servicios basados en datos. Las empresas que actualmente están introduciendo en el mercado aplicaciones que admiten el almacenamiento descentralizado de información personal son OpenPDS y Solid.

2.5 Tecnologías de Interacción

2.5.1 Introducción

La capacidad de los sistemas digitales de comunicar e interactuar con las personas es un aspecto fundamental para el desarrollo de servicios de valor en prácticamente todos los campos de aplicación. La comprensión de lo que sucede en el ámbito digital, la capacidad de controlar y transmitir los objetivos deseados se encuentra con 2 tipos de retos principales a la hora de establecer una relación “natural” entre máquinas y personas. El primer tipo de barrera tiene que ver con el canal de comunicación (visual, habla, hápticos). El segundo tiene que ver con la parte más cognitiva de la interacción (qué tipo de representación visual se establece y qué significa, comprensión y generación de lenguaje natural, etc).

• eXtended Reality

La realidad extendida (XR o eXtended Reality) es un término que se refiere a una serie de tecnologías que permiten a las personas experimentar e interactuar con entornos generados de forma digital de una manera que parezca real. El estado del arte actual ha avanzado mucho en la parte de generación y representación de entornos virtuales (VR, Virtual Reality o Realidad Virtual) que hoy en día cuentan con una industria fuerte en el ámbito de los videojuegos inmersivos e incluso en el ámbito educativo/formativo.

• Tecnologías del habla y lenguaje natural

Gracias a las nuevas arquitecturas neuronales, junto con la existencia de grandes cantidades de datos y la disponibilidad de infraestructura hardware para procesarlos, las tecnologías del habla y lenguaje natural han experimentado un enorme avance en los últimos años. Los actores



Los asistentes conversacionales y chatbots, cada vez comprenden y responden mejor al lenguaje humano, lo que ha aumentado su capacidad de comunicación y ha mejorado su eficacia.

...que se han convertido en una herramienta esencial para las empresas, ya que les permiten ofrecer un servicio al cliente más eficiente y personalizado. Además, los chatbots pueden trabajar 24 horas al día, lo que garantiza una atención constante a los usuarios.

...

...que se han convertido en una herramienta esencial para las empresas, ya que les permiten ofrecer un servicio al cliente más eficiente y personalizado. Además, los chatbots pueden trabajar 24 horas al día, lo que garantiza una atención constante a los usuarios.

...




TECNOLOGÍAS DIGITALES

02

PILARES
TECNOLÓGICOS





Los sistemas genéricos de reconocimiento de voz actuales obtienen resultados similares a los humanos en habla limpia leída, pero todavía tienen margen de mejora en contextos ruidosos o cuando se habla de forma más espontánea y requieren de adaptación en dominios con vocabularios y lenguaje más especializado

tecnológicos en este ámbito compiten por ver quién obtiene los mejores resultados para diversas aplicaciones: el reconocimiento y la síntesis de voz, la clasificación y extracción de información de textos, la generación automática de textos y sus resúmenes, la traducción automática tanto de textos como voz-a-voz o los sistemas de interacción por voz y/o lenguaje natural, también conocidos como asistentes conversacionales y chatbots. Estos últimos cada vez comprenden y responden mejor al lenguaje humano, lo que ha aumentado su capacidad de comunicación y ha mejorado su eficacia.

Los asistentes conversacionales incluyen componentes de reconocimiento de voz, síntesis de voz, comprensión y generación de lenguaje natural.

• Reconocimiento de voz

La tecnología de reconocimiento de voz ha evolucionado de sistemas supervisados basados en pipelines de componentes a arquitecturas neuronales extremo-a-extremo que simplifican su entrenamiento, ajuste e inferencia. También han surgido modelos acústicos pre-entrenados con métodos de aprendizaje no supervisado y una gran cantidad de datos no etiquetados como Wav2Vec2.0, HuBERT o los Conformers, que ajustados a la tarea superan muchos resultados de referencia especialmente para idiomas y tareas con pocos datos. Recientemente, se ha publicado Whisper, un modelo supervisado entrenado con 680,000 horas de audio en múltiples idiomas capaz de realizar varias tareas de procesamiento de voz tales como reconocimiento, identificación de idioma, detección de actividad vocal y traducción.

Los sistemas genéricos de reconocimiento de voz actuales obtienen resultados similares a los

humanos en habla limpia leída, pero todavía tienen margen de mejora en contextos ruidosos o cuando se habla de forma más espontánea y requieren de adaptación en dominios con vocabularios y lenguaje más especializado (p.ej. fabricación industrial, salud, energía, justicia, etc.).

• Síntesis de voz

Los últimos años también han visto el desarrollo de una amplia gama de arquitecturas neuronales para la síntesis de voz, aumentando notablemente la calidad y naturalidad de las voces sintéticas actuales. Los sistemas neuronales generativos tales como Tacotron, que generan representaciones intermedias llamadas espectrogramas y utilizan vocoders como Griffin-Lim o WaveNet para transformar dichas representaciones en formas de onda, se han convertido en el estándar. También existen arquitecturas extremo-a-extremo como DeepVoice o FastSpeech que permiten generar formas de onda directamente a partir de texto.

Además, hoy en día es posible personalizar voces sintéticas existentes usando grabaciones de audio para clonar voces propias.

• Comprensión y generación de lenguaje natural

Los modelos de lenguaje pre-entrenados y el aprendizaje por transferencia han revolucionado el procesamiento del lenguaje natural y ampliado los límites de la comprensión y la generación automática del lenguaje. Estos modelos explotan la gran cantidad de datos textuales disponibles (p.ej. volcados de Wikipedia, recopilaciones de noticias y rastreos web) y las arquitecturas neuronales tipo Transformer, para entrenar modelos de forma no supervisada que luego se ajustan a tareas específicas de procesamiento de lenguaje de forma supervisada con conjuntos más pequeños de datos anotados. Algunos ejemplos conocidos incluyen BART, GPT-3, GPT-4, PALM, BLOOM, Megatron Turing NLG o Wu Dao 2.0.

En el ámbito de la interacción persona-máquina, dos tareas fundamentales para

Los últimos años también han visto el desarrollo de una amplia gama de arquitecturas neuronales para la síntesis de voz, aumentando notablemente la calidad y naturalidad de las voces sintéticas actuales.

la comprensión del lenguaje natural son la detección de intenciones y el reconocimiento de entidades, que permiten identificar el objetivo del usuario y extraer la información más relevante de la conversación. Además, los sistemas pregunta-respuesta también han demostrado ser capaces de relacionar las preguntas de los usuarios con respuestas de colecciones de documentos en lenguaje natural. Los modelos de lenguaje pre-entrenados y ajustados a estas tareas obtienen buenos resultados para el dominio de aplicación específico para el que se desarrollan, pero todavía están lejos de la capacidad general, flexible y robusta que tenemos los humanos para comprender el lenguaje.

En cuanto a la generación de lenguaje natural, los sistemas texto-a-texto son capaces de tomar textos existentes como entrada y producir automáticamente textos nuevos y coherentes como salida, en aplicaciones tales como la generación automática de resúmenes, la traducción automática o la interacción dialogada con los usuarios. Para traducción automática en particular, las arquitecturas Transformer han conseguido resultados cada

vez más precisos y sensibles a las sutilezas y ambigüedades del lenguaje humano, donde lenguas minoritarias como el euskera también cuentan ya con traductores automáticos neuronales de alta calidad. A nivel conversacional, recientemente varios modelos de lenguaje pre-entrenados se han ajustado para generar respuestas a diálogos abiertos de los usuarios, dando lugar a sistemas tan revolucionarios como LAMDA o ChatGPT. A pesar de este notable progreso, todavía quedan desafíos por resolver, ya que las respuestas de este tipo de modelos conversacionales no son todavía capaces de mantener la coherencia en múltiples turnos de conversación, devolver respuestas empáticas o entender bien el lenguaje figurado, entre otras limitaciones.

Al mismo tiempo, existe una controversia en la comunidad científica con respecto al tamaño de los cada vez más grandes modelos de lenguaje pre-entrenados. Muchos expertos opinan que obtener resultados de última generación simplemente usando más datos y poder de cómputo no es una noticia de investigación y, además, su escalado requiere de grandes recursos computacionales que incrementan su consumo energético, perjudicando al medio ambiente. Los avances en este ámbito deberían priorizar el descubrimiento de formas ingeniosas de aligerar los modelos sin renunciar al alto rendimiento. Por último, cabe destacar que muchos idiomas cuentan con pocos recursos digitales para desarrollar este tipo de modelos en comparación al inglés, con lo que obtienen rendimientos más bajos. Se espera que en los próximos años se desarrolle tecnología que permita mitigar este desafío.

• Interacción multi-sensorial

La interacción multi-sensorial es un elemento central del concepto de realidad extendida XR, que va más allá de la representación volumétrica de video y del audio espacial, y que contempla la interacción a través de otros sentidos, como el táctil (háptico), el olor o el sabor. El concepto de "tactile internet" fue introducido en 2014 y continúa desarrollándose a día hoy

El sentido que, actualmente, más acompaña al visual y al sonido, es el háptico, donde ya hay soluciones que incluyen hardware y software para una interacción enriquecida para diversos dominios. Sin embargo, la fidelidad y calidad de la tecnología sigue siendo un gran reto y se basan en hardware y kits de desarrollo propietarios.

Las interfaces de usuario deben proveer grandes cantidades de información provenientes de diferentes fuentes que deben ser coordinadas y sincronizadas.

• **Orquestación de experiencias interactivas inmersivas**

Las interfaces de usuario deben proveer grandes cantidades de información provenientes de diferentes fuentes que deben ser coordinadas y sincronizadas. Además, la existencia de múltiples tipos de redes de comunicación y requerimientos de creación de entornos colaborativos -donde múltiples usuarios colaboran de forma simultánea- introducen fuertes retos en la gestión y orquestación de flujos de datos.

El concepto de orquestación surgió en 1992 como la necesidad de coordinar múltiples flujos de contenido multimedia para poder presentarlos de una manera coherente. Con la llegada del concepto "object-based media", o sistemas multimedia basados en objetos, lo que comenzó en un reto de sincronizar múltiples fuentes de datos para su representación, se ha extendido hacia el adaptar y hacer "responsive" la

representación a través de la optimización de la red de comunicaciones.

La tendencia a la virtualización de las redes supone uno de los retos tecnológicos principales a la hora de diseñar las mejores topologías y configuraciones que permitan asegurar la calidad de servicio (QoS) y calidad de la experiencia (QoE) de las interfaces.

Los grandes retos de la orquestación de experiencias interactivas inmersivas son:

1. Sincronización de objetos multimedia. Es un reto muy relevante, donde la interoperabilidad de la Web está proporcionando soluciones cada día más maduras.
2. La adaptación y presentación "responsive" de experiencias interactivas inmersivas. Al igual que la Web ofrece herramientas en HTML5

para su adaptación de interfaces haciendo uso de CSS Media Queries, es un reto hacer extensible esta adaptabilidad para los nuevos dispositivos inmersivos (casos VR, gafas AR, o un entorno de múltiples dispositivos y usuarios interactuando al mismo tiempo) para conseguir una visualización efectiva de la información.

3. Generación de flujos eficientes. Para coordinar la distribución y todos los objetos multimedia a través de una red heterogénea, el reto de crear una arquitectura de red flexible, dinámica y adaptable es muy relevante, pudiendo distribuir el cómputo a procesadores (CPU y GPU) a lo largo de toda la red.
4. Las interfaces máquina-máquina, la transmisión de datos media (imágenes, señales, etc.) para su procesamiento por ejemplo por parte de modelos de IA presentan también requerimientos similares de QoS que hoy en día siguen siendo un claro reto tecnológico.

2.5.2 Posicionamiento en el País Vasco

El tejido industrial vasco cuenta con empresas del mundo TIC (representadas por el cluster Gaia) con capacidades en los diferentes aspectos relacionados con las tecnologías de interacción. Desde la perspectiva del lenguaje, existe una fuerte actividad relacionada con el euskera con agentes como Ixa Taldea o Elhuyar. Existen también empresas con un buen posicionamiento en el desarrollo de servicios de realidad virtual tanto para la industria como para la educación donde se cuenta además con la presencia de DigiPen que ofrece un Grado Universitario en Ingeniería Informática en Simulación Interactiva en Tiempo Real. También destacan empresas como Virtualware o Innovae.

Siendo la industria uno de los sectores principales de actividad de Euskadi, es importante mencionar el alineamiento de las empresas vascas con las tendencias internacionales relacionadas con el concepto Industria 4.0, donde concepto como el “virtual commissioning” o el uso de entornos virtuales para tareas formativas, de mantenimiento, etc. se están poniendo en práctica de forma progresiva. En este campo podemos citar a empresas como Ingemat o Lander Simulation.

Desde BRTA, centros como CEIT, IKERLAN, TECNALIA, TEKNIKER y VICOMTECH cuentan con grupos especializados en I+D+i y soluciones relacionadas con las tecnologías de interacción.

