

Disrupciones tecnológicas y Universidad en el futuro. Una visión particular desde la rama de Ingenierías y Arquitectura

Gonzalo Joya Caparrós

ETSI Telecomunicación, Universidad de Málaga

ESTE TEXTO RECOGE UNA REFLEXIÓN personal sobre la influencia de algunos elementos tecnológicos, hoy reconocidos como disruptivos, sobre nuestra forma de entender conceptos como «presencialidad» o «relaciones humanas». Al trasladar estos conceptos al ámbito universitario, se ha podido aventurar una posible evolución en la metodología docente tradicional que, en nuestro caso, conduce a una universidad donde el acto docente, escenificado en un espacio y tiempo concretos, y en el que el profesor habla para el grupo, pierde gran parte de su sentido. En su lugar, aparece un proceso personalizado donde cada estudiante seguirá su propia trayectoria de aprendizaje, acompañado del profesor, en el entorno de una internet inmersiva que aún está por conocer. El planteamiento de un caso de estudio muy simplificado: el análisis del estado del arte, en nuestras escuelas de ingeniería, de los elementos tecnológicos antes mencionados, nos ha permitido construir un relato sobre la viabilidad de algunos de los cambios disruptivos hace tiempo anunciados

1. Introducción

En la novela *Lucky Starr y las lunas de Júpiter* (1957), Isaac Asimov escribe: «Lucky tenía la *Efemérides Planetaria* frente a sí. Como todas las grandes obras de consulta, estaba en forma de libro y no de película. Después de todo, la vuelta de las páginas facilitaba más la rápida localización de un informe específico que el largo desarrollo de una película completa»¹. Puede extrañarnos que ni siquiera un referente de la ciencia ficción y la divulgación científica como Asimov fuera capaz de vislumbrar la existencia del reproductor de vídeo digital que aparecería 40 años más tarde, pero debemos considerar que en 1957 todavía faltaban 3 años para que apareciera el primer circuito integrado comercial con 4 transistores.

La anécdota de la *Efemérides Planetaria* puede ser una buena ilustración del vértigo que nos produce el ejercicio de imaginar la universidad de dentro de

36

1 Isaac Asimov (1957). *Lucky Starr y las Lunas de Marte*. Ediciones B, 1995. Traducción de M. Teresa Segur

**«La sociedad en general está
convencida de que habrá un
cambio disruptivo en nuestra
forma de vida y de que ese
cambio no tardará mucho en
llegar.»**

50 años. La respuesta más común entre nuestros colegas cuando se les plantea la cuestión comienza con algo parecido a «¿cómo podemos saberlo si no conocemos ni los nuevos materiales ni las nuevas tecnologías ni siquiera las nuevas profesiones que habrá en un plazo probablemente mucho menor que esos 50 años?».

Efectivamente, la sociedad en general está convencida de que habrá un cambio disruptivo en nuestra forma de vida y de que ese cambio no tardará mucho en llegar. Pero es muy posible que la realidad resultante de ese cambio que ahora podemos imaginar, quede superada y de nuevo transformada radicalmente antes de 2072.

Son muchos los factores que podrían considerarse a la hora de conjeturar (no me atrevo a llamarlo predicción) sobre la evolución de la universidad en este largo plazo, desde los socioeconómicos o medioambientales hasta los culturales o geopolíticos. Para una reflexión desde la perspectiva de la rama de las Ingenierías y la Arquitectura he preferido centrarme en los elementos tecnológicos (o científicos), que ya están siendo reconocidos como disruptivos por la mayoría de la población. Estos factores presentan, a mi parecer, una característica especial en nuestro ámbito – y también en el de ciencias como la física, la química o la biología-, ya que establecen una especie de realimentación en la que los avances técnicos y científicos provocarán cambios en el ámbito social, y estos, a su vez, los provocarán en el ámbito investigador y académico de la tecnología y la ciencia.

