SALAMANCA, Revista de Estudios, 68, 2024, pp. 105-119
ISSN: 0212-7105

TECNOLOGÍA PARA UN CAMBIO DE PARADIGMA GLOBAL: EL IMPACTO Y LA PROYECCIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA EN LA TRANSFORMACIÓN DEL ENTORNO

Technology for a Global Paradigm Shift: The Impact and Projection of the University of Salamanca on Environmental Transformation

Juan Manuel Corchado
Javier Parra
Universidad de Salamanca

RESUMEN: La evolución tecnológica, impulsada desde 1971, con el lanzamiento del microprocesador, ha acelerado los cambios que vivimos en nuestra era. Actualmente, la revolución de la inteligencia artificial (IA) posibilita la creación de sistemas de generación de conocimiento avanzados, promoviendo sistemas informáticos autónomos para crear, asistir a la toma de decisiones, predecir y modelar. Esta revolución, apoyada por tecnologías emergentes como la Computación Cuántica promete transformar la economía y nuestra sociedad. Es objeto del presente artículo analizar como la IA Generativa y la Computación Cuántica junto con otros ámbitos de conocimiento impulsan la ciencia, la innovación y la transferencia de conocimiento en el ecosistema creado alrededor de la Universidad de Salamanca.

PALABRAS CLAVE: Inteligencia Artificial (IA); IA Generativa; Computación Cuántica; Transformación; Nuevas tecnologías.

ABSTRACT: The technological evolution, driven since 1971 with the launch of the microprocessor, has accelerated the changes we are experiencing in our era. Currently, the revolution of artificial intelligence (AI) enables the creation of advanced knowledge generation systems, promoting autonomous computer systems for creating, assisting in decision-making, predicting, and modeling. This revolution, supported by emerging technologies such as Quantum Computing, promises to transform the economy and our society. The purpose of this article is to analyze how Generative AI and Quantum Computing, along with other areas of knowledge,

drive science, innovation, and knowledge transfer within the ecosystem created around the University of Salamanca.

KEY WORDS: Artificial Intelligence (AI); Generative AI; Quantum Computing; Transformation; New Technologies.

1. INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica es una fuerza constante en nuestros días. El inicio de la tercera revolución industrial en 1971, marcada por la llegada del microprocesador, ha acelerado el ritmo al que la sociedad evoluciona año tras año. Actualmente, nos encontramos en medio de la revolución de la inteligencia artificial, que ha permitido la creación de sistemas de generación de conocimiento como nunca habíamos visto. Estos sistemas, a su vez, allanarán el camino para sistemas informáticos autónomos capaces de crear, respaldar la toma de decisiones, predecir y modelar. Esta revolución se está produciendo en un momento en el que disponemos de tecnologías complementarias que no solo impulsarán su avance, sino que también facilitarán su asimilación en toda la economía y la sociedad. Estas ciencias aplicadas incluyen la Computación Cuántica, el Big Data, los Data Lakes, las plataformas específicas de IA, el Blockchain, el Aprendizaje Federado, los Gemelos Digitales, la IA Confiable, el Edge Computing y los Sandboxes de IA.

A este punto es importante disponer el concepto de economía digital puesto que, a través de ella, se comprenderá la importancia de la transformación global de los mercados y las prácticas empresariales a través del uso de tecnologías. La conectividad mundial, sin precedentes, con internet y las tecnologías móviles a la cabeza, ha permitido que las empresas y los consumidores se conecten y colaboren a escala mundial. Esto ha dado y está dando lugar a mercados más eficientes, donde la información y los recursos pueden compartirse y utilizarse de manera más efectiva. A lo anterior se le unen las nuevas oportunidades para que las empresas desarrollen productos y servicios innovadores; además de que la propia digitalización ha reducido significativamente los costes de entrada para los emprendedores, permitiendo que más personas conviertan sus ideas en negocios viables. El valioso rol de la tecnología ha transformado también un papel vital de la economía digital como son el empleo y las habilidades laborales.

Entornos favorecedores del surgimiento de tecnologías disruptivas son también favorecedores de mejoras en eficiencia y productividad. De manera concreta, entornos como el adyacente a la Universidad de Salamanca participan en un avance claro de la inteligencia artificial optimizando los procesos empresariales, reduciendo costes y mejorando la calidad de los productos y servicios.

De estas tecnologías nos centramos, de manera concreta, en dos, la IA Generativa por ser una realidad y la Computación Cuántica, por su nivel de disrupción y cambio que implica. Después analizaremos el resto de las tecnologías complementarias

anteriormente mencionadas y finalmente explicaremos cómo estas tecnologías transversales pueden impulsar todo tipo de ciencia en un ecosistema innovador y científico como es el de la Universidad de Salamanca.

1.1. Inteligencia Artificial Generativa. Una realidad

La IA Generativa representa un avance significativo en el campo de la tecnología. Esta forma de IA es capaz, entre otras cosas, de crear contenido nuevo y original, como textos, imágenes, música y más, a partir de patrones aprendidos a través de grandes volúmenes de datos[1]. Lo que distingue a la IA Generativa es su capacidad para generar resultados que antes eran exclusivos de la creatividad humana.