1. Entidades de **BRTA traccionan iniciativas de investigación** básica en tratamiento del lenguaje natural, con especial foco en el impulso del euskara. Además, lideran y participan en diferentes proyectos nacionales e internacionales relacionados tanto con tecnologías del lenguaje como con otro tipo de formas de interacción (realidad extendida, visual analytics, distribución interactiva y multidispositivo de contenido digital, etc.) entre los que destacan proyectos como Rescuer, Arete, Simfal, etc. Iniciativas/Proyectos Singulares (Elkartek)
 - . ADAPT-IA: Hacia una IA Adaptativa en Tecnologías del Lenguaje aplicada a los sectores industriales RIS3
 - . IKASPROD - Tecnologías avanzadas para el aprendizaje (IKASI) por demostración en entornos productivos inteligentes
2. Proyectos Europeos significativos:
 - . Rescuer (first RESponder-Centered support toolkit for operating in adverse and infrastructure-less Environments). <https://rescuerproject.eu/>
 - . Infinity . INTERACT. INVESTIGATE: <https://h2020-infinity.eu/>
 - . Arete Augmented Reality Interactive Educational System: <https://www.areteproject.eu/>
 - . Traction: Opera co-creation for a social transformation <https://www.traction-project.eu/resources/>
 - . SIMFAL (2017-2020). “Assembly Planning and SIMulation of an Aircraft Final Assembly Line (FAL)” (H2020-EU.3.4.5.1, GA 737881). Desarrollo de herramientas de test basados en Realidad Virtual para planificar y evaluar diferentes alternativas de ensamblaje en aeronáutica.
 - . ASSASSINN (2020-2022). “Development of a multifunctional cell for complex aerospace ASSEMBLY, ASSISTED by Neural Network” (H2020 CleanSky, GA 886977). Desarrollo de una célula de ensamblaje multifuncional para aeronáutica mediante tecnologías de redes neuronales, robótica colaborativa y Realidad Aumentada y Mixta.
3. Proyectos nacionales significativos:
 - . Nuevos productos de inyección con superficies con capacidad táctil - Touchsensor (AEI – 2022)

2.5.3 Retos tecnológicos / Prioridades I+D

Los retos tecnológicos principales de las tecnologías de interacción se pueden clasificar en:

- **Tecnologías del lenguaje**

Las tecnologías del lenguaje siguen en constante evolución y mejora de la calidad. En este sentido, los sistemas de reconocimiento del habla presentan todavía limitaciones relacionadas principalmente con el habla espontánea y los entornos ruidosos o que requieran separar señales de fondo (música, etc.). La mejora de la robustez de dichos sistemas es todavía un reto tecnológico donde se deben combinar enfoques específicos de cada caso (modelización del canal, etc.) con aproximaciones generalistas que sean capaces de mejorar los ratios de transcripción en situaciones menos controladas y desconocidas a priori. Por otro lado, los sistemas de síntesis de voz cuentan ya con timbres y prosodias de gran calidad donde el siguiente gran reto consiste en dotar de mayor expresividad a las redes neuronales generativas que ya están siendo utilizadas en la generación de audio. A su vez, los grandes modelos de lenguaje han experimentado una gran revolución gracias a la combinación de enormes cantidades de datos, nuevas arquitecturas neuronales y grandes avances en la capacidad de procesamiento y cómputo.

En el caso de las tecnologías de realidad virtual, la capacidad de renderizado y procesamiento 3D en general permite ya el acceso a experiencias virtuales de alta calidad que puedan ser interactivas.





Además, los sistemas de traducción se benefician fuertemente de las nuevas aproximaciones tecnológicas basadas en *Transformers*. La adaptación de dichos modelos a idiomas minoritarios como el euskera, requiere la creación de corpus de calidad donde el gran reto consiste precisamente en general modelos equiparables a otros idiomas de gran difusión. La adaptación tecnológica de los grandes modelos de lenguaje tanto para aplicaciones de nicho como para lenguajes minoritarios es también un reto de gran relevancia, especialmente en cuanto a la comprensión se refiere.

A pesar de estos avances, los sistemas de síntesis de voz neuronal todavía fallan con letras sueltas, errores ortográficos, números, frases largas, etc. lo que conduce a una calidad inconsistente dependiendo de la entrada. Y la mayoría de las voces generadas suelen ser monótonas y planas, a menos que se disponga de un conjunto de datos que incluya una variedad de expresiones emocionales y múltiples hablantes. En relación a la clonación de voces, el próximo reto es proporcionar sistemas capaces de detectar posibles fraudes asociados.

Por otra parte, la generación de lenguaje natural ha experimentado una enorme mejora aplicándose con éxito recientemente a la generación automática de respuestas a diálogos abiertos de los usuarios. En este sentido, los retos principales del estado del arte actual pasan por mejorar la fiabilidad de la respuesta de dichos sistemas.

• Tecnologías de eXtended Reality (XR)

En el caso de las tecnologías de realidad virtual, la capacidad de renderizado y procesamiento 3D en general permite ya el acceso a experiencias virtuales de alta calidad que puedan ser interactivas, es decir, que reaccionen en tiempo real. Sin embargo, los costes de creación de dichos entornos presentan todavía serias limitaciones, ya que requieren aún de grandes cantidades de trabajo manual de modelado, definición de atributos, simulaciones físicas, propiedades semánticas y de interacción de los objetos, etc.



Los principales retos de XR pueden resumirse como:

1. **Hardware:** Uno de los mayores desafíos con las tecnologías XR es la necesidad de hardware especializado, como cascos de VR y gafas de realidad aumentada (AR o Augmented Reality). Estos dispositivos pueden ser costosos y voluminosos, y generar problemas de ergonomía, sensación de mareo, etc.
2. **Experiencia de usuario:** Otro desafío con las tecnologías XR es crear una experiencia de usuario fluida e intuitiva. Estas tecnologías todavía son relativamente nuevas y puede ser difícil diseñar sistemas que sean fáciles de usar y comprender. A día de hoy, no parece viable que un trabajador pueda permanecer una jornada laboral de 8 horas haciendo uso de un headset de VR or AR.
3. **Creación de contenido:** Crear contenido de alta calidad para tecnologías XR puede ser un desafío, sobre todo en aquellos aspectos relacionados con la fusión entre el mundo real y el virtual, ya que esto requiere una comprensión precisa de la escena real en la que se vayan a introducir elementos virtuales.
4. **Latencia:** La latencia, o el retraso entre la acción del usuario y la respuesta del sistema, es un gran desafío en las tecnologías XR. Sin embargo, los headsets de VR o AR tienen una capacidad de cómputo limitada, por lo que es necesario un híbrido de computación entre el propio dispositivo y elementos de la red (edge, MEC, Cloud). Por lo tanto, conseguir latencias inferiores es clave para mantener una experiencia XR consistente.

La digitalización en muchos casos se ha adoptado sin tener en cuenta la seguridad, y precisamente por ello muchas empresas han sufrido ataques y extorsiones que eran impensables hace tan solo un par de décadas.

5. Interoperabilidad: Las tecnologías XR aún están en desarrollo y todavía no hay un enfoque estandarizado para crear y compartir contenido en diferentes plataformas y dispositivos. Generalmente, una experiencia XR se desarrolla y concibe para un hardware en particular: dispositivos móviles, un caso de VR, unas gafas de AR. La interoperabilidad para definir una experiencia, y que ésta se adapte a cualquier contexto de usuario es todavía algo que la tecnología no soluciona fácilmente. Además, y aunque existen iniciativas y estándares Web para fomentar la interoperabilidad como WebXR o OpenXR, a día de hoy son populares los entornos de desarrollo propietarios, como Unreal o Unity.

2.6 Ciberseguridad

2.6.1 Introducción

La digitalización es uno de los fenómenos más globales de la actualidad. Todos los sectores económicos están digitalizándose sin excepción. Sectores estratégicos como la industria manufacturera, la energía o la salud han mejorado sustancialmente sus procesos y resultados en los últimos años gracias a la digitalización. Así pues, movimientos como la Industria 4.0 o el despliegue de la red eléctrica inteligente han permitido crear una industria mucho más optimizada y sostenible.

La interoperabilidad, el acceso al dato y la automatización son consecuencias directas de la digitalización que han marcado un claro cambio de tendencia en muchos sectores. No obstante, la digitalización en muchos casos se ha adoptado

sin tener en cuenta la seguridad, y precisamente por ello muchas empresas han sufrido ataques y extorsiones que eran impensables hace tan solo un par de décadas.

La digitalización conlleva una responsabilidad global de toda la cadena de suministro. El nivel de digitalización e interdependencia presente en los principales sectores económicos actuales requiere de un compromiso y acciones globales para la coordinación y correcta gestión de la seguridad de los sistemas digitales.

Es por ello que la ciberseguridad es cada vez más crítica para garantizar la continuidad de los negocios, pero también para garantizar la sostenibilidad económica y medioambiental de nuestro entorno. Sin las adecuadas medidas de protección de nuestras infraestructuras, así como de los productos y servicios ofrecidos por las empresas de nuestro tejido, nuestra sostenibilidad estará en riesgo, y nuestro tejido empresarial sufrirá continuos ataques que en algunos casos tendrán graves consecuencias económicas y ambientales.

2.6.2 Posicionamiento del País Vasco

El País Vasco tiene una larga historia en el ámbito de la ciberseguridad con empresas emblemáticas como PANDA y S212SEC que tuvieron su origen aquí. Desde entonces este ámbito ha seguido creciendo con nuevas empresas y startups como ORBIK y un importante apoyo institucional que hace que empresas internacionales como WATCHGUARD hayan decidido en el 2023 traer uno de sus centros de I+D en ciberseguridad al País Vasco. Puede decirse que el País Vasco aspira a convertirse en un relevante hub de Ciberseguridad Industrial a nivel internacional traccionado por Cyberzaintza como entidad pública, Cybasque como parte de la iniciativa privada y la Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación haciendo I+D+i en Ciberseguridad Industrial.

Cyberzaintza, la Agencia Vasca de Ciberseguridad, es un organismo público, creado para combatir, de una manera integral y transversal, las amenazas derivadas del uso de internet y las nuevas tecnologías en Euskadi. Tiene como objetivo situar a Euskadi como un referente en materia de ciberseguridad dentro de una Europa digital, contribuir a romper con la dependencia tecnológica de otras economías y promover la formación STEAM de las próximas generaciones para asegurar el relevo generacional en el sector digital vasco.

CYBASQUE

54

Por su parte CYBASQUE es el Cluster Vasco de Ciberseguridad, representando una asociación privada e independiente, que tiene como objetivo la promoción técnica, comercial y económica de las industrias de Ciberseguridad que representa contribuyendo con ello al desarrollo y avance del País Vasco. CYBASQUE es entidad homologada para la emisión del certificado *Cybersecurity Made in Europe* promovido por ECSO.

Como miembros de la Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación, BCAM, IKERLAN, TECNALIA y VICOMTECH son los centros tecnológicos que forman parte del Comité Permanente del Cyberzaintza.

Algunos de los proyectos en Ciberseguridad más representativos de los miembros de BRTA son:

- **SPARTA** (Strategic programs for advanced research and technology in Europe), Horizon 2020 2019-2022, red europea de centros de excelencia en ciberseguridad para el desarrollo
- de la agenda estratégica, las capacidades tecnológicas y los casos de demostración de la I+D europea en ciberseguridad
- **SEKUTEK** (Sekurtasun Teknologia), Elkartek 2017-2018, que marca el inicio de la coordinación de la actividad investigadora en ciberseguridad industrial en la RVCTI, con orientación hacia las tecnologías de protección de la cadena de las TEIC (Tecnologías de la Electrónica, Información y Comunicación) desde el sensor hasta la nube.
- **CYBERPREST** (Cybersegurtasunerako gaitasun osoa), Elkartek 2018-2019, que amplía el foco, potenciando la generación de conocimiento en todas las actividades necesarias para la consecución de un marco de ciberseguridad integral.
- **SENDAI** (SEgurtasun integrala iNDustria AdImentsurako), Elkartek 2019-2020, focaliza más en la mejora de la resiliencia de la Industria Vasca ante los ciberataques.



La misión de CYBASQUE es la de fomentar la Ciberseguridad en todos los ámbitos privados del territorio, promoviendo la colaboración con otros sectores y propiciando el desarrollo de nuevos productos/servicios, tecnologías y mercados.

- **TRUSTIND** (Creating Trust in the Industrial Digital Transformation), Elkartek 2020-2021 centrado en las tecnologías que permitan reforzar la Seguridad y Privacidad desde el diseño y por defecto, a lo largo de la cadena de suministro, de forma evaluable y verificable.
 - **REMEDY** (REal tiME control and embeddeD securitY), Elkartek 2021-2022, centrado en la generación de herramientas que permitan la gestión de equipos industriales desde el punto de vista de la Ciberseguridad.
 - **TITANIUM** Tools for the Investigation of Transactions in Underground Markets. Métodos y soluciones para la investigación y mitigación de actividades ilícitas en redes transaccionales.
 - **ATLANTIS**: Improved resilience of Critical Infrastuctures Against Large scale transNational and systemic risks. Proyecto Europeo de investigación y desarrollo para la protección y resiliencia de infraestructuras críticas frente a incidencias y ataques intencionados.
 - **BEACON** (Cybersecure Industrial Computing Continuum), Elkartek 2023-2024, que se centra en el ámbito de la ciberseguridad industrial mediante la aplicación del Secure Computing Continuum.
- Otros proyectos europeos en Ciberseguridad en los que participa BRTA: MEDINA, ASGARD, NOTIONES, AI4CYBER, DYNABIC, KINAITICS, IDUNN.
- Otros proyectos nacionales en Ciberseguridad en los que participa BRTA: SLISE, SEGRES, NCIS, EGIDA.

La incursión de nuevas tecnologías a proteger presentan continuamente nuevos retos de ciberseguridad y requieren de una inversión constante.