En cualquier caso, una reflexión sobre el futuro debe partir de una tendencia; debe, al menos, conformar una idea de la dirección en la que los elementos implicados van a conducir el proceso. Algunos de estos elementos son ya una realidad incipiente y otros son un objetivo ya concebido y buscado con interés. Entre ellos están: por un lado, las nuevas energías renovables, la nanotecnología (electrónica

y nuevos materiales), la expansión de la sensorización, y el computador cuántico; y por otro, la inteligencia artificial, la realidad virtual, la internet de las cosas y la internet inmersiva. Distingo entre un grupo y otro porque creo que los primeros tendrán una influencia preponderante en el cuerpo conceptual de nuestras áreas, es decir, en sus contenidos y competencias; los segundos, además, incidirán especialmente en la metodología y escenarios de aprendizaje. Estos últimos, por tanto, podrán provocar cambios más visibles en el futuro paradigma de universidad.

A partir de las consideraciones anteriores, me propongo aquí una doble línea de reflexión: por un lado, trataré de analizar, con una «metodología de urgencia», cómo puede influir nuestro trabajo presente en la llegada de esos cambios; y por otro, trataré de analizar las consecuencias que esos cambios podrían tener en nuestro desempeño como universitarios.

2. Una aproximación al estado del arte de las tecnologías disruptivas en nuestras Escuelas

2.1. El caso de las Escuelas de Industriales, Telecomunicación e Informática

El futuro no es algo que nos espera en algún lugar, es algo que va junto a nosotros en el camino hacia ese lugar. Como punto de partida para tratar de vislumbrar ese posible camino, propongo analizar, de una forma no muy precisa pero sencilla, el estado del arte en nuestras ingenierías, de los elementos disruptivos señalados más arriba. Usaremos como base de datos la relación de trabajos fin de grado (TFG) de los últimos años. Estos suelen reflejar, a la vez, los intereses investigadores de los profesores y el grado de acceso del alumnado a posibles contenidos de vanguardia.

38

Las figuras 1, 2 y 3 representan el número de TFG asociados a determinadas palabras clave en las Escuelas de Informática, Telecomunicación e Industriales, respectivamente. Estas palabras son: Inteligencia Artificial (IA), Aprendizaje Automático (*Machine learning*, ML), Aprendizaje Profundo (*Deep learning*, DL), Asistencia al Aprendizaje, Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT), *Smart City*, Sensores, Comunicaciones 5G, Realidad Virtual y Aumentada (RV/RA), Detección de Caídas, Fotónica, Gemelos Virtuales (GG.VV), Vehículo Autónomo, Vehículo Eléctrico, Robot Móvil, Interacción Humano Robot (HRI), Energía Fotovoltaica (PV), y Biomecánica.

Los TFG de Industriales sobre la generación de energía fotovoltaica (PV) y los vehículos eléctricos son numerosos y mantenidos en el tiempo. Esto indica que estas materias ya están perfectamente asimiladas por la academia, y por tanto, por los profesionales. La unión de estos dos factores refuerza las predicciones sobre el cambio disruptivo que supondrán las energías renovables. Nuestra forma de consumir energía se alejará, tanto de las grandes infraestructuras de generación y distribución eléctrica, como de las de energías fósiles, para acercarse a la producción, intercambio y consumo domésticos y de cercanía.

39

El análisis de las líneas de Telecomunicación muestra un alto interés por la sensorización, también prolongado en el tiempo, acompañado, más recientemente, por el crecimiento en la IoT (*Internet of Things*) y las comunicaciones 5G. Esta tendencia aparece también en Informática e Industriales. Por otra parte, Informática presenta un trabajo sostenido en técnicas de inteligencia computacional clásicas, que se ha visto reforzado por los nuevos paradigmas de aprendizaje profundo (también observables en Telecomunicación). El avance en la miniaturización, disminución de consumo, ubicuidad y capacidad de comunicación de los sensores, junto con