El desarrollo de la IA Generativa comenzó con algoritmos básicos capaces de imitar estilos o patrones simples. Sin embargo, con la evolución de las técnicas de aprendizaje profundo y el aumento en la capacidad de procesamiento, estas herramientas se han vuelto más sofisticadas. Ahora pueden producir obras que, en muchos casos, son indistinguibles de las creadas por humanos.

Uno de los ejemplos más conocidos de IA Generativa son las Redes Generativas Antagónicas (GANs), que utilizan dos redes neuronales en competencia para mejorar la calidad de las salidas[2]. Una red genera contenido, mientras la otra evalúa su autenticidad. Este proceso iterativo lleva a la creación de resultados altamente realistas.

La importancia de la IA Generativa va más allá de su capacidad para crear arte. Tiene aplicaciones prácticas en múltiples sectores. En el campo de la medicina, puede ayudar a generar modelos tridimensionales de órganos para planificar cirugías[3]. En el sector automotriz, se utiliza para diseñar nuevos modelos de vehículos. En la ciencia de datos, puede generar conjuntos de datos sintéticos para entrenar otros modelos de IA sin comprometer la privacidad de datos reales[4].

A medida que esta tecnología avanza, surgen debates éticos y legales, especialmente en cuanto a la autoría y los derechos de propiedad intelectual[5]. Sin embargo,

1. BRYNJOLFSSON, E., LI, D., & RAYMOND, L. R. (2023). «Generative AI at work (No. w31161)». *National Bureau of Economic Research*.

2. AGRAWAL, A. K., GANS, J. S., & GOLDFARB, A. (2023). «The Turing Transformation: Artificial intelligence, intelligence augmentation, and skill premiums (No. w31767)». *National Bureau of Economic Research*.

3. WANG, D. D., QIAN, Z., VUKICEVIC, M., ENGELHARDT, S., KHERADVAR, A., ZHANG, C., … & VANNAN, M. A. (2021). «3D printing, computational modeling, and artificial intelligence for structural heart disease». *Cardiovascular Imaging*, 14(1), 41-60.

4. EL EMAM, K., MOSQUERA, L., & HOPTROFF, R. (2020). «Practical synthetic data generation: balancing privacy and the broad availability of data». *O'Reilly Media*.

5. FRANGANILLO, J. (2023). «La inteligencia artificial generativa y su impacto en la creación de contenidos mediáticos». *Methaodos. revista de ciencias sociales*, 11(2), 15.

su potencial para impulsar la innovación en diversos campos es indudable, marcando un hito en la forma en que entendemos y utilizamos la inteligencia artificial.

1.2. Computación Cuántica. El cambio por llegar

La Computación Cuántica representa uno de los avances tecnológicos más fascinantes y prometedores de nuestro tiempo. A diferencia de la computación clásica, que se basa en bits que pueden estar en un estado de 0 o 1, la computación cuántica utiliza qubits. Estos qubits pueden existir simultáneamente en múltiples estados gracias al principio de superposición, una característica fundamental de la mecánica cuántica.

Este salto conceptual permite que los ordenadores cuánticos procesen enormes cantidades de información a una velocidad y con una eficiencia inalcanzables para los ordenadores tradicionales. Por ejemplo, mientras un ordenador clásico realizaría cálculos secuencialmente, un ordenador cuántico puede realizar muchos cálculos en paralelo, lo que acelera significativamente la resolución de problemas complejos[6]. Desde sus inicios en la teoría durante el siglo xx, la computación cuántica ha progresado considerablemente. Los primeros prototipos y experimentos en el siglo xxi demostraron la viabilidad de los cálculos cuánticos, aunque a una escala muy pequeña. Hoy en día, empresas y laboratorios de investigación están desarrollando y probando ordenadores cuánticos algo más potentes, con un número creciente de qubits y mejor estabilidad.

Las aplicaciones potenciales de la computación cuántica son vastas y revolucionarias. En la criptografía, por ejemplo, podría romper muchos de los sistemas de cifrado actuales, pero también ofrece métodos de cifrado mucho más seguros. En la investigación farmacéutica, podría acelerar enormemente el descubrimiento de nuevos medicamentos al simular con precisión las interacciones moleculares. En el campo de la inteligencia artificial, podría llevar a algoritmos de aprendizaje automático mucho más avanzados.

Sin embargo, la computación cuántica también plantea desafíos significativos. Los qubits son extremadamente sensibles a las perturbaciones del entorno, lo que requiere condiciones de operación muy controladas y sistemas de corrección de errores sofisticados. Además, aún queda mucho por hacer en términos de escalabilidad y fiabilidad de estos sistemas.