2.6.3 Retos tecnológicos /

Prioridades de I+D

La ciberseguridad es una disciplina en continua evolución, una carrera de fondo en la que la industria intenta incorporar tácticas, técnicas y procedimientos para proteger los productos, servicios e infraestructuras de nuestra industria. No obstante, la continua evolución de los métodos de ataque, así como la incursión de nuevas tecnologías a proteger presentan continuamente nuevos retos de ciberseguridad y requieren de una inversión constante. A continuación, se destacan los principales retos de ciberseguridad y prioridades de I+D para los próximos años.

1. Seguridad IoT/Edge/Cloud (“Secure Computing Continuum”)

Los sistemas digitales actuales se encuentran repartidos entre la IoT, Edge, Cloud y Espacios de Datos en complejos ecosistemas en los que debe proveerse de seguridad y privacidad en todos los niveles y a lo largo de todo el ciclo de vida de los mismos.

La adopción de tecnologías IoT viene acompañada de una serie de retos de ciberseguridad. Esto es especialmente crítico en sistemas industriales (IIoT), dispositivos médicos (robots, implantes), o incluso vehículos. En cualquiera de estos ejemplos es fácil advertir el impacto social y económico que puede tener un atacante. Los dispositivos IoT están **en muchos casos diseñados sin tener en cuenta medidas de protección y monitorización, especialmente equipos legados industriales** que todavía seguirán operando durante muchos años en nuestra industria y sistema energéticos. En otros casos a pesar de disponer de medidas de protección, éstas son insuficientes o no pueden ser activadas en su totalidad debido a potenciales incompatibilidades con otros equipamientos de la infraestructura. Es por ello que dichos sistemas requerirán **nuevas técnicas de monitorización** que gracias al uso de la Inteligencia Artificial detecten cualquier tipo de anomalía e intrusión, **e incluso actúen aplicando medidas de protección de la infraestructura siguiendo la filosofía**

SOAR (“Security orchestration, automation, and response”).

La llegada del **5G y la computación en Edge** presentan nuevos retos en términos de ciberseguridad que deberán de ser abordados en los próximos años para la correcta protección del *Edge computing* y de los numerosos casos de uso que la llegada del 5G va a hacer posible gracias a sus características.

Por último, la creciente tendencia a la **virtualización de equipamiento industrial** va a requerir de nuevas técnicas de protección de dichos equipos virtuales, así como la supervisión y control de su comportamiento, asegurando que dichos equipos virtuales no interfieran con otros sistemas virtualizados en el mismo dispositivo.

2. Seguridad de la información

El valor del dato es cada vez mayor, tanto a nivel industrial y empresarial como personal; y más con el auge de la Inteligencia Artificial, cuyo principal motor son precisamente los datos. No es posible entrenar modelos de Inteligencia Artificial sin un buen *dataset*, sin embargo, los expertos en IA no tienen a su disposición el conjunto de datos necesario para poder ir más allá con las técnicas de IA, o poder seguir mejorando los sistemas. Precisamente iniciativas como IDSA, Gaia-X y similares pretenden habilitar el **intercambio seguro de datos** y la economía del dato para romper con las barreras existentes en la actualidad, no obstante, para hacer realidad el intercambio y soberanía del dato se deberá realizar un importante esfuerzo durante los próximos años tanto a nivel de arquitecturas de referencia, criptografía avanzada para la computación segura, gobernanza y políticas de gestión del dato, etc.

Cabe destacar la necesidad de desarrollar técnicas y procedimientos que permitan **evitar ataques de envenenamiento de los datos** utilizados para entrenar modelos de Inteligencia Artificial mediante datos mal etiquetados o creando datos confusos que incluso puedan ser utilizados como un disparador en forma de puerta trasera en el modelo.

En el caso de datos sensibles vinculados con personas, por ejemplo, los datos sociosanitarios, se deben investigar **nuevas soluciones de confianza** cero de cara al acceso y procesado de datos sensibles. La criptografía y la computación segura son dos de las principales respuestas a esta necesidad.

3. Desarrollo de SW y HW seguro

Iniciativas como el *Cyber Resilience Act* marcan las pautas sobre cómo los sistemas digitales deberán evolucionar en el ámbito de la ciberseguridad en los próximos años. Este tipo de regulaciones, en paralelo a normas como la IEC 62443 ayudarán a concienciar y favorecer la introducción de la **ciberseguridad en todo el ciclo de desarrollo de los sistemas y productos digitales**. Con ello se espera que surjan nuevos retos, y que la investigación e innovación permitan facilitar el cumplimiento de normativas, estándares y regulaciones en materia de ciberseguridad de manera ágil y sin un aumento sustancial del coste de desarrollo y mantenimiento de este tipo de activos.

El uso y evolución de **tecnologías de seguridad HW** como los TPM (“Trusted Platform Module”) o TEE (“Trusted Execution Environment”) permitirán incorporar tecnologías HW de ciberseguridad en los productos, ofreciendo así un nivel mayor de seguridad y confiabilidad de los mismos. Algunos retos específicos de este apartado serían:

- Seguridad de vehículos conectados y robots: A pesar de que en muchas ocasiones los **vehículos autónomos y conectados**, así como la robótica industrial y médica, son considerados como dispositivos IoT, sus características y protocolos particulares van a requerir de investigación específica para este tipo de equipamiento, además de beneficiarse de los avances en tecnologías de protección y monitorización generalistas para sistemas IoT.
- Se deberá además prestar especial atención a las **cadena de suministro**, desarrollando nuevas técnicas y procedimientos que permitan detectar ataques a la cadena de suministro que pongan en compromiso el producto o sistema final.

4. Privacidad y Tecnologías de Identidad

El desarrollo del Big Data y de la Inteligencia Artificial ofrecen nuevas oportunidades y también nuevos retos ligados con la privacidad y como preservarla de la forma adecuada en estos nuevos contextos. Como gestionar la identidad de personas y máquinas, su privacidad en los niveles adecuados al mismo tiempo que permitiendo realizar la analítica necesaria sobre los mismos sigue siendo un reto, ya que tecnologías como la encriptación homomórfica, el Secure Multiparty Computation entre otras pueden resolver estos retos, pero se necesita avanzar en su aplicación a escenarios del mundo real e industrial.

Queda camino que recorrer para facilitar la migración de los actuales sistemas criptográficos hacia sistemas criptográficos resistentes a la cuántica.

5. Transición a la criptografía poscuántica

Con la llegada de los ordenadores cuánticos la criptografía actual puede verse comprometida y aunque ya existen recomendaciones para hacerlas frente, queda camino que recorrer para facilitar la migración de los actuales sistemas criptográficos hacia sistemas criptográficos resistentes a la cuántica. Algunas tecnologías prometedoras para resolver este reto son: la criptografía basada en retículos, la basada en código, la basada en hash, la basada en sistemas de ecuaciones multivariable o la basada en isogenias.

En la sección 3 se discuten algunos nuevos mecanismos emergentes para el intercambio seguro de claves criptográficas basados en tecnologías cuánticas, como el entrelazamiento cuántico, que está en fase de investigación.



2.7 Ingeniería del Software

2.7.1 Introducción

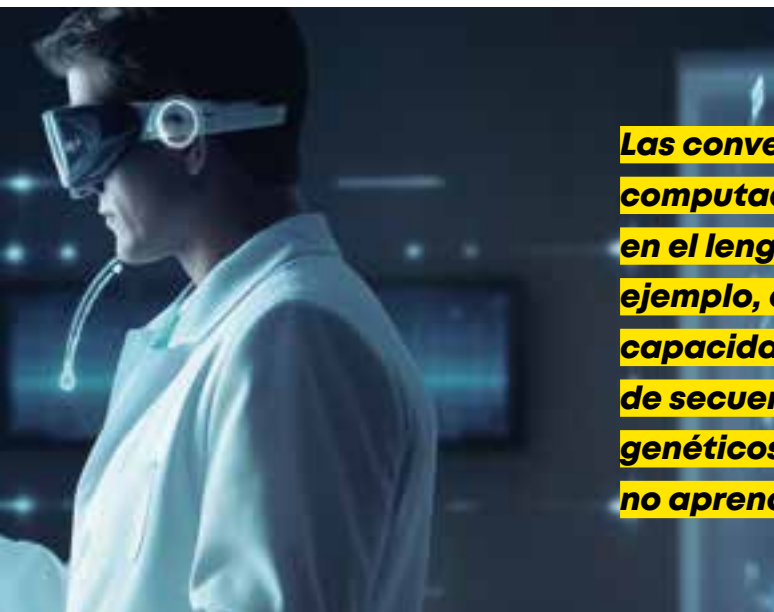
La ingeniería del software del futuro será una **conversación técnica entre personas y máquinas** en lugar de un proceso manual iterativo de especificaciones y código. Equipos multidisciplinares de ingenieros de dominio (ingenieros aeronáuticos, ingenieros industriales, etc.), usuarios (pilotos, operarios, etc.) e ingenieros de software diseñarán conjuntamente el próximo producto/sistema (aeronave, robot, etc.) mediante la presentación de ideas que convierten en diseños viables basados en el conocimiento existente en las organizaciones y las limitaciones físicas de la solución si así hubiera. Los diseños se muestran en tiempo real y el equipo multidisciplinar compara diferentes opciones utilizando simulaciones en tiempo real basándose en la opción que mejor balancea coste, capacidades, seguridad y tiempo.

El desarrollo de software del futuro se convertirá en una **expresión de capacidades** en lugar de una programación o disposición de algoritmos. Los ingenieros de software deberán volverse expertos en expresar intenciones de una manera que permita a los ordenadores **a aprender de la experiencia**. El software elegante ya no se referirá a una programación bien implementada, sino que será el resultado de que las **personas trabajen con sistemas automatizados y de Inteligencia Artificial** para implementar las mejores ideas que los equipos puedan imaginar de la manera más oportuna, asequible, ética y segura.

Las conversaciones con las computadoras se llevarán a cabo en el lenguaje del dominio; por ejemplo, con médicos desarrollando capacidades de software hablando de secuenciación y biomarcadores genéticos, proteínicos o metabólicos, no aprendiendo Java, Python o C#.

El uso de la simulación puede convertir todo el **proceso actual de verificación y validación en una experiencia inmersiva** para que una nueva configuración de un sistema complejo puede verse desde cualquier punto de vista y no solo un rango visual, permitiendo a los ingenieros realizar cambios inmediatamente y analizar su impacto en entorno espacial con todos los datos y metadatos disponibles.

Finalmente, **el cumplimiento de los estándares de calidad** también estará garantizado desde el diseño como parte de marcos de desarrollo de software sofisticados que implementan ingenieros expertos, pero que permanecen ocultos para los programadores que no necesitan preocuparse por esos aspectos del diseño. No será necesario comprender los efectos dominó provocados por los cambios en sistemas cada vez más complejos. Los problemas se identificarán y corregirán antes de la implementación. Asegurarse de que los cambios propuestos no rompan el sistema se hará automáticamente mediante el análisis de los efectos que un cambio podría tener en el assurance y en la evolución de un sistema.



Las conversaciones con las computadoras se llevarán a cabo en el lenguaje del dominio; por ejemplo, con médicos desarrollando capacidades de software hablando de secuenciación y biomarcadores genéticos, proteínicos o metabólicos, no aprendiendo Java, Python o C#.

2.7.2 Posicionamiento del País Vasco

En el País Vasco existe un tejido industrial de empresas con propuesta de valor, producto y servicio orientado a la ingeniería de software, agrupadas en el cluster GAIA, Asociación de Industrias de Conocimiento y Tecnologías Aplicadas.

Asimismo, algunos de los centros de BRTA participan en proyectos de investigación punteros en relación a la ingeniería de software de los sistemas de Inteligencia Artificial, a la propia aplicación de la IA y otras tecnologías digitales al desarrollo de software, y al aseguramiento continuo de la calidad. Algunos de los proyectos más representativos en este ámbito son:

- **ULTIMATE** (mUlti-Level Trustworthiness to Improve the Adoption of hybrid artificial intelligence), Horizon Europe 2022-2025.
- **TRUSTIND** (Creating Trust in the Industrial Digital Transformation), Elkartek 2020-2022.
- **SIIRSE** (Sistemas industriales inteligentes, robustos, seguros y éticos para la Industria 5.0: paradigmas avanzados de especificación, diseño, evaluación y monitorización), Elkartek 2022-2023.
- **SOLSTICIA** (Construcción de Sistemas Software Ciberseguros e Inteligentes desde el Diseño basados en IA), Misiones CDTI 2021-2024.
- **PARAVASIS** (Nuevo paradigma de diseño personalizado y avanzado de sistemas industriales del futuro), Misiones CDTI 2022-2025.



Asimismo, algunos de los centros de BRTA participan en proyectos de investigación punteros en relación a la ingeniería de software de los sistemas de Inteligencia Artificial, a la propia aplicación de la IA y otras tecnologías digitales al desarrollo de software, y al aseguramiento continuo de la calidad



2.7.3 Retos tecnológicos / Prioridades de I+D

Las áreas tecnológicas de investigación para los próximos años son las siguientes:

1. Ingeniería de Inteligencia Artificial

Los sistemas software que incorporan componentes IA (no determinísticos) y componentes no-IA (determinísticos) tienen características diferentes de aquellos que no tienen IA. Esta área de investigación se focaliza en explorar qué prácticas de ingeniería de software existentes pueden respaldar de manera confiable el desarrollo de sistemas de IA, así como en identificar y aumentar las técnicas de ingeniería de software para la especificación, diseño, arquitectura, análisis, implementación y mantenimiento de sistemas con componentes de IA. Dentro de la ingeniería de IA, la **robustez** y **seguridad**, la **escalabilidad** y el **diseño ético centrado en humanos**, son líneas de trabajo específicas para abordar este reto tecnológico.