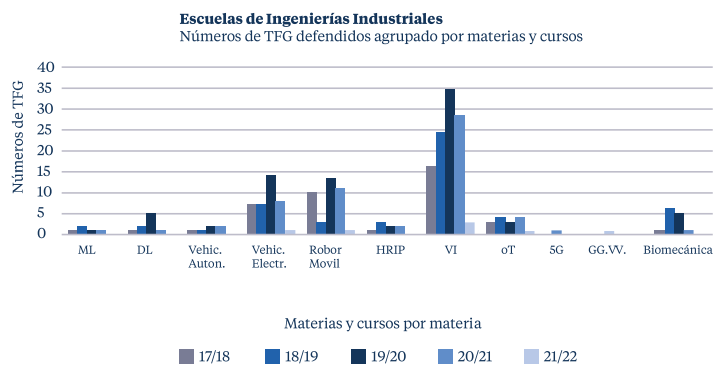


Figura 1. Distribución en el tiempo de TFG defendidos en ETSI Informática clasificados por materias. Cada intervalo temporal corresponde a dos cursos. (Inteligencia Artificial (IA), Aprendizaje Automático (ML), Aprendizaje Profundo (*Deep learning*, DL), Asistencia al Aprendizaje, Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT), *Smart City*, Sensores y Seguridad.)

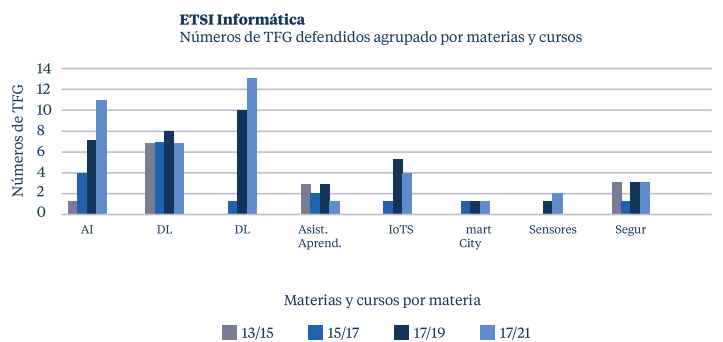


Figura 2. Distribución en el tiempo de TFG defendidos en ETSI Telecomunicación clasificados por materias. Cada intervalo temporal corresponde a dos cursos. (Aprendizaje Automático (*Machine Learning*, ML), Aprendizaje Profundo (*Deep learning*, DL), Asistencia al Aprendizaje, Comunicaciones 5G, Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT), Sensores, Realidad Virtual y Aumentada (RV/RA), Detección de Caídas, Fotónica, Gemelos Virtuales (GG.VV) y Vehículo Autónomo.)

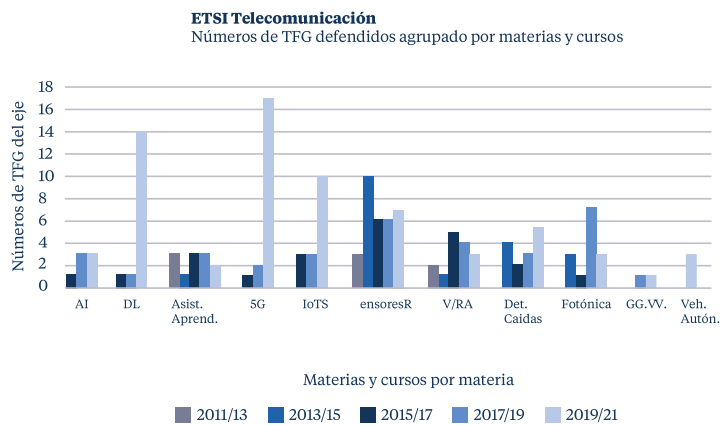


Figura 3. Distribución en el tiempo de TFG defendidos en Escuela de Ingenierías Industriales clasificados por materias. Cada intervalo temporal corresponde a un curso. (Aprendizaje Automático (*Machine learning*, ML), Aprendizaje Profundo (*Deep learning*, DL), Vehículo Autónomo, Vehículo Eléctrico, Robot Móvil, Interacción Humano Robot (HRI), Internet de las Cosas (*Internet of Things*, IoT), *Smart City*, Sensores, Comunicaciones 5G, Realidad Virtual y Aumentada (RV/RA), Detección de Caídas, Fotónica, Gemelos Virtuales (GG.VV), Vehículo Autónomo, Vehículo Eléctrico, Energía Fotovoltaica (PV) y Biomecánica.)