La computación cuántica no solo supone un avance gradual respecto a la computación clásica, sino una transformación completa en la forma en que procesamos la información. Aunque aún está en desarrollo, su potencial para cambiar la tecnología y la ciencia es enorme, abriendo un mundo de posibilidades que

6. TACCHINO, F., CHIESA, A., CARRETTA, S., & GERACE, D. (2020). «Quantum computers as universal quantum simulators: state-of-the-art and perspectives». *Advanced Quantum Technologies*, 3(3), 1900052.

apenas estamos empezando a explorar. Desde acelerar la resolución de problemas complejos hasta revolucionar campos como la criptografía y la investigación farmacéutica, o la capacidad para simular crisis financieras, mejorar las predicciones meteorológicas o incluso prever catástrofes naturales son algunas de las muchas aplicaciones que esta nueva era tecnológica promete traer.

2. TECNOLOGÍAS PARA UN CAMBIO DE PARADIGMA EN NUESTRO SIGLO

Más allá de la importancia que resaltamos en la introducción acerca de la revolución que representan la IA Generativa y el surgimiento de la Computación Cuántica, es esencial tener en cuenta que la resolución de problemas mediante la Inteligencia Artificial requiere la participación de expertos humanos con conocimientos específicos en las áreas pertinentes. Esto implica disponer de fuentes de datos confiables, sistemas de almacenamiento eficientes, plataformas especializadas que faciliten el acceso a algoritmos y datos relevantes, modelos explicativos de los resultados obtenidos, mecanismos de seguimiento, garantías de la confiabilidad de los resultados y la protección de los datos, así como estrategias de simulación y arquitecturas distribuidas para la toma de decisiones, además de una regulación adecuada, entre otros aspectos.

Para abordar estos desafíos, ya existen soluciones que respaldan y potencian a la IA como un elemento disruptivo en la transformación digital en curso. Esto nos lleva a presenciar el surgimiento de una nueva generación de sistemas con inteligencia global, sin precedentes hasta ahora. Entre las herramientas y conceptos que impulsan esta transformación digital, destacamos:

- Big Data
- Lagos de Datos
- Plataformas Específicas de IA
- Blockchain
- Aprendizaje Federado
- Gemelo Digital
- IA Fiable
- Edge Computing
- Sandbox de IA

Además de estas tecnologías clave, existen otros elementos y conceptos que desempeñan un papel fundamental en la profunda transformación que experimentamos en el siglo XXI. Estos factores continúan exigiendo nuestra atención constante, ya que desempeñan un papel vital en el panorama tecnológico actual. Entre ellos, destacan la computación en la nube, la robótica avanzada, la impresión 3D, la ciberseguridad avanzada y la realidad aumentada, por comentar algunos.

Estas tecnologías y conceptos mencionados anteriormente forman solo una parte de un vasto conjunto de herramientas que impulsan el cambio y la transformación

en la era actual. Su aplicación y evolución constante prometen seguir redefiniendo la manera en que nos relacionamos con la tecnología y cómo esta influye en nuestra sociedad y economía. En este contexto, el ecosistema de Salamanca, con la Universidad de Salamanca a la vanguardia, podría desempeñar un papel central, incluso liderar el proceso de cambio con una visión innovadora y multidisciplinaria. Sus grupos de investigación multidisciplinares, su nivel de transferencia, la cantidad de centros tecnológicos y su especialización en ámbitos como la lengua, la Biociencia, los láseres, el sector primario, etc. son el mejor caldo de cultivo para impulsar este liderazgo. A continuación, procederemos a caracterizar y describir en detalle cada una de las herramientas y conceptos que están impulsando la transformación digital en la actualidad.

2.1. Big Data

El término «Big Data» se refiere a conjuntos de datos de enormes dimensiones que resultan demasiado complejos y masivos para ser procesados de manera eficiente mediante las herramientas y métodos tradicionales de procesamiento de información[7]. Estas vastas cantidades de información pueden provenir de una amplia gama de fuentes, que incluyen sensores, redes sociales, transacciones financieras, registros médicos y muchas otras. El concepto de Big Data se caracteriza por tres factores principales conocidos como las «tres V»: volumen, velocidad y variedad. El volumen se refiere a la inmensa cantidad de datos generados, la velocidad hace referencia a la rapidez con la que se generan estos datos y la variedad engloba la diversidad de tipos de datos utilizados.

La capacidad de procesar y analizar estos extensos conjuntos de información se ha vuelto cada vez más crítica en una variedad de campos, desde la investigación científica y la medicina hasta la industria manufacturera. El análisis de Big Data proporciona información y conocimientos que antes eran prácticamente inalcanzables, y se ha vuelto esencial para la toma de decisiones rápidas y precisas en diversas industrias, incluyendo el comercio electrónico, la gestión de servicios públicos y la seguridad. Para gestionar y sacar provecho del Big Data, se emplean herramientas y tecnologías específicas, como sistemas de almacenamiento y procesamiento distribuidos, software de análisis y visualización de datos, así como algoritmos de aprendizaje automático, entre otros recursos.