Algunas líneas de investigación específicas dentro de la Ingeniería de Inteligencia Artificial son:

- Atributos de calidad y arquitecturas de sistemas IA como explicabilidad, centralidad del dato, verificabilidad, monitorización y tolerancia al fallo, además de aspectos éticos transversales.
- Técnicas para analizar y gestionar el cambio en sistemas ML por dependencias cruzadas que son difíciles de seguir ante cambios en ciertas partes del código.
- Pruebas, despliegue y mantenimiento de sistemas IA. La ciencia de datos, la ingeniería de software y las operaciones son perspectivas diferentes que se deben considerar en el desarrollo y despliegue de sistemas IA. Mejorar la automatización para identificar incongruencias, flujos MLOps y técnicas de testing para componentes IA son necesarios.

2. Inteligencia Artificial para el Desarrollo de Software

La Inteligencia Artificial es una tecnología transversal que se utiliza en procesos de negocio* de diferentes sectores (logística, energía, finanzas, etc.) para obtener ventajas competitivas, ya sea en clave de optimización o de mejora de la toma de decisión. El **proceso de desarrollo de software** es un proceso de fabricación donde también es susceptible que la IA juegue un papel diferencial para **construir un software más seguro y/o con menor coste**. En esta área de investigación se aplican técnicas IA (NLP, ML, DL, etc.) en diferentes fases del ciclo de vida, desde los requisitos hasta el mantenimiento y operación.

Algunas líneas de investigación específicas dentro de la IA para el desarrollo de software son:

- Análisis automático de requisitos y su relación con normativas y regulaciones.
- Generación automática de código a partir de diseños de sistemas complejos.
- Reparación automática de código y sugerencias de codificación seguras para los desarrolladores.
- Generación automática de casos de pruebas.
- Estimación de proyectos en base a históricos.

3. Aseguramiento Continuo de la Calidad

Los sistemas software están en **continua evolución y esto obliga a un aseguramiento continuo de su calidad**, incluyendo la seguridad, ante cambios que se producen en el código, ya sea por mejoras o corrección de errores; más aún cuando estos sistemas deben ser certificados ante normativas o esquemas de certificación internacionales y el coste de la certificación es elevado ante cualquier cambio.



Los sistemas software están en continua evolución y esto obliga a un aseguramiento continuo de su calidad, incluyendo la seguridad, ante cambios que se producen en el código, ya sea por mejoras o corrección de errores.



Algunas líneas de investigación específicas dentro del aseguramiento continuo de la calidad son:

- Análisis y combinación de distintas evidencias del ciclo de vida resultado de las pruebas verificación, simulación, etc. para cumplir con los requisitos y asegurar la calidad del sistema.
- Detección automática de cambios en el assurance si se ha producido algún cambio en el sistema que produzca nuevos fallos o vulnerabilidades.
- Recomendaciones de cambios en el sistema en base a datos recogidos cuando el sistema se encuentra en operación.

4. Ingeniería del Software Cuántico

El software cuántico, como cualquier otro tipo de software, necesita ser planificado, diseñado, implementado, estimado, probado, asegurada su seguridad y calidad, evolucionado y mantenido entre otras cuestiones. Esto significa que la ingeniería del software cuántico necesita ser desarrollada como una **nueva disciplina**, tanto a nivel académico como industrial, a lo largo del nuevo ciclo de vida de software cuántico.

Este nuevo paradigma de computación implica la adaptación y creación de nuevos procesos, métodos, técnicas, prácticas y principios de ingeniería de software para el desarrollo de software cuántico.

Algunas líneas de investigación específicas dentro de la ingeniería de software cuántico son:

- Migración automática y modernización de software clásico a software cuántico. Técnicas de reingeniería inversa, abstracción y modernización de software serán necesarias para automatizar la migración de software clásico a software cuántico, siendo en muchos casos sistemas híbridos de información.
- Pruebas de software cuántico. El software clásico es determinístico bajo unas determinadas condiciones, mientras que el software cuántico no lo es. Nuevos métodos y técnicas de verificación y validación son necesarias de investigar en los próximos años.
- Programación de software cuántico. Nuevos paradigmas de programación son necesarios de investigar en los próximos años.
- Metodologías para el desarrollo de software cuántico. Las metodologías de desarrollo de software clásico deben ser revisadas para adaptarlas a las características del software cuántico.

03

TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS

64

3.1 Tecnologías cuánticas _ 66

3.2. Espintrónica _ 77







QUANT

Esta sección analiza las tecnologías cuánticas y la espintrónica, que son dos tecnologías disruptivas que están aún en un estado incipiente de desarrollo pero pueden llegar a provocar verdaderas revoluciones tecnológicas.

3.1 Tecnologías cuánticas

3.1.1 Introducción

Las tecnologías cuánticas se utilizan en un amplio abanico de ámbitos de aplicación que explotan las propiedades cuánticas de la materia a nivel de partícula, tales como la superposición y el entrelazamiento para obtener ventajas diferenciales frente a las tecnologías clásicas.

Las tecnologías cuánticas están llamadas a revolucionar las cadenas de valor de la industria global. Dado que sobre la base de estas tecnologías se desarrollarán muchos productos y servicios que serán capaces de abordar los desafíos existentes y futuros que son imposibles o muy difíciles de resolver con los medios



En la actualidad existen diversos fabricantes a nivel mundial de ordenadores cuánticos que utilizan tecnologías diversas, muchos de ellos pueden ser accedidos en la nube para aplicaciones que aún se encuentran en el campo de la investigación.

tradicionales, su dominio temprano puede resultar un elemento de competitividad fundamental para las compañías y un camino para garantizar la futura prosperidad de las regiones. Como resultado de esto, el crecimiento del sector está siendo impulsado tanto por los gobiernos como por las grandes empresas y las start-ups, con muchas decenas de miles de millones de euros en financiación e inversiones.

Los principales ámbitos de aplicación sobre los que se está investigando e invirtiendo con profusión son los siguientes:

• La Computación y Simulación Cuántica

En la actualidad existen diversos fabricantes a nivel mundial de ordenadores cuánticos que utilizan tecnologías diversas. Muchos de ellos pueden ser accedidos en la nube para aplicaciones que aún se encuentran en el campo de la investigación o, como mucho, para pruebas de concepto: optimización, simulación, aprendizaje máquina... Las tecnologías actuales para crear qbits (la unidad de información cuántica) tienen limitaciones claras en cuanto a escalabilidad (número de qbits), tiempo de decoherencia (el tiempo durante el que un ordenador cuántico puede funcionar como tal) y ruido, pero los avances se suceden a velocidad vertiginosa. Probablemente, aún está por descubrir la tecnología que permitirá superar estas limitaciones de los ordenadores cuánticos de esta era que se ha denominado NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum). Es importante resaltar que la computación cuántica no viene para sustituir a la computación clásica: presenta ventajas para la resolución de determinados problemas y, por consiguiente, tanto la computación clásica como la cuántica convivirán complementándose entre sí. Así pues, además de trasladar a la cuántica los conceptos de la ingeniería del SW clásico, existen nuevos retos que se derivan de la coexistencia en un mismo sistema de secciones cuánticas y clásicas, y de integración y la automatización de los ciclos de desarrollo y despliegue sobre las infraestructuras de información (Quantum DevOps, o QDevOps).

• Las Ciberseguridad y las Comunicaciones Cuánticas

Al mismo tiempo que la computación cuántica está empezando a amenazar los sistemas de ciberseguridad basados en algoritmos criptográficos, fenómenos como el entrelazamiento cuántico permitirán desarrollar nuevos mecanismos para el intercambio seguro de claves criptográficas. Por un lado, las investigaciones en este ámbito se están centrando en el desarrollo de algoritmos de cifrado resistente al ataque de un ordenador cuántico, o algoritmos de Cifrado Post-Cuántico. El NIST (*National Institute of Standards and Technology*) mantiene activo un proceso de estandarización para seleccionar un conjunto de algoritmos con fines de estandarización internacional, que se encuentra en sus últimas fases. Por otro lado, también se está trabajando activamente en desarrollar nuevos métodos para las comunicaciones seguras, como QKD

(Quantum Key Distribution), y existe una iniciativa europea para la creación de una infraestructura de comunicaciones securizada mediante tecnologías cuánticas: EuroQCI (European Quantum Communication Infrastructure (EuroQCI)). En un futuro algo más lejano, propiedades como el entrelazamiento y la teleportación cuántica abren posibilidades para el despliegue de una Internet del futuro intrínsecamente segura.

• La Sensórica y Metrología Cuántica

Dado que las energías involucradas en los procesos cuánticos a nivel de partícula son casi infinitesimales, la sensórica cuántica está permitiendo avances sustanciales en términos de sensibilidad frente a los sensores clásicos. Los sensores cuánticos pueden mejorar la precisión de las mediciones, y habilitar aplicaciones en el sector de la industria, la sanidad y el diagnóstico, el petróleo y el gas la defensa, la automoción, la ingeniería civil, la construcción, el espacio y las telecomunicaciones. Aunque las tecnologías cuánticas que se utilizan en sensórica y metrología son muy amplias, y con toda seguridad seguirán surgiendo nuevas, se considera que es el ámbito de aplicación de las tecnologías cuánticas que está más desarrollado, y que será el primero en generar un impacto importante en el mercado.

3.1.2 Posicionamiento en el País Vasco

El "Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación Euskadi 2030" distingue entre las tecnologías digitales o virtuales (Inteligencia Artificial y Big Data / Ciencia de Datos, Internet de las Cosas y Tecnologías 5G, Ciberseguridad, Sistemas Ciberfísicos) y las tecnologías físicas, biológicas, químicas o de materiales. Dentro de estas últimas se encuentran identificadas explícitamente

La Universidad del País Vasco ha creado el EHU Quantum Center, un centro que integra la investigación fundamental en cuántica, la formación de personal investigador y la transferencia de conocimiento a la sociedad y a las empresas.



las tecnologías cuánticas y neutrónica, que engloban los relojes cuánticos y sincronización, la metrología óptico-cuántica, la simulación y diseño de materiales y moléculas en computadoras cuánticas y la neutrónica.

Bilbao es uno de los tres nodos de la *red Quantum Flagship* en el Estado, junto a Madrid y Barcelona. Quantum Flagship es una de las iniciativas de investigación de mayor envergadura financiada por el ejecutivo comunitario para colocar a Europa a la vanguardia del progreso.

Conscientes de la importancia de las tecnologías cuánticas van a jugar en la competitividad futura de las empresas y en la economía del País Vasco en general, las distintas administraciones se están apostando fuertemente y generando diferentes iniciativas alrededor de la cuántica que pretenden dinamizar y fortalecer el ecosistema:

Entre estas iniciativas cabe destacar:

- **Industry Focused Quantum Ecosystem**

Ha sido creado por la Diputación Foral de Bizkaia, con una estrategia orientada a afianzar la posición internacional del territorio en el ámbito de las tecnologías cuánticas y convertirse en un polo de referencia en el conocimiento y futuros desarrollos de quantum. La Diputación Foral de Bizkaia es el segundo hub en unirse a IBM Quantum Network en España tras el CSIC, y el quinto en la Unión Europea. Dentro de esta iniciativa, Quantum Ecosystem facilita un acceso especial para que todas las universidades del territorio puedan investigar y experimentar con los ordenadores cuánticos de IBM en la nube. De hecho, la UPV-EHU juega ya un papel muy relevante en el ecosistema del territorio y cuenta con prestigio internacional en este campo. Es una de las universidades líderes en

investigación básica (pura) y básica-aplicada. También tiene uno de los pocos másteres en cuántica del mundo y primero en el Estado. Y es una de las diez universidades europeas en el consorcio OpenSuperQ, iniciativa FPA (*Framework Partnership Agreement*) europea para lograr un ordenador cuántico con especificaciones abiertas (modelo open source).

La Universidad del País Vasco ha creado el **EHU Quantum Center**, un centro que integra la investigación fundamental en cuántica, la formación de personal investigador y la transferencia de conocimiento a la sociedad y a las empresas. El centro tiene como objeto descubrir y estudiar fenómenos y sistemas cuánticos; difundir el conocimiento sobre Ciencia y Tecnología Cuántica; y desarrollar aplicaciones tecnológicas. Lo hace mediante la interacción de investigación, formación y transferencia, con la vocación clara de proyectarlas tanto local como internacionalmente.

La estrategia Ikur 2030 es una iniciativa puesta en marcha por el Departamento de Educación del Gobierno Vasco en el ámbito de la investigación de excelencia en 2021. Las tecnologías cuánticas constituyen uno de los cuatro nichos o ámbitos estratégicos por los que se apuesta en esta estrategia, junto con las neurociencias, la neutrónica o la supercomputación y la Inteligencia Artificial.

En línea con esta estrategia, el Departamento de Educación y la Diputación Foral de Gipuzkoa suscribieron el pasado mes de septiembre un acuerdo de colaboración con el fin impulsar conjuntamente el desarrollo de un **Polo de Tecnologías Cuánticas en Gipuzkoa**. Ambas instituciones comparten el objetivo de posicionar a Gipuzkoa y a Euskadi como referentes en un

TECNOLOGÍAS DIGITALES

03

TECNOLOGÍAS
DISRUPTIVAS

Quantum Teknologiak - QUANTEK” ha tenido el objetivo de desarrollar una base de conocimiento en torno a las tecnologías cuánticas como propulsor de un ecosistema cuántico en el País Vasco.