la eficiencia de la inteligencia artificial para interpretar y gestionar la información que estos generen, facilitará la monitorización y el modelado, no solo de nuestro entorno, sino de nosotros mismos. Esto potenciará la llegada de varias de las disrupciones esperadas.

Por un lado, confirma la inminente disrupción del vehículo autónomo, ya que garantiza la generación de un mapa de su entorno, su comunicación con los objetos de interés de su alrededor, y la toma de decisiones en tiempo real. Este vehículo sin duda superará en conducción responsable y segura a cualquier ser humano, por mucho que nos empeñemos en exigirle que nos diga cómo resolvería el dilema del tranvía. Sistemas de asistencia a la conducción de cualquier otro tipo de transporte (terrestre, aéreo o marino) contribuirán también a reducir la siniestralidad de este sector.

Por otro lado, con el refuerzo de la realidad virtual y aumentada (RV/RA), que también aparece como línea de trabajo consolidada en Telecomunicación, se favorecerá el avance hacia una internet verdaderamente inmersiva, donde la calidad de las percepciones visuales, táctiles y auditivas, proporcionen una sensación vívida de realidad. Desde nuestro mundo de pantallas, gafas y avatares de dibujos animados, no vale la pena que hagamos el esfuerzo de imaginar esa nueva internet.

Como tercera consecuencia, la sensorización inteligente favorecerá el modelado y la simulación realista de los sistemas biomecánicos (prótesis y exoesqueletos) y los distintos tipos de robots en los que, según vemos, se trabaja en Industriales. La construcción de gemelos digitales (DD.GG.), copias virtuales de un objeto real a partir de una apropiada distribución de sensores, facilitará la colaboración con colegas de otras instituciones en el diseño, testeo, o el estudio de esas prótesis y robots. Estos gemelos digitales también aparecen ya entre los TFG de Telecomunicación e Ingenierías. Y también, por cierto, en proyectos de Arquitectura.

«Nuestra forma de consumir energía se alejará, tanto de las grandes infraestructuras de generación y distribución eléctrica, como de las de energías fósiles, para acercarse a la producción, intercambio y consumo domésticos y de cercanía.»

La línea de detección de caídas, y en general, la asistencia a personas dependientes, que aparece en Telecomunicación, está íntimamente ligada a la sensorización y al procesado inteligente de la información. Su desarrollo permitirá alargar nuestro tiempo de vida autónoma.

El interés por la línea de asistencia al aprendizaje se evidencia tanto en Informática como en Telecomunicación. Es de suponer que, en la primera, estará más enfocada a generar recursos genéricos para la enseñanza de cualquier materia; en la segunda, los desarrollos están dirigidos a un aprendizaje concreto, como tocar un determinado instrumento musical o manejar una determinada herramienta.

A mi parecer, todas las observaciones anteriores empujan en una dirección. La sociedad del futuro estará mucho más centrada en la persona. Serán las personas quienes gestionen la energía que ellas mismas producen y no formarán parte pasiva de una estructura oligopólica de producción; vivirán en su propio hogar durante más tiempo, no en una residencia recibiendo una atención pensada para el grupo; podrán asistir a un conservatorio para una enseñanza presencial y regulada, pero también podrán aprender música en casa o en la escuela si no hay tal conservatorio en su entorno; si sufren una lesión, tendrán acceso a una prótesis expresamente adaptada a sus circunstancias.