Además, el Big Data se integra con frecuencia con otras tecnologías emergentes, como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las cosas (IoT) y la analítica avanzada, para obtener un mayor valor y perspicacia de los datos. Esto puede incluir el uso de algoritmos de IA para el análisis predictivo y la automatización de

7. KITCHIN, R., & MCARDLE, G. (2016). «What makes Big Data, Big Data? Exploring the ontological characteristics of 26 datasets». *Big Data & Society*, 3(1), 2053951716631130.

procesos basada en datos, lo que permite un nivel superior de eficiencia y toma de decisiones fundamentadas en información precisa.

2.2. Lagos de Datos

Dentro del vasto campo del Big Data, es fundamental comprender los conceptos de «data lakes» y «data spaces», cada uno con sus propios matices distintivos. Comencemos con el concepto de un data lake, el cual constituye un pilar fundamental en la gestión de datos a gran escala. Un data lake es un extenso repositorio distribuido de datos crudos, sin estructurar y sin procesar, que abarca una amplia variedad de información, que va desde transacciones financieras hasta publicaciones en redes sociales. En un data lake, los datos se almacenan tal como se generan, sin someterlos a un preprocesamiento, lo que facilita su análisis y tratamiento posterior mediante herramientas de Big Data.

Por otro lado, tenemos el concepto de un data space, que representa una plataforma colaborativa de Big Data diseñada para proporcionar un entorno virtual para el almacenamiento, procesamiento y compartición de datos, ya sean estructurados o no estructurados. A diferencia de un data lake, un data space va más allá al integrar herramientas de visualización y análisis de datos, así como funciones de colaboración y gestión de proyectos. Esta integración permite un trabajo en equipo más efectivo en el procesamiento y análisis de datos[8]. En ambos contextos, la gestión de la calidad de los datos se convierte en un aspecto crucial. Esto implica llevar a cabo procesos de limpieza, transformación y enriquecimiento de los datos para garantizar su precisión y relevancia en el análisis. Además, la seguridad y la privacidad de los datos se erigen como preocupaciones críticas, lo que lleva a la implementación de avanzadas medidas de ciberseguridad para proteger los datos sensibles y cumplir con regulaciones, como el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD).

La escalabilidad y el rendimiento son aspectos esenciales a tener en cuenta en ambos entornos. Esto significa que la capacidad de gestionar grandes volúmenes de datos y de soportar cargas de trabajo intensivas se convierte en una prioridad, ya que el procesamiento eficiente de grandes cantidades de información es fundamental para aprovechar al máximo los beneficios del Big Data en diversas industrias.

2.3. Plataformas de IA

Existen numerosas plataformas importantes para construir sistemas de Inteligencia Artificial (IA), cada una con sus propias fortalezas y debilidades. Algunas de las plataformas más importantes son:

8. ANJOMSHOAA, A., ELVIRA, S. C., WOLFF, C., PÉREZ BAÚN, J. C., KARVOUNIS, M., MELLIA, M., … & CURRY, E. (2022). «Data Platforms for Data Spaces». In *Data Spaces: Design, Deployment and Future Directions* (pp. 43-64). Cham: Springer International Publishing.

- *TensorFlow* es una plataforma de código abierto desarrollada por Google que se utiliza ampliamente para la construcción de sistemas de IA. Es altamente escalable y se puede utilizar para la creación de redes neuronales, modelos de aprendizaje profundo, y otras aplicaciones de IA.
- *PyTorch* es otra plataforma de código abierto para el desarrollo de sistemas de IA. Se utiliza para la creación de modelos de aprendizaje profundo, redes neuronales, y otras aplicaciones de IA. *PyTorch* es conocida por ser fácil de aprender y utilizar, lo que la hace popular entre los desarrolladores de IA.
- *Keras* es una plataforma de IA de alto nivel que se utiliza para la construcción de redes neuronales. Es fácil de utilizar y está diseñada para ser modular, lo que significa que los desarrolladores pueden utilizar las piezas que necesitan para construir sus propios sistemas de IA.
- *Microsoft Azure* es una plataforma de nube que proporciona una amplia gama de herramientas y servicios para el desarrollo de sistemas de IA. Incluye herramientas para el procesamiento de lenguaje natural, la visión por computadora, el aprendizaje automático, y más.
- *IBM Watson* es una plataforma de IA desarrollada por IBM que proporciona una amplia gama de herramientas y servicios para el desarrollo de sistemas de IA. Incluye herramientas para el procesamiento de lenguaje natural, la visión por computadora, el aprendizaje automático, y más.
- *Deepint.net* es una plataforma que utiliza tecnologías avanzadas de procesamiento de lenguaje natural y de aprendizaje automático para analizar y extraer información valiosa de grandes conjuntos de datos no estructurados. Esto permite a los usuarios comprender mejor las tendencias, patrones y sentimientos en el contenido de los medios sociales, noticias y otras fuentes de información en línea, sin necesidad de programación. Es importante destacar que se trata de una herramienta realizada en Salamanca.