70

ámbito de enorme potencial, que permitirá generar tecnologías altamente disruptivas con un gran impacto en la sociedad, y de cuyo desarrollo podrán beneficiarse numerosos sectores, especialmente aquellos que manejan un gran número de datos.

Iniciativas/proyectos singulares

Proyectos de investigación fundamental e investigación aplicada:

• **QUANTEK** ha sido entre 2021 y 2022 el primer proyecto focalizado sobre tecnologías cuánticas. Financiado por el programa Elkartek en 2021, “Quantum Teknologiak - QUANTEK” ha tenido el objetivo de desarrollar una base de conocimiento en torno a las tecnologías cuánticas como propulsor de un ecosistema cuántico en el País Vasco. Para ello, ha desarrollado cuatro líneas de trabajo: la computación y simulación cuántica, la ingeniería del software cuántico, la seguridad y las comunicaciones cuánticas y la delimitación de casos de uso para el fortalecimiento del ecosistema cuántico. Ha contado con 4 socios: TECNALIA (coordinador), I3B, UPV/EHU y UNIV. DE DEUSTO.



• El proyecto **QFirst**, financiado por el programa ELKARTEK 2022 del Gobierno Vasco, aborda el desarrollo de hardware cuántico para sensores de ultra resolución basados en la tecnología de Nitrógeno Vacante en diamante. Mediante esta tecnología es posible lograr un rendimiento y precisión sin precedentes para dispositivos que se utilicen en sistemas de detección de propiedades físicas y químicas, de identificación y trazabilidad, de comunicación industrial segura, de metrología o de posicionamiento inercial. Cuenta con 5 socios: TECNALIA (coordinador), UPV/EHU, MATERIALS PHYSICS CENTER, TEKNIKER y AVS NEXT.

• El proyecto **BRTA-Q** está financiado por el programa ELKARTEK 2022 del Gobierno Vasco y tiene como objeto estructurar, ordenar, coordinar y dirigir la estrategia de los centros

de BRTA en tecnología cuánticas. BRTA Quantum es también un sujeto (grupo de trabajo) que representa a BRTA en la “comunidad quantum”. BRTA_Q tiene por un lado un componente de coordinación que consiste en acciones de difusión, sensibilización y comunicación, creación de redes, servicios de coordinación o de apoyo, ejercicios y estudios de aprendizaje mutuo, incluyendo estudios de diseño de nuevas infraestructuras. Coordinado por BRTA, participan como socios TECNALIA, CIC NANOGUNE, VICOMTECH, TEKNIKER e IKERLAN.

Laboratorios:

- En 2021 se instala en TECNALIA el laboratorio de QKD. Este laboratorio está basado en equipamiento de comunicaciones de ID-Quantique. Se trata de una plataforma experimental QKD a todos los niveles, con anillos de fibra de hasta 70km, para la optimización de algoritmos cuánticos clásicos y desarrollo de nuevos algoritmos QKD.
- Dentro del programa AZPITEK, el Gobierno Vasco ha financiado la creación del laboratorio de sensórica cuántica **Q-eNVy**. Este laboratorio colaborativo está focalizado en la ingeniería de centros de Nitrógeno Vacante, que es un ámbito en el que existe un notable conocimiento en el País Vasco, distribuido sobre varios agentes de la RVCTi. Este laboratorio responde a la necesidad de aproximarse a las denominadas deep tech como el elemento fundamental para el futuro desarrollo económico y la autodeterminación digital de las sociedades.

La sensórica cuántica es un ámbito en el que el País Vasco aspira a convertirse en un referente internacional, no solamente en cuanto al avance de la propia tecnología, si no al impulso de sus aplicaciones más avanzadas en las cadenas de valor locales más desarrolladas

Otros:

- El Ministerio de Ciencia e Innovación, ha desplegado un programa de investigación en el marco de los Planes Complementarios con las CCAA del componente 17 del PERTE, financiado por la Unión Europea, Next Generation EU. Según este esquema, el Ministerio y el Gobierno Vasco han financiado específicamente la acción complementaria “Comunicación Cuántica” para apoyar entre 2022 y 2024 la creación de una infraestructura de comunicación de alta seguridad en España, impulsar la industria cuántica y promover un nuevo sector industrial con nuevas empresas en los ámbitos digital y de ciberseguridad. Se dirige a un sector estratégico dentro de las tecnologías cuánticas de segunda generación, que se basa en la capacidad de manipular sistemas cuánticos individualmente, alineándose de esta manera con algunas de las iniciativas de I+D+I más ambiciosas de la Unión Europea, como el Quantum Flagship y la creación de una red cuántica paneuropea (EuroQCI). La acción ha supuesto una ayuda directa a TECNALIA y DIPC – DONOSTIA INTERNATIONAL PHYSICS CENTER, en la que también participan: I3B, UPV/EHU y UNIV. DEUSTO.





Desarrollar nuevas tecnologías hardware que permitan ir evolucionando de la era NISQ a la era Fault Tolerant Large Scale Quantum.

3.1.3 Retos tecnológicos / Prioridades de I+D

- Desarrollar nuevas tecnologías hardware que permitan **ir evolucionando de la era NISQ a la era Fault Tolerant Large Scale Quantum**. En la actualidad existen múltiples bases tecnológicas con las que se desarrollan qbits (superconductores, iones atrapados, ópticos, defectos en diamante...), y todas ellas presentan muchas limitaciones, en términos de escalabilidad en el número de qbits, ruido, tiempo de decoherencia... Mientras que es necesario seguir avanzando en el desarrollo de estas tecnologías (que por otra parte evolucionan con rapidez) es preciso investigar en nuevos mecanismos para atrapar e interactuar con partículas que permitan minimizar estos inconvenientes.
- Mejorar los algoritmos de corrección de errores** Mientras persisten las limitaciones de la era NISQ, es necesario implementar algoritmos de

corrección de los errores producidos por el ruido cuántico. Estos algoritmos están implementados en los propios ordenadores cuánticos, y exigen la dedicación de una parte significativa de los qbits disponibles, de forma que existe una diferencia importante entre el número de qbits físicos y el número de qbits lógicos disponibles, es decir, el número de qbits que en realidad pueden utilizarse para realizar las operaciones de computación. Por tanto, avanzar en la eficiencia de los algoritmos de corrección de errores es tanto como aumentar el número de qbits físicos.

- Investigar en nuevos algoritmos cuánticos**, que exploten la ventaja cuántica en aplicaciones específicas. Hasta el día de hoy se ha desarrollado un número limitado de algoritmos cuánticos. Es necesario desarrollar algoritmos que ayuden a la resolución de

nuevos problemas, así como algoritmos que eventualmente mejores las prestaciones de otros algoritmos cuánticos existentes. Un ejemplo de esto es la reciente publicación de un algoritmo que mejora sustancialmente las prestaciones del algoritmo de Shor, que aún sin estar extensamente aceptado por la comunidad científica internacional, podría comprometer la seguridad de RSA en un plazo mucho más corto de lo esperado.

Desarrollar herramientas que aborden todo el **ciclo de vida del SW sobre sistemas híbridos**. El hecho de que los ordenadores cuánticos son no deterministas por naturaleza conduce a la necesidad, probablemente perdurable en el tiempo, de la coexistencia de procesamiento clásico y cuántico dentro de los mismos sistemas. Esto representa una fuente de innumerables retos en el ámbito de la ingeniería del SW destinado a estos sistemas híbridos, desde la fragmentación de los problemas y su distribución entre la parte clásica y la parte cuántica de una forma óptima, hasta la validación de los sistemas híbridos para aplicaciones de seguridad, que difícilmente pueden admitir resultados no deterministas.

Desarrollar el concepto de QDevOps

Llevar los conceptos de DevOps clásico a lo cuántico no resulta evidente, especialmente por las limitaciones de la era NISQ, al hecho de que los sistemas van a ser generalmente híbridos, y que la parte cuántica va a estar desplegada en la red, con la posibilidad de utilizar cualquiera de las diferentes tecnologías cuánticas existentes. Según el esquema DevOps, es necesario realizar una evaluación y prueba de la plataforma durante la programación. Además, antes de realizar un cálculo extenso, se evalúa la susceptibilidad actual a los errores y la estabilidad de las instancias de computación cuántica disponibles, generalmente accesibles a través de la nube, antes de elegir la instancia más adecuada. Esto asegura que se utiliza la plataforma cuántica que asegure los mejores resultados para los algoritmos utilizados.

Despliegue de algoritmos de inspiración cuántica sobre sistemas embebidos

Cada vez resulta más necesario implementar algoritmos complejos en el Edge, por ejemplo, para el desarrollo de sistemas en tiempo real que no podrían soportar la latencia de un acceso en la nube. Pero los recursos disponibles en estos dispositivos embebidos podrían limitar la potencia de las operaciones que puedan ejecutarse localmente. Los algoritmos

de inspiración cuántica pueden mejorar el rendimiento de las operaciones, de forma que se puede disponer de mayor potencia de cálculo sobre el mismo hardware, o simplificar el hardware para una misma potencia de cálculo. Es necesario desarrollar métodos para implementar sobre FPGAs redes de tensores que permitan desplegar estos algoritmos de inspiración cuántica de una forma eficiente.

Sistemas de Simulación Cuántica

La simulación cuántica puede referirse a aproximaciones numéricas a formulaciones matemáticas complicadas (por ejemplo, sistemas de ecuaciones diferenciales) que describen un determinado fenómeno físico, o también a sistemas cuánticos que replican el comportamiento de otros sistemas cuánticos, por ejemplo, los procesos de síntesis de nuevas moléculas, que resultan demasiado costosos para su simulación en ordenadores clásicos. En ambos casos, la simulación cuántica es un ámbito aún emergente de las tecnologías cuánticas, pero que presenta un amplio potencial de impacto, por lo que es necesario investigar para llevarlo a estados más próximos a su aplicación real.

• COMUNICACIONES CUÁNTICAS

Superar las barreras actuales de QKD, por ejemplo, en términos de distancia

Existen principalmente dos variantes de tecnología QKD, de variable discreta (DV-QKD) que se basa en el uso de detectores de fotones individuales y QKD de variable continua (CV-QKD) que se basa en detección coherente. Aunque se han publicado experimentos en los que se han alcanzado distancias mucho mayores, estas tecnologías no permiten su uso a distancias muy superiores a los 100Km sobre fibras ópticas, ya que las atenuaciones que se derivan hacen que los fotones pierdan sus estados cuánticos. Esta limitación en la distancia máxima utilizable dificulta el uso de QKD en redes metropolitanas de largo alcance (por ejemplo, enlaces entre ciudades), o redes de acceso óptico pasivas de múltiples usuarios. Es necesario continuar investigando para desarrollar sistemas que suavicen estas restricciones de los sistemas de QKD.

Avanzar en nuevas tecnologías fotónicas para QKD

Las tecnologías QKD están considerablemente maduras y pueden encontrarse en el mercado productos de distintos fabricantes que pueden integrarse en cualquier CPD. Pero se trata de

productos caros, que difícilmente pueden justificar su uso en las empresas, más allá de organismos gubernamentales o grandes corporaciones que manejan información sumamente crítica. Además de abaratar los costos de forma que QKD pueda ser utilizado de una forma extensa, es necesario avanzar en el desarrollo de dispositivos que permitan explorar la posibilidad de llevar QKD al mundo de las máquinas, para la segurización de comunicaciones industriales, por ejemplo. En la actualidad existen muchas librerías para ser integradas en chips fotónicos, pero muchas veces no alcanzan las prestaciones que exige QKD. Por ejemplo, es necesario seguir investigando en la generación de pares de fotones entrelazados antes de que puedan incluirse en circuitos integrados industrializables.

Desafíos de seguridad dentro de la integración a infraestructuras clásicas

Las ventajas de la mecánica cuántica aplican a la generación y al intercambio de claves cuánticas, pero una vez que estas claves han sido intercambiadas, aplican los desafíos clásicos de la ciberseguridad de TI. Unos de los ataques más comunes son los ataques de múltiples etapas, que se dirigen a información altamente crítica. Estos ataques generalmente involucran múltiples etapas durante un largo período de tiempo. Las claves secretas son un objetivo habitual, ya que pueden desbloquear el acceso a información mucho más crítica. Las contramedidas se basan en varios mecanismos de monitoreo de seguridad, y estos también deberán tenerse en cuenta para los dispositivos de seguridad cuántica.

Extender la capilaridad de QKD a redes complejas

El estado del arte de la tecnología QKD sólo posibilita la comunicación (el intercambio de claves seguras) entre dos nodos, de una forma

punto a punto, a veces con intermediarios de confianza. Una operativa normal requerirá que este intercambio QKD se realice entre múltiples nodos, como una red multipunto compleja. Es preciso avanzar no sólo para compactar los propios dispositivos QKD sino también para desarrollar los mecanismos necesarios para gestionar la estructura de redes con configuraciones y topologías complejas.