2.2. Un espacio propio para la Escuela de Arquitectura

Considero —y trataré de justificarlo en este apartado— que nuestra Escuela de Arquitectura está haciendo un extraordinario trabajo en la incorporación de los recursos tecnológicos de vanguardia en su propio corpus de conocimiento. Lo prueba *MARTE*, el Máster Propio Universitario en Arquitectura, Robótica y Tecnologías Emergentes, o el laboratorio *eAM tech lab*, o los numerosos proyectos coordinados con equipos de las tres escuelas de ingeniería. Sin embargo, también considero que representa una singularidad, no solo en la rama de conocimiento a la que está adscrita, sino en la propia universidad. Merece, por tanto, un espacio propio en el contexto de este relato, en el que se dé una visión de esa singularidad, aunque sea a través de la mirada de un extraño.

Gran parte de las palabras clave que nos han aproximado a la actividad docente (e investigadora) de la ingeniería en la Universidad de Málaga podrían ser utilizadas para describir las líneas de actuación en la arquitectura: técnicas bioinspiradas, redes neuronales profundas, sensorización, IoT, diseño automático y robotizado, simulación numérica, etc. Sin embargo, mientras en mi análisis personal —en el caso de la ingeniería— estos elementos conducen, en primera instancia, a un mundo centrado en la persona, y de rebote, a una crisis del concepto tradicional de presencialidad, en el caso de la arquitectura tienen como objetivo irrenunciable esa presencialidad. Mi percepción en las visitas que he hecho a su edificio es que su elemento fundamental es el espacio. Todo está al servicio del espacio, y éste al servicio del aprendizaje como experiencia compartida. El espacio para la docencia puede ser una grada, que se transforma una sala con sillas y mesas, para transformarse de nuevo en un espacio diáfano. Los estudiantes tienen su propio espacio común, en el que pueden trabajar, preferiblemente en equipo, durante las 24 horas del día. La Escuela de

Arquitectura es hoy un centro presencial a tiempo completo y, es de suponer, que esa será su línea trabajo para el futuro.

3. Una visión particular de evolución de la metodología docente a lo largo del tiempo

3.1. Desde mucho antes de 1972 y hasta mucho después: el modelo Profesor-Aula-Clase

La universidad es, posiblemente, la institución laica que menos ha cambiado en sus características esenciales a lo largo de los siglos, tanto en sus rituales, como en su organización o en sus metodologías docentes. Si reducimos nuestro análisis al siglo XX y lo que va de XXI, el modelo de enseñanza que podríamos llamar Profesor-Aula-Clase (por sus puntos de referencia) tendría las siguientes características clave:

Centrado en el profesor: El profesor decide el qué, el cómo y el cuándo se aprende. La transmisión del conocimiento se basa en exposiciones orales, un número muy limitado de libros de texto (recomendados y/o escritos por él) y, recientemente, algunos recursos digitales.

Localizado en el espacio: La transmisión se realiza, fundamentalmente, en el aula, y es mayoritariamente unidireccional (de profesor a estudiantes).

Localizada en el tiempo: Cada materia tiene un horario. El profesor explica la lección correspondiente en ese horario. Los alumnos toman apuntes. Estos apuntes individuales son la única huella física de lo hablado en clase.

Aprendizaje despersonalizado: El profesor habla para el grupo. No hay una personalización del aprendizaje, salvo, casi exclusivamente, durante el Proyecto/Trabajo Fin de Estudios o Tesis, o con relativa incidencia, en las sesiones de tutoría.

3.2. La era de la internet universal y socializadora

Con la universalización de Internet y su socialización por parte de los usuarios, el modelo comienza a desvanecerse:

El profesor pierde el control pleno del proceso de aprendizaje y las paredes del aula se difuminan: proliferan los tutoriales sobre cualquier temática, los cursos en línea organizados por profesores y entidades académicas de prestigio, los artículos científicos y los libros de texto. Las enciclopedias digitales colectivas (especialmente la Wikipedia) se hacen cada vez más completas y fiables.