Además, estas plataformas están diseñadas para integrarse con otras tecnologías, como la computación en la nube, el análisis de *big data* y la automatización de procesos, lo que les permite ofrecer soluciones más completas y potentes para abordar diversos desafíos en el ámbito de la Inteligencia Artificial.

2.4. Blockchain

El blockchain, también conocido como cadena de bloques, representa una innovadora tecnología de registro distribuido que ha revolucionado la forma en que se registran las transacciones y se garantiza la integridad de los datos. Esta disruptiva descentralización ha eliminado la necesidad de intermediarios de confianza al proporcionar una plataforma segura y compartida[9]. En su esencia, el blockchain se

9. KALIS, R., & BELLOUM, A. (2018, December). «Validating data integrity with blockchain». In *2018 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science* (CloudCom) (pp. 272-277). IEEE

compone de una secuencia de bloques, donde cada bloque almacena un conjunto de transacciones. Una vez que un bloque se incorpora a la cadena, la información contenida en él se vuelve inalterable, ya que cualquier intento de modificación requeriría alterar todos los bloques posteriores. Esto asegura la integridad y la inmutabilidad de la información registrada en la cadena.

Si bien el blockchain ganó notoriedad inicialmente por su papel en la creación de criptomonedas como Bitcoin, su alcance se ha expandido de manera significativa. En la actualidad, se utiliza en diversos ámbitos, como la gestión de identidades digitales, la trazabilidad de productos y la ejecución de contratos inteligentes.

La interconexión entre diferentes redes blockchain se ha convertido en un área de investigación y desarrollo de vital importancia, ya que facilitaría la comunicación y la transferencia de valor entre diversos sistemas y aplicaciones basadas en blockchain, abriendo nuevas oportunidades de colaboración y crecimiento. Además, el avance tecnológico en el ámbito del blockchain ha sido notorio, con soluciones para mejorar la escalabilidad, fortalecer la privacidad y seguridad, así como el establecimiento de estándares y regulaciones que impulsan su adopción y uso generalizado.

Entre las aplicaciones más destacadas del blockchain se encuentra la «tokenización» de activos digitales, que ha democratizado las inversiones inmobiliarias; la creación de mercados descentralizados, que está transformando los intercambios de activos digitales; y la gestión de la propiedad intelectual, que se simplifica mediante registros inalterables en la cadena.

2.5. Aprendizaje Federado

El aprendizaje federado, una técnica de aprendizaje automático en constante expansión, permite la capacitación de modelos de manera colaborativa y distribuida, sin necesidad de compartir los datos de entrenamiento entre distintas entidades. Esta metodología encuentra aplicaciones en una variedad de campos, como la atención médica, el sector bancario y el desarrollo de ciudades inteligentes, donde la preservación de la privacidad y la seguridad de los datos adquieren un carácter fundamental.

Este proceso se desenvuelve en tres etapas clave: la selección del modelo, el entrenamiento descentralizado y la agregación del modelo. En la primera fase, se opta por un modelo base que será implementado en cada nodo de la red. Durante la fase de entrenamiento descentralizado, cada nodo entrena su propio modelo utilizando sus datos locales. Finalmente, en la fase de agregación del modelo, se fusionan los modelos de todos los nodos para crear un modelo global que beneficia a toda la red[10]. Un ejemplo destacado de aplicación del

10. MOSHAWRAB, M., ADDA, M., BOUZOUANE, A., IBRAHIM, H., & RAAD, A. (2023). «Reviewing Federated Learning Aggregation Algorithms; Strategies, Contributions, Limitations and Future Perspectives». *Electronics*, 12(10), 2287.

aprendizaje federado se encuentra en las ciudades inteligentes, donde sensores y dispositivos conectados recopilan datos sobre tráfico, calidad del aire, gestión de residuos y otros aspectos. En este contexto, el aprendizaje federado se emplea para entrenar modelos de predicción y optimización que mejoran la infraestructura y los servicios urbanos. Estos modelos optimizan el flujo de tráfico, reducen la congestión y mejoran la calidad del aire, todo ello sin comprometer la privacidad de los datos de los ciudadanos.

El aprendizaje federado emerge como una técnica altamente prometedora, que se está implementando cada vez más en diversos sectores para salvaguardar la privacidad y la seguridad de los datos en aplicaciones de aprendizaje automático. Esta innovación abre nuevas perspectivas para el desarrollo de ciudades más eficientes y sostenibles, al tiempo que potencia la colaboración y el progreso en diferentes campos de aplicación.