Desarrollar la futura Internet Cuántica

La mecánica cuántica ofrece posibilidades muy interesantes basadas en una posible explotación de fenómenos como el entrelazamiento y la teletransportación cuánticos, que permitirían el desarrollo de sistemas de comunicaciones intrínsecamente seguros, ya que la información podría ser transmitida de un lugar a otro sin que necesariamente toda ella tenga que viajar a través de una línea de comunicaciones. Este tipo de fenómenos han levantado tantas expectativas que han conducido a planteamientos erróneos ampliamente difundidos como que las comunicaciones cuánticas permiten la transmisión instantánea de la información. Más allá de estas falsas interpretaciones, los mencionados fenómenos cuánticos ofrecen posibilidades que apuntan hacia el desarrollo de comunicaciones intrínsecamente seguras, aunque la tecnología aún está lejos de ser capaz de explotarlos

Avances en la implementación de QRNGs

Los QRNG, Quantum Number Random Generation, son un tipo específico de generadores de números aleatorios que se basan en la medición de un proceso físico cuántico. La ventaja fundamental de los QRNG es que aprovechan una de las características más básicas de la física cuántica: la indeterminación cuántica. Esto los convierte en la solución técnica más sólida para el desafío de producir dígitos impredecibles. Existen multitud de fabricantes de QRNGs que se

utilizan, por ejemplo, en el equipamiento QKD comercial disponible. Sin embargo, es necesario avanzar en la tecnología para mejorar las prestaciones en cuanto a tamaño, coste y prestaciones -por ejemplo, con velocidades de generación de números aleatorios por decenas de los Gb/s. Existe también una carencia en cuanto a los estándares aplicables a los QRNGs.

• SENSÓRICA CUÁNTICA

• **Desarrollar nuevas tecnologías para sensores,** más sensibles a nuevos parámetros. Las energías involucradas en los fenómenos cuánticos a nivel de partícula son ínfimas, por lo que una correcta funcionalización de estos sensores debe conducir necesariamente a un incremento sustancial en la sensibilidad con respecto a las tecnologías clásicas. Hoy en día existe un nutrido conjunto de tecnologías que se están empezando a utilizar para implementar sensores cuánticos, pero aún es necesario investigar en el desarrollo de nuevas familias

de tecnologías. Por ejemplo, en el caso de los defectos en cristales de diamante existen amplios campos por explorar relacionados con la distribución espacial de los centros y la utilización de impurezas diferentes del nitrógeno, que es la más ampliamente utilizada en la actualidad.

• Evolucionar de la base cuántica al chip

La base tecnológica sobre la que se implementa el funcionamiento de detección en los sensores cuánticos, en gases o en estado sólido, presenta actualmente configuraciones artesanales, que los hace difícilmente replicables (con similares características) a un coste competitivo. Es preciso desarrollar los procesos asociados de industrialización y de integración. Un ejemplo significativo sería, para el caso de los sensores basados en Centros de NV, la evolución del cristal de diamante al chip, integrando componentes ópticos, fotodetectores, interfaces a las antenas microondas.

Es necesario avanzar en el desarrollo de dispositivos que permitan explorar la posibilidad de llevar QKD al mundo de las máquinas, para la securización de comunicaciones industriales.



TECNOLOGÍAS DIGITALES

03

TECNOLOGÍAS
DISRUPTIVAS



· **Progresar en el TRL y en la funcionalización de los sensores**

La sensórica cuántica es la tecnología cuántica que se encuentra en un estado más avanzado de madurez, pero incluso los sensores prácticos disponibles deben desarrollarse para habilitar su uso en aplicaciones reales. Por ejemplo, en el caso de los sensores basados en defectos de diamante, los sistemas de lectura de los sensores son sofisticados, y es necesario avanzar en la simplificación y en la miniaturización de las fuentes de microondas y las antenas necesarias, las fuentes de láser y los detectores de fotoluminiscencia.

· **Avanzar en el desarrollo de sensores prácticos,** específicamente orientados a determinadas aplicaciones en las que la ventaja cuántica puede ser un diferencial importante para alcanzar un impacto en el mercado, como son la navegación inercial, los gravitómetros, los relojes atómicos de alta precisión, la diagnosis de determinadas enfermedades y la metrología.

3.2. Espintrónica

3.2.1 Introducción

La espintrónica es un campo de la electrónica en el que el espín de los electrones se utiliza específicamente para el funcionamiento de dispositivos electrónicos, como la lógica electrónica o el almacenamiento de datos. Una de las principales oportunidades de la espintrónica es la memoria de estado del espín en los materiales magnéticos, en la que los estados lógicos o de memoria se mantienen estables sin necesidad de ningún tipo de suministro de energía (memoria no volátil). Esto hace posible un gran ahorro de energía en los dispositivos espintrónicos y, por lo tanto, es un camino viable para mantener las capacidades electrónicas y de computación cada vez mayores sin estar limitado por la catástrofe energética que se avecina en los aumentos insostenibles del consumo de energía de hoy en día. Las proyecciones actuales esperan un aumento masivo de la energía necesaria para el funcionamiento de la infraestructura electrónica, de hasta el 15% en 2050 del consumo total de energía mundial. Por lo tanto, si se pueden lograr avances tecnológicos relevantes, la adaptación de la espintrónica a gran escala tendrá un efecto disruptivo.

3.2.2 Relevancia tecnológica y campos de aplicación

Tecnología de discos duros (HDD)

Los aspectos fundamentales de la espintrónica están asociados con interacciones físicas entre espines o entre espines y corrientes de carga, produciendo nuevos efectos colectivos que luego pueden usarse en dispositivos. El gran descubrimiento fue la observación del efecto de Magnetorresistencia Gigante (GMR) en 1988, que ocurrió de forma independiente por los grupos dirigidos por el Prof. Peter Grünberg y por el Prof. Albert Fert, quienes recibieron conjuntamente el Premio Nobel de Física (2007) por este descubrimiento seminal. La relevancia tecnológica de su descubrimiento se apreció con su rápida aplicación, y, ya en 1997, IBM comenzó a vender discos duros (HDD) comerciales con

sensores de lectura basados en el GMR. Este primer uso de la espintrónica permitió enormes aumentos en la capacidad de datos de los HDD que excedieron la Ley de Moore durante más de una década. También convirtió a los HDD en el producto más relevante en tecnología de almacenamiento de datos, una posición que ha mantenido desde entonces.

A pesar de su enorme éxito comercial, la tecnología espintrónica utilizada en los cabezales de lectura de HDD es una aplicación bastante simple, ya que utiliza solo un cambio en la resistencia eléctrica debido a diferentes configuraciones magnéticas en una multicapa magnética, que son generadas por el patrón del campo magnético de los bits. En estos dispositivos no se utiliza ninguna manipulación real del espín. Por lo tanto, los cabezales de lectura HDD son una aplicación de primera generación, aunque las capacidades de nanofabricación y ciencia de materiales asociados son extremadamente avanzadas. Por lo tanto, la tecnología de cabezales de lectura HDD no será una tecnología disruptiva en espintrónica en el futuro, aunque puede mantener su posición de liderazgo comercial entre las tecnologías de espintrónica durante algunos años más.

Memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM)

Desde principios de la década del 2000, MRAM ha sido una tecnología comercial que combina almacenamiento no volátil con acceso de alta velocidad. El proceso de lectura de estos dispositivos también se basa en la magnetorresistencia de efecto túnel (TMR), un efecto estrechamente relacionado con el GMR y descubierto en 1995. Como en el caso de los cabezales de lectura HDD comerciales, los dispositivos MRAM comerciales también usaron solo los aspectos más simples de la espintrónica hasta 2016, porque el único componente espintrónico era el cambio de resistencia inducido por el estado de espín. La escritura

de datos se realizaba a través de un campo magnético externo inducido por corrientes eléctricas (campos de Oersted). Esto limitó el éxito comercial de la tecnología MRAM, ya que con esta tecnología solo se podían producir chips con una capacidad de datos bastante baja, limitados a aplicaciones muy especiales, como el almacenamiento de algunos datos específicos en aviones comerciales debido a su alta resiliencia a las radiaciones.

Sin embargo, desde 2016 se utilizan dispositivos MRAM con torque de transferencia de espín (STT), en los que el estado de la memoria se manipula directamente mediante una corriente polarizada por espín, es decir, una verdadera manipulación espintrónica. Esto ha permitido un avance en el escalado de la capacidad de almacenamiento y, con estas mejores perspectivas, los grandes fabricantes de productos electrónicos han iniciado o fortalecido sus actividades de investigación y plantas piloto para subirse a la fabricación comercial de dispositivos MRAM. De las tecnologías comerciales que existen en la actualidad, la tecnología MRAM es el campo más probable en el que se desarrollarán nuevas tecnologías disruptivas (como el uso del torque de spin-órbita, SOT) y se encontrarán sus primeras aplicaciones comerciales, aunque su visión competitiva a largo plazo requerirá también nuevos materiales disruptivos y nuevas nanotecnologías. Esto tendrá un gran impacto en las tecnologías del almacenamiento de datos y tiene el potencial de hacer de MRAM no solo un componente clave, si no también el componente principal del almacenamiento masivo de datos en el futuro.

Sensores espintrónicos

Desde el rápido desarrollo y avance de los sensores GMR para la industria de HDD, los sensores basados en GMR se han desarrollado para otros campos de aplicación, como por ejemplo el sensor de ángulo de dirección para aplicaciones automotrices. Con la

visión futura de la conducción autónoma, se puede esperar un mayor uso de sensores espintrónicos en aplicaciones automotrices y otros campos industriales, lo que ampliará la cartera comercial de dispositivos espintrónicos. Además, es probable que las tecnologías espintrónicas más avanzadas también entren en estas aplicaciones de sensores para el control activo de la sensibilidad, la linealidad y otros aspectos de rendimiento de estos sensores. Sin embargo, es poco probable que se desarrollen tecnologías disruptivas importantes en las industrias, y que solo utilicen sensores en funciones de apoyo.

Otras tecnologías de dispositivos

Existen otros enfoques tecnológicos que utilizan la espintrónica, pero su viabilidad a gran escala no está garantizada en la actualidad, aunque podrían ser las tecnologías de espintrónica predominantes en el futuro. Una de esas tecnologías es la espintrónica diseñada para el almacenamiento de datos tridimensionales, que cambiarían por completo las tecnologías de almacenamiento de datos, porque las tecnologías actuales son básicamente bidimensionales y utilizan dispositivos de almacenamiento de superficie. El verdadero almacenamiento de datos tridimensionales utiliza la tercera dimensión, la profundidad de un dispositivo de forma natural, como por ejemplo el concepto de almacenamiento de datos de pista de carreras propuesto en 2008 por IBM y que utiliza espintrónica basada en STT para su funcionamiento. El potencial de estas tecnologías es enorme, pero también requerirán materiales verdaderamente disruptivos y otros avances de (nano)fabricación para convertirse en una tecnología viable.

Además de las nuevas aplicaciones de almacenamiento de datos, existen varias tecnologías de espintrónica para aplicaciones de procesamiento de datos, como transistores de espín u otros dispositivos multiterminales que realizan operaciones de procesamiento, basadas en la interacción de tipo espín-

espín, corriente-espín o voltaje-espín. Estas tecnologías se encuentran en una etapa preliminar, aunque se han demostrado las operaciones y funcionalidades básicas para varios diseños de dispositivos. En muchos casos su eficiencia y escalabilidad no están suficientemente demostradas, pero desde luego tienen un gran potencial, ya que en principio pueden combinar procesamiento y almacenamiento de datos en un único dispositivo espintrónico. Además, su eficiencia energética sería un gran avance, especialmente en dispositivos operados por interacción voltaje-espín, que no dependen del flujo de corriente para sus procesos fundamentales. Un ejemplo de este último caso es la tecnología MESO propuesta recientemente por Intel.

Un enfoque informático demostrado recientemente que utiliza la tecnología de la espintrónica es la computación probabilística, que es similar en su cambio radical de la tecnología informática al enfoque de la computadora cuántica, porque no se basa en el esquema informático clásico de von Neumann. Recientemente, se han demostrado dispositivos probabilísticos de 8 bits (p-bit), basados en la tecnología STT-MRAM, logrando la factorización de enteros. Este enfoque está en su etapa inicial, pero puede tener un potencial verdaderamente disruptivo en términos de capacidades informáticas en línea con los enfoques de la computación cuántica.

3.2.3 Posicionamiento en el País Vasco

Materiales, Procesos y Nanotecnología son tecnologías transversales claves identificadas en el PCTI Euskadi 2030 y, en base a decisiones estratégicas anteriores, el País Vasco está bien posicionado en el campo de la espintrónica

con experiencia, infraestructuras y actividad de I+D muy relevante, aunque actualmente no existe una iniciativa estratégica de espintrónica. Hay una amplia actividad que incluye algunos centros BRTA con una cartera de proyectos sobre todos los temas centrales necesarios para facilitar una transformación disruptiva a través de la espintrónica, incluido el trabajo en nuevos materiales y metamateriales, nuevos conceptos de dispositivos y metodologías asociadas de fabricación. Los proyectos claves en curso incluyen:

• Proyecto EC: QuESTech (2018-2022)

El objetivo general de las actividades científicas y tecnológicas del proyecto QuESTech es construir, estudiar y calificar dispositivos electrónicos cuánticos a través de la investigación en los sub-campos de espintrónica, electrónica y termodinámica cuántica. Los sub-proyectos de investigación incluyen desarrollos tecnológicos como el crecimiento de nanomateriales, nanoestructuración, microscopias, transporte de electrones en condiciones extremas y cálculos teóricos. Varios resultados de QuESTech ya están identificados como avances relevantes para la industria emergente de la electrónica cuántica.