La aparición de los campus virtuales genera un espacio alternativo al aula, aunque también controlado por el profesor. En ellos se pueden encontrar los contenidos fundamentales de la materia junto con otros complementarios, debatir sin limitación temporal, intercambiar dudas y respuestas tanto con el profesor como con el resto de estudiantes, realizar controles de evaluación y autoevaluación, etc. Los contenidos permanecen accesibles en el tiempo.

De forma paralela, las redes sociales permiten al alumnado organizarse y generar sus redes de asistencia mutua, favoreciendo los procesos de aprendizaje horizontal.

Las técnicas de simulación y diseño asistido por computador hace tiempo que nos permiten producir objetos y chequear su funcionamiento en un entorno altamente digitalizado que nos aísla de su naturaleza analógica real (el Cuadro 1 presenta un ejemplo ilustrativo). El número de áreas en que esto es posible no deja de crecer: instrumentación en Ingeniería Electrónica y Telecomunicación, maquinaria o prótesis de diferentes materiales (incluido orgánicos) en Ingeniería Industrial (y Medicina), diseño paramétrico en el área de Arquitectura, etc. Todo esto, con la participación imprescindible de la Ingeniería Informática.

Estos cambios empiezan a hacer posible que cada estudiante tenga un amplio margen para personalizar su aprendizaje a través de la selección de fuentes, la organización temporal de su estudio y la cooperación con afines en cualquier parte del mundo. Así mismo, muchas de las tareas que antes exigían la asistencia a un laboratorio pueden realizarse ahora fuera de las Escuelas.

3.3. La experiencia de la pandemia de la COVID-19

El viernes 15 de marzo de 2019 nos acostamos siendo una Universidad presencial y el lunes 18 nos despertamos siendo una Universidad completamente en línea. La adaptación a esta enseñanza en línea (síncrona), fue inmediata en el área de las ingenierías. Muchos descubrimos en ese momento la gran variedad de herramientas para el trabajo a distancia que ya llevaban tiempo desarrolladas. Las «paredes del aula» desaparecieron de manera instantánea. Aunque imperfectos aún en aspectos importantes como la comunicación verbal, visual y gestual entre los participantes, estos medios permitieron salvar la docencia con un nivel aceptable. El modelado digital de un importante número de instrumentos, al fin y al cabo, digitales ellos mismos, ya permitió salvar muchas clases de laboratorio. Parece evidente que la rápida adaptación a estas plataformas por parte de una comunidad mayoritariamente novel, demuestra unas bondades intrínsecas incuestionables, que justifican la investigación en la superación de sus debilidades. Esta investigación, sin duda, ya se estará haciendo y tendrá sus resultados.

El avance en la virtualización no va a detenerse cuando salgamos de la pandemia, y cometeríamos un error si tratamos de ignorar este proceso con el argumento de que el contacto humano entre docente y estudiante, o de estudiantes entre sí, es insustituible. Aun en estos días de bajas restricciones, muchos de nuestros estudiantes siguen practicando *Telebiblio*, que consiste en estudiar individualmente,

«El avance en la virtualización no va a detenerse cuando salgamos de la pandemia, y cometeríamos un error si tratamos de ignorar este proceso con el argumento de que el contacto humano entre docente y estudiante, o de estudiantes entre sí, es insustituible.»

«El interés por la línea de asistencia al aprendizaje se evidencia tanto en Informática como en Telecomunicación»

pero conectados por una plataforma virtual (*Google Meet*, por ejemplo), de manera que pueden ver, en la pantalla del ordenador, a otros compañeros estudiando también; hace tiempo que muchas personas se conocen por primera vez en una red social como Instagram; y la tendencia a comunicarse por chat en lugar de por llamada telefónica está cada vez más extendida. En definitiva, el contacto humano, tal cual lo conocemos, propia versión en la virtualidad y, claro está, seguirá siendo digital.