2.6. Gemelo Digital

Un gemelo digital, también conocido como «digital twin» en inglés, se presenta como una réplica virtual minuciosa y en tiempo real de un objeto, sistema o proceso que existe en el mundo real. Esta representación digital otorga la capacidad de monitorear, analizar y simular a través de tecnologías digitales, lo que facilita la exploración de diferentes escenarios y cambios antes de llevarlos a cabo en el mundo físico[11]. Los gemelos digitales poseen una amplia gama de aplicaciones en diversos sectores industriales. En el ámbito de la manufactura y la producción, se emplean para simular y optimizar procesos de producción, anticipar y prevenir fallos en equipos, llevar a cabo mantenimiento predictivo y mejorar la eficiencia global de las plantas industriales. En la industria automotriz, se utilizan para diseñar, simular y probar vehículos antes de la fabricación física, lo que conlleva a reducciones significativas en costos y tiempos de desarrollo. Además, en este sector, los gemelos digitales permiten el monitoreo en tiempo real de vehículos conectados, posibilitando la detección precoz de problemas y la optimización tanto del rendimiento como de la seguridad.

En el ámbito de la salud y las ciencias de la vida, los gemelos digitales se convierten en herramientas esenciales para crear modelos virtuales de órganos, sistemas biológicos y dispositivos médicos. Estos modelos facilitan la planificación de procedimientos quirúrgicos, la capacitación de profesionales de la salud y el desarrollo de tratamientos personalizados. Además, se emplean para monitorear la salud de los pacientes y anticipar posibles complicaciones médicas. En la industria de la construcción e infraestructura, los gemelos digitales desempeñan un papel fundamental en la planificación y simulación de proyectos, la optimización del

11. LIU, M., FANG, S., DONG, H., & XU, C. (2021). «Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications». *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 346-361.

diseño de edificios y estructuras, la prevención de riesgos y problemas durante la ejecución de proyectos, y el monitoreo en tiempo real de la infraestructura existente. Esto permite la detección temprana de problemas y la planificación eficaz de tareas de mantenimiento.

Finalmente, en el ámbito de la energía y los servicios públicos, los gemelos digitales se utilizan para modelar y simular redes eléctricas, optimizar la generación y distribución de energía, pronosticar la demanda energética y monitorear y optimizar el rendimiento de activos, como turbinas eólicas y paneles solares. Además, permiten prevenir y responder eficazmente a eventos como apagones y fallos en equipos, contribuyendo así a garantizar la continuidad y la eficiencia de los servicios energéticos.

2.7. IA Fiable

La noción de inteligencia artificial fiable se refiere a la capacidad de un sistema de inteligencia artificial para operar de forma segura, predecible y confiable en todo tipo de situaciones. Esto implica que el sistema de inteligencia artificial debe ser capaz de tomar decisiones adecuadas y precisas, independientemente del entorno o las circunstancias, asegurando que los resultados sean coherentes y dignos de confianza. La búsqueda de la inteligencia artificial fiable adquiere una importancia creciente a medida que los sistemas de IA se tornan más avanzados y, al mismo tiempo, más complejos y difíciles de comprender[12]. La garantía de que los sistemas de inteligencia artificial puedan operar de manera fiable y segura es esencial, especialmente en situaciones críticas, como en la atención médica o en la conducción autónoma de vehículos. Para lograr esta fiabilidad, se aplican rigurosas técnicas de verificación, validación y certificación de los sistemas de inteligencia artificial. Estas técnicas incluyen la implementación de exhaustivas pruebas que aseguran que el sistema funcione de forma predecible y fiable en diversos entornos y contextos.

Además, se están desarrollando estándares y directrices de seguridad y ética en la creación de sistemas de inteligencia artificial. Estas normas y guías no solo orientan el desarrollo de la IA hacia la transparencia y la comprensión, sino que también permiten a los usuarios comprender el funcionamiento del sistema y cómo se toman las decisiones. En resumen, la inteligencia artificial fiable se traduce en la capacidad de un sistema de IA para operar de manera segura y consistente en cualquier situación, lo que se logra mediante una combinación de técnicas de verificación, estándares de seguridad y ética en su diseño y funcionamiento.

12. SHNEIDERMAN, B. (2020). «Human-centered artificial intelligence: Reliable, safe & trustworthy». *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(6), 495-504.

2.8. Edge Computing

El Edge Computing, una arquitectura de red innovadora, habilita la capacidad de procesar y almacenar datos de manera descentralizada y en proximidad al usuario, en lugar de enviarlos a servidores remotos para su procesamiento centralizado. Esta metodología implica la utilización de dispositivos periféricos, como sensores, cámaras o smartphones, para llevar a cabo el procesamiento de datos de forma local. El resultado es una reducción significativa de la latencia y un aumento en la velocidad de procesamiento, lo que permite una respuesta más ágil a las solicitudes del usuario y una mayor eficiencia en el tratamiento de la información. Es importante destacar que el Edge Computing se integra de manera esencial en la arquitectura de la red 5G, que demanda un procesamiento de datos más rápido y cercano al usuario. Esta tecnología encuentra aplicaciones en diversas áreas, como el Internet de las Cosas (IoT). Aquí, la descentralización del procesamiento de datos se traduce en una gestión más eficaz de los dispositivos IoT al procesar la información en su lugar de origen. Este enfoque no solo reduce la latencia, sino que también mejora la capacidad de respuesta de los sistemas IoT.