• Proyecto EC: SPEAR (2021-2025)

El objetivo científico y tecnológico general del proyecto SPEAR es estudiar materiales con un fuerte acoplamiento espín-órbita, fenómenos novedosos en estos materiales y construir dispositivos basados en estos fenómenos para la próxima generación de memorias, como la memoria magnética de acceso aleatorio (MRAM), y más allá de la tecnología CMOS, como la lógica basada en espintrónica o la computación neuromórfica. SPEAR incluye investigaciones muy

Materiales, Procesos y Nanotecnología son tecnologías transversales claves identificadas en el PCTI Euskadi 2030 y, en base a decisiones estratégicas anteriores, el País Vasco está bien posicionado en el campo de la espintrónica.

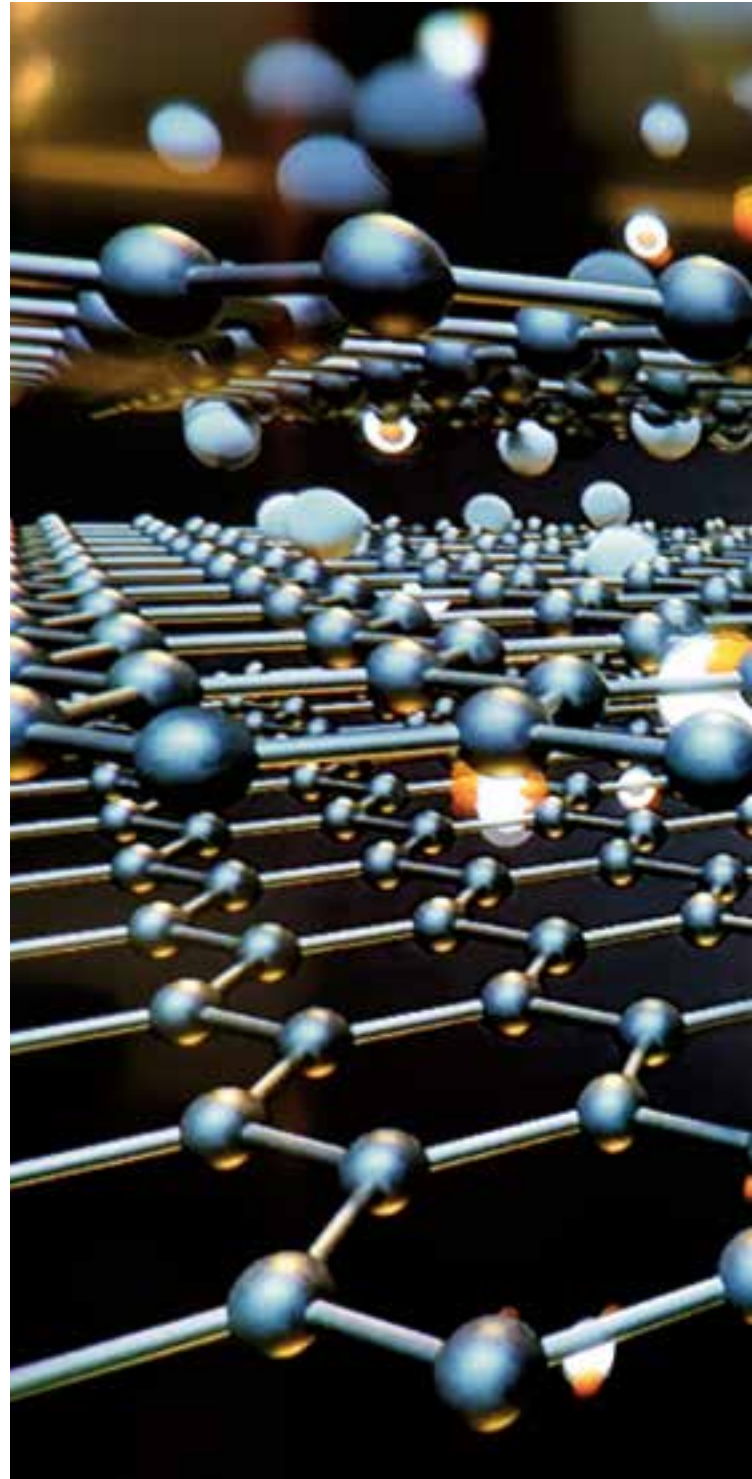


relevantes en la física de la interacción espín-órbita, conversión de espín a carga, materiales magnéticos bidimensionales, nanoosciladores de efecto -Hall de espín, control de voltaje de anisotropía magnética y skyrmiones.

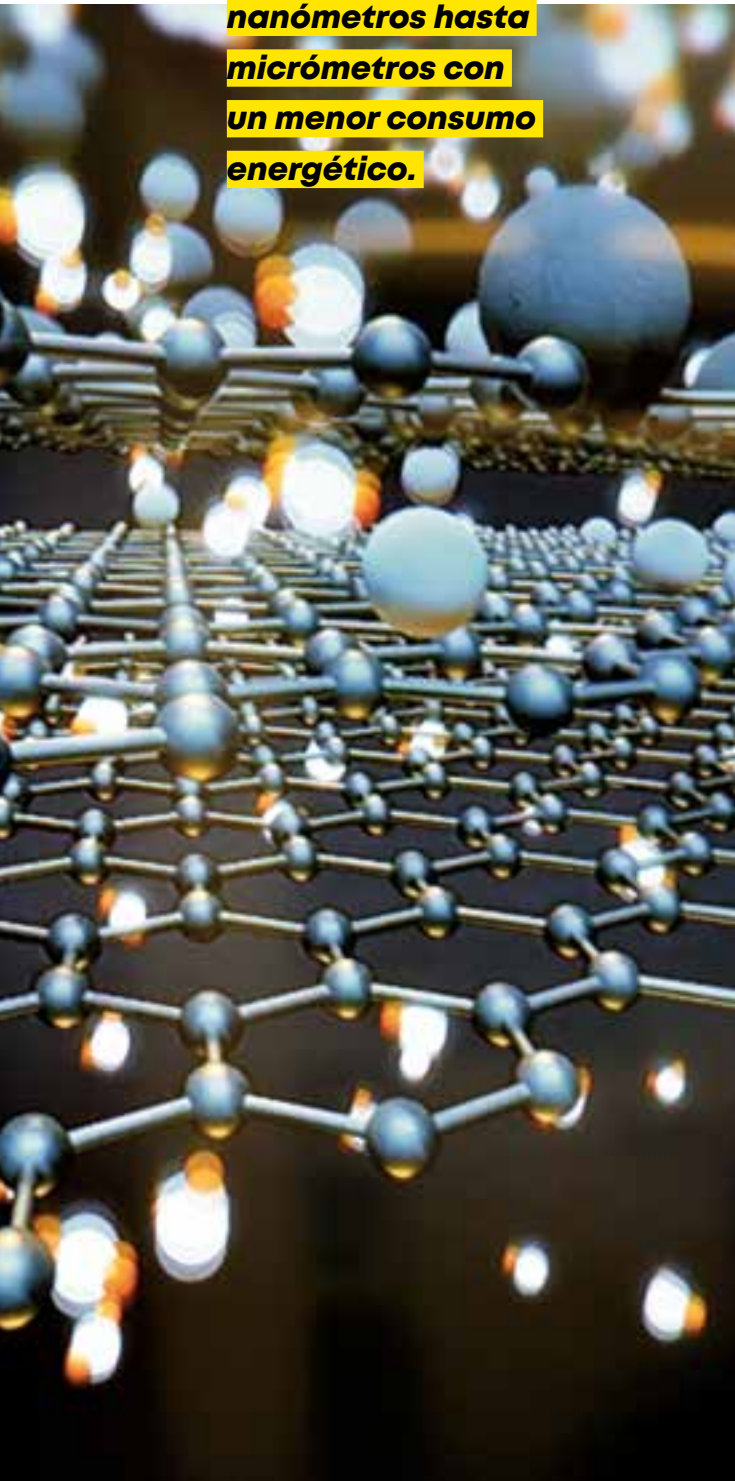
• **Proyecto EC: INTERFAST (2021-2024)**

El proyecto INTERFAST desarrolla una novedosa plataforma tecnológica para el control eléctrico del magnetismo interfacial. La idea central de esta tecnología es manipular los estados electrónicos híbridos en la interfaz entre un material magnético y una capa orgánica, a modo de acoplamiento espín-órbita en dicha interfaz. Esto permitirá el control activo del magnetismo interfacial para una amplia gama de compuestos magnéticos. El plan de INTERFAST es demostrar la aplicabilidad de esta tecnología a una variedad de funciones claves en espintrónica, como la inversión eléctrica de la magnetización a un costo de energía de solo 1 fJ/bit, la reducción drástica de corrientes para realizar efectos espintrónicos y el procesamiento de información ultrarrápido en dispositivos espintrónicos metálicos.

Además de estos proyectos europeos, existen proyectos en curso financiados por el gobierno español, así como proyectos de colaboración directa entre Intel y nanoGUNE sobre tecnología de dispositivos espintrónicos. El objetivo de este trabajo colaborativo con uno de los principales fabricantes de productos electrónicos es la integración y las pruebas de rendimiento de nuevos materiales y metamateriales en dispositivos reales de almacenamiento y procesamiento espintrónico (tecnología MESO) para ayudar en la selección de los candidatos más prometedores para pruebas de integración a escala industrial.



**El grafeno amplía
el campo de la
comunicación
espintrónica entre
dispositivos desde
nanómetros hasta
micrómetros con
un menor consumo
energético.**



3.2.4 Retos tecnológicos / Prioridades de I+D

Para que la espintrónica tenga un impacto verdaderamente disruptivo en la tecnología digital, se necesitan 3 componentes claves: **nuevos materiales**, diseños de **dispositivos avanzados** y **metodologías novedosas de fabricación de materiales y dispositivos**. Se necesitan nuevos materiales o metamateriales para permitir operaciones de diseño novedosas, así como para mejorar masivamente la eficiencia de los conceptos de dispositivos existentes. Los estudios académicos han demostrado que los dispositivos novedosos que constituirían avances verdaderamente disruptivos son posibles y operativos, pero sus propiedades son ahora claramente insuficientes. Por ejemplo, la relación de resistencia en los estados “On/Off” de un transistor de espín es muy insuficiente. Por lo tanto, los esfuerzos más importantes deben realizarse en el campo de los nuevos materiales para la espintrónica.

Para hacer frente a las propiedades físicas de los materiales existentes y los que se desarrollarán en el futuro, se deben encontrar nuevos conceptos de dispositivos para lograr un uso optimizado de las propiedades de dichos materiales. Un ejemplo es la interacción espín-órbita, que define un mecanismo alternativo al STT, el SOT, como un proceso actual de manipulación de espín y para el que recientemente se han propuesto y explorado nuevos conceptos de dispositivos. Finalmente, con los nuevos conceptos de dispositivos y especialmente con los nuevos materiales, surgen nuevos retos de fabricación que tendrán que encontrar soluciones tecnológicas robustas. La gama de avances tecnológicos requeridos es extremadamente amplia, pero dadas las propiedades espintrónicas muy prometedoras de materiales bidimensionales como el grafeno y las heteroestructuras basadas en la combinación de grafeno con otros materiales bidimensionales, la producción confiable de materiales bidimensionales de grado electrónico será de gran importancia para la tecnología espintrónica.

04

SOLUCIONES DIGITALES

82





TECNOLOGÍAS DIGITALES

04

SOLUCIONES DIGITALES



Esta sección analiza las tecnologías cuánticas y la espintrónica, que son dos tecnologías disruptivas que están aún en un estado incipiente de desarrollo pero pueden llegar a provocar verdaderas revoluciones tecnológicas.

- Biociencias: modelos digitales a partir de imágenes de resonancia. Radiología para comprobar el éxito o el fracaso de las modificaciones en un entorno virtual. Ciencias ómicas (proteómica, transcriptómica, metabolómica, etc.)

84

Gemelo digital

Un gemelo digital es un modelo o representación virtual de un objeto, proceso o sistema físico en tiempo real, que se utiliza para analizar y optimizar su rendimiento. Un gemelo digital está compuesto por a) una capa de interacción visual con la realidad que se pretende representar, b) una capa de conectividad hacia la información física registrada y c) módulos de análisis, predicción y simulación que pueden ayudar a comprender o anticipar el comportamiento del sistema real. Los gemelos digitales se han desarrollado para reflejar con exactitud un elemento físico o un sistema y se han convertido en una herramienta cada vez más importante en la industria y se están utilizando en distintos sectores, como la fabricación, la energía, la salud y el transporte.

En el contexto de BRTA podemos encontrar actividades de Gemelo Digital orientadas a:

- Modelos digitales de fábricas, instalaciones energéticas, producción de alimentos y sistemas de salud para mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos y productos, así como la reducción de residuos.
- Robótica (fabricación de piezas y componentes).

Robótica

Las soluciones robóticas se apoyan e integran muchas de las tecnologías digitales de los diferentes pilares. En particular la **sensorización** y la **IA embebida** contribuyen a las funciones cognitivas, tales como la percepción y la toma de decisiones, que son los ingredientes esenciales de la autonomía en este tipo de soluciones. En cualquier caso, estas tecnologías deben **adaptarse** y **encapsularse** para tener en cuenta los **requisitos funcionales y operativos particulares** de las aplicaciones robóticas, entre otros los **altos niveles de confiabilidad** demandados en estos casos.