La Universidad en tiempos de la internet inmersiva y otros elementos disruptivos

Comienzo este epígrafe con cierta aprensión. Mis reflexiones sobre la evolución de la vida universitaria me conducen a un escenario en el que sus elementos esenciales – los que describíamos al comienzo de la sección – se desvanecen uno tras otro: desde el aula como espacio fundamental en la transmisión del conocimiento, hasta el propio profesor, cuyo papel cambia radicalmente. Incluso la propia Universidad empieza, de alguna manera, a difuminar sus contornos institucionales, o al menos, a hacerlos más permeables. No sé si el hecho de que la gran mayoría de colegas a quienes he pedido opinión estén en desacuerdo conmigo y, no pocos de manera radical, debe intranquilizarme o lo contrario. Seguramente, tengan razón, y la resistencia mostrada por esta institución a lo largo de siglos es un hecho que está de su parte.

Sin embargo, de la misma manera que expresaba más arriba mi opinión de que el «contacto humano» no exige necesariamente compartir el mismo espacio y tiempo, también considero que la clase,

como acto en el que el profesor comparte su conocimiento con los estudiantes en el aula, está tan sublimada que ni siquiera nos planteamos la posibilidad de una alternativa. Ahora bien, la gran mayoría de las aulas que conozco – exceptuando expresamente las de Arquitectura y Bellas Artes –, mantienen una geometría y una acústica que dejan mucho que desear. Pensadas para un gran número de estudiantes, la audición y visión adecuadas solo están garantizadas en la parte central de las primeras filas; y, aunque se trate de unas circunstancias excepcionales, las medidas de seguridad que hemos debido mantener en los dos últimos inviernos las han convertido en un territorio hostil.

En cuanto al desempeño docente, es indudable que contamos con un gran número de excelentes profesores tanto por el dominio de la materia como por sus capacidades comunicativas. Sin embargo, también es cierto que a algunos, quizá por una timidez exagerada, apenas se nos oye, o somos algo desordenados, o hablamos tan rápido que no hay forma de seguirnos. Y a veces, a mediados de curso, observamos con preocupación que la asistencia se ha reducido considerablemente, y una parte de la que permanece hace tiempo que no puede seguirnos. Nuestra realidad no es tan incuestionable como pensamos.

Lo que sigue, no es un alegato, sino el resultado de un análisis (no científico), de algunos de los elementos tecnológicos y de sus posibles efectos sobre el modelo universitario actualmente predominante.

Hacia una enseñanza personalizada (o autogestionada)

Algoritmos de Inteligencia Artificial (IA), aplicados al análisis de datos masivos (Big Data), ya pueden gestionar un «asesor digital» para conducirnos en nuestra navegación por internet. Este asesoramiento personalizado puede llevarse a cabo – con nuestro conocimiento o sin él –, a partir de nuestras búsquedas pasadas, y ya es un hecho totalmente conocido y asumido por la población. La natural

evolución de la IA y la consecución de una Computación Cuántica estable, con su aumento sobre exponencial en la capacidad de procesamiento, permitirán una adaptación mejorada de ese «asesor digital», que podría gestionar el proceso de formación académica en función de unos objetivos prefijados. No se trata ya de buscar contenidos similares más o menos al azar, sino de establecer una *trayectoria* en la formación, que será adaptable en longitud y tiempo en función de los intereses y el desempeño del estudiante. Por otra parte, la investigación en procedimientos automáticos para la evaluación hace tiempo que constituye una línea de trabajo generalizada (también entre algunos grupos de nuestra universidad); un salto cualitativo en sus técnicas permitirá llevar a cabo una evaluación detallada, globalizadora y verdaderamente continua a lo largo de las trayectorias. (En adelante utilizaré el término «*trayectoria de aprendizaje*» o simplemente «*trayectoria*» como denominación específica de esta posible estrategia de aprendizaje).

Las previsibles crisis sociales y el aprendizaje a lo largo de la vida

45 Adam Dorr y Tony Seba, investigadores de *RethinkX*, pronostican para la década de 2030 la preponderancia de las energías renovables (autoabastecimiento e independencia energética), el vehículo eléctrico y autónomo, y el uso de robots inteligentes en los procesos de producción, entre otros factores². Esto provocará, al principio, una grave crisis social con pérdida generalizada de empleos, que deberá ser enfrentada con eficacia, tratando de recapacitar a los afectados y de orientarlos hacia otras profesiones, muchas de ellas posiblemente nuevas.