En el ámbito de la monitorización de la salud y la seguridad en tiempo real, el Edge Computing habilita un procesamiento veloz de datos para la vigilancia y respuesta inmediata a situaciones críticas. Esto abarca desde la detección de anomalías en señales vitales hasta la vigilancia de áreas sensibles, permitiendo una reacción ágil y precisa. En la automatización de fábricas e industrias, el Edge Computing facilita la automatización de procesos al procesar datos provenientes de sensores y dispositivos en el lugar de operación. Esto habilita una supervisión y control eficientes de la producción, sin depender de una conexión constante a la nube.

Además, en el procesamiento de datos de drones y vehículos autónomos, donde se generan grandes volúmenes de información que deben ser procesados en tiempo real para tomar decisiones críticas. El Edge Computing permite realizar este procesamiento localmente, lo que mejora la capacidad de estos dispositivos para llevar a cabo tareas de forma autónoma y segura.

2.9. Sandbox de IA

La sandbox de IA representa un entorno de pruebas controlado que brinda a empresas e instituciones la oportunidad de experimentar y poner a prueba nuevas soluciones de Inteligencia Artificial antes de su lanzamiento al mercado. Su objetivo primordial es la mitigación de riesgos y la reducción de costos asociados a la implementación de estas soluciones, al mismo tiempo que promueve la innovación y garantiza la seguridad y protección de los usuarios. En el contexto de España, la sandbox de IA se integra en la estrategia nacional de IA, supervisada por la Secretaría de Estado de Digitalización e Inteligencia Artificial desde su introducción en 2019. Este entorno de pruebas facilita la experimentación en una diversidad

de sectores, que incluyen la salud, el transporte, la energía y el medio ambiente. España ha destacado a nivel europeo por su liderazgo en la formulación de políticas y estrategias relacionadas con la IA, siendo seleccionada por la Comisión Europea en 2020 como uno de los nueve países líderes en este ámbito. Además, España colabora activamente en la elaboración de una estrategia europea de IA, en conjunto con otros países europeos y la Comisión Europea.

Estas tecnologías y entornos de desarrollo juegan un papel fundamental en la utilización de algoritmos inteligentes[13]. En áreas como la medicina, es de vital importancia tener en cuenta consideraciones éticas y la protección de la privacidad de los datos en la toma de decisiones. La incorporación de sistemas de simulación, como los gemelos digitales, puede aumentar significativamente la tasa de éxito en aspectos como la predicción de epidemias y la evaluación de los efectos de medidas preventivas.

3. IMPULSO AL CAMBIO EN EL CONOCIMIENTO: FOMENTANDO LA INNOVACIÓN EN EL ECOSISTEMA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Escribir sobre cambio o disrupción y hacerlo desde Salamanca es algo que se viene haciendo de forma recurrente, aunque en muchos casos no seamos capaces de verlo. Ejemplo de ello fue, por ejemplo, una de las mayores disrupciones a nivel internacional y que llegó de la mano de la Escuela de Salamanca, surgida en el siglo XVI en España[14]. La Escuela de Salamanca representó una verdadera disrupción en el pensamiento de la época, marcando un hito en la historia de las ideas económicas, políticas y éticas. Integrada por teólogos y juristas, esta escuela se destacó por su enfoque humanista y por abordar temas como los derechos humanos, la justicia, la moral económica y el comercio internacional desde una perspectiva innovadora. Sus miembros, entre los que destacan figuras como Francisco de Vitoria, Domingo de Soto y Luis de Molina, desafiaron las ideas prevalecientes y sentaron las bases para el desarrollo del derecho internacional moderno y la economía de mercado. Sus reflexiones sobre la ética del comercio, la usura, el valor del dinero y la soberanía de los pueblos indígenas en las Américas tuvieron una influencia profunda y duradera, no solo en España sino en todo el mundo occidental. La Escuela de Salamanca es, por tanto, reconocida como precursora del pensamiento

13. Spain: The artificial intelligence regulatory «sandbox» has arrived.
https://www.garrigues.com/en_GB/garrigues-digital/spain-artificial-intelligence-regulatory-sandbox-has-arrived

14. CORCHADO, J.M.; PARRA, J.; «La importancia del ecosistema y el emprendimiento tecnológico sostenible para la economía de Salamanca.» In *Los nuevos desafíos y oportunidades de la transformación digital de la economía española*. Editorial: Real Academia de las Ciencias Económicas y Financieras.

económico y legal moderno, y su legado sigue siendo relevante en el análisis y la formulación de políticas en nuestros días[15].

Ejemplos contemporáneos de innovación en Salamanca incluyen proyectos de investigación en la universidad, startups tecnológicos emergentes y colaboraciones entre el sector público y privado para promover el desarrollo económico y tecnológico en la región.

El impacto de la tecnología en la transformación de Salamanca es evidente. La digitalización de procesos burocráticos, por ejemplo, está mejorando la eficiencia y reduciendo los costes de contexto para las empresas y los ciudadanos[16] (16). Además, la educación y la formación juegan un papel crucial en la promoción de la innovación y la preparación de la fuerza laboral para los desafíos del futuro. Programas de formación en habilidades digitales, emprendimiento o innovación están siendo ofrecidos en Salamanca para impulsar la capacidad de la región en estos campos.