Hay paradigmas relacionados con el aprendizaje que solo se pueden estudiar, comprender y aplicar en robótica. El **aprendizaje por demostración**, por ejemplo, es un paradigma valioso para el entrenamiento y programación de robots, ya que reduce la complejidad de programar los robots, reduciendo los conocimientos de programación necesarios para su uso, al tiempo que aprovechan la experiencia del usuario en la resolución de tareas específicas. Esto no quita que haya otro tipo de problemas que pueden ser más generalizables, como son los casos de



Un gemelo digital es un modelo o representación virtual de un objeto, proceso o sistema físico en tiempo real, que se utiliza para analizar y optimizar su rendimiento.

la **navegación autónoma**, la **manipulación** y la **inspección**. En general, los robots aprenden de su experiencia particular, pero en muchos casos el aprendizaje es transferible de un contexto de aplicación a otros. Sin embargo, habitualmente, el número de casos disponibles es limitado. Por lo tanto, se requieren mecanismos de aprendizaje altamente eficientes que puedan aprender rápidamente a partir de conjuntos de datos muy pequeños. Hay que indicar también que los

algoritmos basados en el aprendizaje pueden tener limitaciones en aplicaciones críticas para la seguridad, donde la certificación es un requisito necesario para su despliegue.

Por último, apuntar que los robots actúan en muchos casos como **generadores de datos** en aquellas aplicaciones en las que se encargan de realizar, por ejemplo, inspecciones. En estos casos su función se integra con las tecnologías asociadas al pilar de plataformas digitales.



CPS & Redes IoT

Los sistemas ciberfísicos (CPS, Cyber-Physical-Systems), ya introducidos en el Apartado 2.1.2, se pueden definir como sistemas automatizados que permiten conectar operaciones que suceden en el mundo real con diferentes infraestructuras de computación y comunicación. Normalmente los CPS están formados por unidades de control o microcontroladores que manejan sensores y actuadores capaces de interactuar con el mundo físico, y que a su vez son capaces de procesar los datos obtenidos.

Por otro lado, mientras que los sistemas embebidos tradicionales se diseñan como dispositivos autónomos, los CPS funcionan de forma interconectada; es decir, los CPS requieren de una interfaz de comunicación para intercambiar datos con otros sistemas embebidos o con la nube. Este intercambio de datos o conectividad es la característica principal de un CPS, y por tanto un CPS conectado a la red es lo que da lugar al concepto Internet of Things (IoT).

Por todo lo anterior se puede concluir que los CPS y Redes IoT se basan principalmente en el pilar tecnológico de conectividad para la extracción de los datos y en el pilar de plataformas digitales para su gestión y procesamiento, aunque requieren también de un soporte fuerte del pilar de electrónica y hardware embebido, y del pilar de ciberseguridad por la sensibilidad de los datos que manejan. En un tercer nivel, los CPS y las redes IoT requieren también soporte de los pilares de IA y analítica de datos y de la ingeniería del software.

En cuanto a los campos de aplicación, los CPS junto con las redes IoT y las Smart Factories son la base de lo que se conoce actualmente como la Industria 4.0 o cuarta revolución industrial. Existen también otros campos de aplicación de los CPS además de los puramente industriales, como son las aplicaciones médicas, los sistemas de conducción autónoma, o el control de plantas de generación de energía.

Monitorización, diagnóstico y predicción

Las soluciones digitales para monitorización, diagnóstico y predicción aprovechan la tecnología digital, como el análisis de datos y algoritmos de aprendizaje automático, para recopilar información en tiempo real, diagnosticar problemas y predecir posibles eventos futuros. Por tanto, el pilar de Inteligencia Artificial y Analítica de datos será el pilar fundamental de esta solución.

La monitorización implica la captura de datos de sensores y su transmisión a través de redes de comunicación a sistemas análisis de forma cibersegura. Por ello, pilares como el de Electrónica y Sistemas embebidos, el de Conectividad y el de Ciberseguridad resultan de gran relevancia.

Además, la monitorización digital implica el seguimiento continuo de parámetros o variables específicas para recopilar datos en tiempo real, lo que permite supervisar y controlar de forma remota el rendimiento de equipos, sistemas o procesos. Mientras que el diagnóstico digital implica el análisis de datos recopilados para identificar problemas o anomalías. Los algoritmos de aprendizaje automático y la Inteligencia Artificial se utilizan para procesar grandes cantidades de datos, detectar patrones o desviaciones significativas, y realizar predicciones de eventos futuros. Estos resultados interactúan con personas u otros sistemas por lo que el pilar de Plataformas Digitales y el de Tecnologías de Interacción conforman dos pilares fundamentales, con cada vez mayor importancia en la solución.

En el contexto de BRTA podemos encontrar actividades de monitorización, diagnóstico y predicción en los ámbitos de fabricación avanzada, movilidad sostenible, transición energética, y salud personalizada. Por tanto, esta gran variedad de aplicaciones que tiene la monitorización, diagnóstico y predicción le permite poder estar **presente en el rango completo de actividades que se realizan a la hora de crear un producto o un servicio.**

Las soluciones digitales para monitorización, diagnóstico y predicción aprovechan la tecnología digital, como el análisis de datos y algoritmos de aprendizaje automático, para recopilar información en tiempo real, diagnosticar problemas y predecir posibles eventos futuros.

Pilar tecnológico/Solución Digital	Gemelo Digital	Robótica	CPS & Redes IoT	Monitorización, diagnóstico y predicción
Electronics/Hardware y sistemas embebido		•••	••	•
Conectividad	•	•	•••	•
Ciberseguridad	•	•	••	•
IA y ciencia de datos	•	•	•	•••
Ingeniería del software	•	•	•	•
Plataformas digitales	••		•••	•
Tecnologías de interacción	•••	•		••
Campos de Aplicación	Industria, salud, energía, alimentación, movilidad, ...			

OS

CAPACIDADES DE BRTA

88





TECNOLOGÍAS DIGITALES

05

CAPACIDADES
DE BRTA



Infraestructuras singulares

90

IKERLAN cuenta con el laboratorio de tecnologías digitales DIGILAB, cuya función principal es la transferencia tecnológica a la industria en materia de digitalización. Se trata de un espacio de 2000 m², que integra en un mismo emplazamiento infraestructura de última generación para la investigación en diferentes tecnologías de vanguardia como la robótica colaborativa, ciberseguridad, safety y confiabilidad, comunicaciones 5G, Inteligencia Artificial y computación cuántica. DIGILAB es también el primer laboratorio de ciberseguridad industrial del Estado acreditado por ENAC conforme a la norma UNE17025. En él se pueden efectuar ensayos de evaluación de conformidad de producto electrónico conforme a la nueva norma IEC 62443. IKERLAN también dispone de un laboratorio de IA avanzado equipado con varios clusters heterogéneos de computación (CPUs y GPUs) de muy alto rendimiento que permiten tanto el entrenamiento e inferencia distribuida de modelos de Inteligencia Artificial como la ejecución de cargas de computación convencional.

CEIT dispone de una Sala Blanca compuesta de varias estancias donde se fabrican dispositivos empleando para ello microtecnologías. Entre las mismas se cuentan una sala de clase 100





dedicada principalmente a la definición de geometrías en resinas fotosensibles, dos sala de clase 1000 en las que se llevan a cabo los procesos de depósito y ataque de películas delgadas y una sala de clase 10000 para el postprocesado y la caracterización de las muestras. Para llevar a cabo estos procesos, CEIT dispone de equipamiento e infraestructura de última generación entre las que se incluyen técnicas de litografía ultravioleta, depósito de película delgada tanto desde fase física como desde fase química (gas), ataque selectivo de materiales mediante técnicas húmedas como secas, estampación de polímeros en caliente (*hot embossing*), pegado anódico de obleas de silicio y vidrio, pegado de materiales poliméricos mediante plasma de oxígeno, tratamientos térmicos en atmósfera controlada, procesos de difusión y oxidación de obleas de silicio, técnicas de caracterización morfológica por perfilometría, corte de sustratos con precisión micrométrica y estación de microsoldadura.

CIC nanoGUNE tiene una infraestructura puntera y única que incluye laboratorios ultrasensibles y una sala blanca (clase 100 - 10.000) de unos 300 m² para micro y nanofabricación, equipada con dos sistemas de litografía por haz de electrones. El edificio presenta un entorno único,



libre de interferencias electromagnéticas y con un nivel ultra bajo de vibraciones. En los laboratorios de CIC nanoGUNE utilizamos técnicas ultra-precisas, como microscopios de efecto túnel a temperaturas ultrabajas y magnetómetros únicos, instalaciones de crecimiento de películas o capas finas, así como un laboratorio de microscopía electrónica que incluye un TEM con corrección Cs y múltiples sistemas FIB que pueden operar a temperaturas criogénicas.

VICOMTECH cuenta con infraestructuras de investigación en diferentes aspectos relacionados con las tecnologías digitales. Para ello cuenta con diferentes laboratorios. El laboratorio de medicina cuenta con equipamiento para captura, procesamiento, análisis y visualización de aspectos biomédicos. El laboratorio de conducción autónoma y transporte inteligente cuenta con infraestructuras para captura masiva y anotación de datos. La división de industria cuenta con infraestructuras para la digitalización (cámaras industriales, lineales, polarimétricas, térmicas etc.), integración de comunicaciones (protocolos industriales, TSN, 5G, etc.), gestión de datos y aplicación de tecnologías de Inteligencia Artificial entre los que destacan equipos para robótica industrial. El laboratorio de *media* cuenta con recursos de realidad extendida (sistemas de captura volumétrica, chroma), difusión multidispositivo y stacks para broadcast y transmisiones 5G. Por último, VICOMTECH cuenta con un HPC para almacenamiento masivo y computación de alto rendimiento que le permite abordar proyectos de Inteligencia Artificial que incluyan cantidades masivas de datos y/o entrenamientos intensos en cuanto a carga computacional.

IDEKO cuenta con un espacio de 2000m² dirigido al desarrollo de tecnologías digitales y soluciones de fabricación de elevada precisión, Digital Grinding Innovation Hub (DGIH), el nuevo nodo de Euskadi para la investigación y el desarrollo de soluciones innovadoras en digitalización aplicada a la fabricación avanzada. Asimismo, se dispone un taller de prototipos con un espacio de más de 500m²





con células robotizadas para la investigación de la aplicación de la robótica en la fabricación colaborativa e inteligente. Finalmente, IDEKO con una plataforma cloud para el almacenamiento masivo de datos y la computación de algoritmos de Inteligencia Artificial aplicado a la fabricación avanzada, cómo el mantenimiento predictivo, la optimización de los procesos o la calidad predictiva.

CIC energiGUNE cuenta con una innovadora plataforma de aceleración de materiales experimental que integra módulos de alto rendimiento para la síntesis de compuestos inorgánicos electroactivos para baterías, así como su caracterización estructural y electroquímica. Esta plataforma pretende convertirse en un laboratorio autónomo, capaz de actualizarse constantemente en función de las necesidades, y ya ha permitido explorar con éxito nuevas familias de materiales de electrodos en colaboración con varios socios industriales europeos. La plataforma se encuentra actualmente en desarrollo e incluye módulos de síntesis de alto rendimiento automatizados, programas de análisis de datos capaces de manejar grandes cantidades de datos, así como planificadores experimentales asistidos por IA.

CIC biomGUNE dispone de infraestructuras punteras en investigación y desarrollo centradas en la imagenología biomédica y biotecnologías disruptivas. Contamos con varias instalaciones de laboratorio altamente equipadas que ofrecen desde ciclotrón para investigación y aplicación clínica hasta avanzados sistemas de PET, CT, SPECT y MRI, incluyendo tecnologías únicas en España para imágenes multinucleares y procedimientos avanzados como la adquisición acelerada de MRI. Nuestras capacidades en ciencia de datos y computación de alto rendimiento nos permiten manejar y analizar grandes volúmenes de datos biomédicos, aplicando inteligencia artificial para identificar patrones de enfermedad y tratamiento. Estamos comprometidos con la innovación y la colaboración constante con instituciones de investigación, empresas y hospitales, siempre con el objetivo de avanzar en la medicina y tecnología para mejorar la salud y calidad de vida a nivel global.



CAPACIDADES DE LOS AGENTES DE BRTA

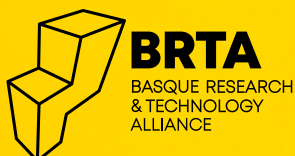
DISTRIBUIDAS POR RETOS TECNOLÓGICOS

	AZTERLAN	CEIT	GAIKER	IDEKO	IKERLAN	LORTEK
Reto 1: Electrónica y sistemas embebidos		●	●	●	●	●
Reto 2: IA y ciencia de datos	●	●		●	●	●
Reto 3: Conectividad		●		●	●	●
Reto 4: Plataformas digitales	●	●	●	●	●	●
Reto 5: Tecnologías de interacción		●	●		●	
Reto 6: Ciberseguridad		●			●	
Reto 7: Ingeniería de software	●	●		●	●	●

	TECNALIA	TEKNIKER	VICOMTECH	CIC bioGUNE	CIC biomaGUNE	CIC energIGUNE	CIC nanoGUNE
	●	●	●				●
	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●				●
	●	●	●			●	
	●	●	●				
	●		●				
	●	●	●				



Miembros de la alianza



Kurutx Gain Industrialdea, 10
20850 Mendaro, Gipuzkoa
T.: +34 943 05 33 25
info@brta.eus

www.brta.eus