En el contexto actual de rápida evolución tecnológica y desafíos globales, la Universidad de Salamanca se destaca como un agente crucial en la promoción del cambio y la innovación[17]. A través de programas de investigación inter y multidisciplinaria y colaboraciones con diversas entidades, la universidad impulsa el avance del conocimiento, estimula la creatividad y fomenta la adopción de soluciones innovadoras para abordar problemas complejos. Al crear un entorno propicio para la experimentación y el desarrollo de nuevas ideas, la Universidad de Salamanca fortalece su papel como motor de progreso no solo en la región, sino también a nivel nacional e internacional.

La innovación y la transformación económica de Salamanca están experimentando un momento extraordinario que se puede rastrear desde el impulso inicial proporcionado por el Parque Científico. Este impulso ha sido continuado y reforzado por proyectos emblemáticos como el Centro del Láser, iniciativas de industrialización, el dinamismo del Campus Biosanitario, la llegada de multinacionales tanto en el ámbito informático como en la industria farmacéutica, el desarrollo del nuevo Campus Agroambiental, y proyectos como la Bioincubadora AvioInnova, junto con el crecimiento del primer centro tecnológico, el AIR Institute. Estos logros han generado la aparición de nuevos motores industriales que, en estrecha colaboración con la universidad y respaldados por numerosos proyectos de transferencia tecnológica, están transformando nuestra economía hacia una mayor base tecnológica y modelos empresariales arraigados en el conocimiento.

15. DE ANTÓN, F. P. (2014). «El legado de la Escuela de Salamanca». *Altar Mayor*, (157), 61-71.

16. DE MIGUEL, A., PARRA-DOMÍNGUEZ, J., & BENZINHO, J. M. (2014). «Costes de Contexto Transfronterizos en el Ámbito Empresarial. Territorio BIN-SAL».

17. CORCHADO, J. M., LÓPEZ, S., GARCIA, R., & CHAMOSO, P. (2023). «Generative Artificial Intelligence: Fundamentals». *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal,* 12(1), e31704-e31704. Corchado, J. M., CHAMOSO, P., HERNÁNDEZ, G., GUTIÉRREZ, A. S. R., CAMACHO, A. R., GONZÁLEZ-BRIONES, A., … & OMATU, S. (2021). «Deepint.net: A rapid deployment platform for smart territories». *Sensor*s, 21(1), 236.

4. CONCLUSIONES

El legado histórico de la Escuela de Salamanca nos recuerda que la innovación y el cambio han sido características arraigadas en la región desde tiempos antiguos. Sin embargo, para enfrentar los desafíos contemporáneos, como los costes del contexto que obstaculizan el desarrollo económico y la competitividad, es fundamental la acción coordinada y estratégica. La Universidad de Salamanca emerge como un catalizador de cambio, promoviendo la investigación interdisciplinaria, facilitando el emprendimiento y la transferencia tecnológica, y cultivando una cultura de innovación. Al colaborar estrechamente con el sector privado y las instituciones públicas, la universidad se posiciona como un motor de progreso, liderando el camino hacia un futuro próspero y sostenible para la región. Su compromiso con la excelencia académica y su capacidad para adaptarse a los desafíos del mundo moderno la convierten en un activo invaluable para el desarrollo económico, social y cultural de Salamanca y sus alrededores.

Proyectos como «SalamancaTech» desempeñan un papel fundamental como catalizadores del cambio en la región de Salamanca, al promover la colaboración entre diversas instituciones, incluyendo la universidad y las empresas arraigadas en la comunidad. Esta colaboración multidisciplinaria y multisectorial permite el aprovechamiento eficiente de recursos y conocimientos, lo que a su vez fomenta la innovación y el desarrollo tecnológico en la región. La sinergia entre estas entidades crea un ambiente propicio para la creación de soluciones avanzadas y la exploración de nuevos enfoques en diversos campos. Además, estos proyectos tienen un impacto positivo en el desarrollo del talento local, al brindar a los estudiantes y profesionales oportunidades para adquirir experiencia práctica y aplicar sus conocimientos en proyectos reales. Esto contribuye al crecimiento de una fuerza laboral altamente cualificada en la región.

Asimismo, la colaboración con empresas arraigadas en Salamanca fortalece el tejido empresarial local al impulsar la adopción de nuevas tecnologías y prácticas innovadoras. Esto no solo mejora la competitividad de las empresas locales en el mercado global, sino que también puede generar empleo y oportunidades económicas para la comunidad. Además, estos proyectos pueden estar alineados con objetivos de desarrollo sostenible, como la promoción de tecnologías limpias, la eficiencia energética y la reducción de impactos ambientales, contribuyendo así a un crecimiento económico más responsable y sostenible en la región de Salamanca.