Esta problemática puede producir un punto de inflexión en el desarrollo de los algoritmos para la generación de nuestras *trayectorias de aprendizaje*. Es probable

que sean las grandes corporaciones digitales quienes lideren estos desarrollos, pero no es descabellado pensar que cuenten para ello con equipos universitarios y que también sean universitarios quienes los doten de los contenidos docentes y acompañen a los estudiantes en su recorrido. En un primer momento, las trayectorias podrán ser instrumentales y muy orientadas hacia un destino concreto, pero salvada la crisis, podremos avanzar en el diseño de trayectorias más complejas y abiertas, facilitando el llamado «aprendizaje a lo largo de la vida». Aun en el caso de que fuesen las grandes corporaciones tecnológicas las propietarias de la tecnología y algoritmia más avanzadas en este campo, cabe la posibilidad de que estas fuesen puestas a disposición de las universidades para el desarrollo de sus propias aplicaciones. Este tipo de desarrollos, por tanto, pueden ampliar el espectro educativo universitario más allá de las titulaciones oficiales actuales.

El papel del profesor en un sistema basado en trayectorias.

Un sistema basado en trayectorias no elimina por completo el papel del profesor como transmisor oral de conocimientos, pero lo transforma, pasándolo, probablemente, a un segundo nivel. La tarea predominante será la generación de contenidos en formato electrónico y la tutorización y supervisión de los avances de sus alumnos. El trabajo del equipo docente se hace más colectivo, y si está bien coordinado, probablemente se enriquecerá con las habilidades de cada participante, ganando así en calidad frente al trabajo individual ahora predominante.

En cualquier caso, el sistema no elimina la relación directa profesor-estudiante. La disponibilidad permanente de los contenidos y la nueva distribución temporal de tareas permitirán una metodología de trabajo más basada en proyectos. Estos

² Adam Dorr & Tony Seba, *Rethinking Energy 2020-2030*. A RethinkX Sector Disruption Report October 2020

seguirán favoreciendo la relación directa y presencial de los estudiantes entre sí, y de estos con sus tutores.

«La aparición de los campus virtuales genera un espacio alternativo al aula.»

Los avances en la sensorización y la realidad virtual

La Internet de las Cosas

La miniaturización de los dispositivos electrónicos, la disminución de su consumo, el desarrollo de baterías más eficaces, y la gran variedad de sensores con capacidad de comunicación entre ellos, ha hecho posible el paradigma, ya completamente popularizado, de la Internet de las Cosas³ (IoT, por *Internet of Things*). Es posible que, al leerlo ahora, muchos de nosotros hayamos pensado en un frigorífico sensorizado capaz de gestionar la lista de la compra y hacer el pedido al supermercado, o en los dispositivos que llevamos encima que pueden monitorizar nuestras constantes vitales, o en los sensores que pueden generar, en tiempo real, un mapa del tráfico o de la polución en nuestra ciudad. Este concepto, analizado desde diferentes puntos de vista, ya forma parte del corpus de conocimientos de todas nuestras Escuelas.

Los gemelos virtuales. De la industria a la universidad

Las capacidades de sensorización y comunicación de la IoT, unidas a la capacidad de procesar y analizar grandes cantidades de datos de la Inteligencia Artificial, y a la capacidad de realizar

simulaciones de procesos complejos, han permitido la aparición de los *Gemelos Digitales*⁴.

Un gemelo digital es una copia virtual de un determinado objeto, conseguida a partir de la adecuada distribución de sensores en dicho objeto, del procesado de la información recopilada mediante Inteligencia Artificial, y de la generación de un modelo que puede simular (o reproducir en tiempo real) su comportamiento. Aunque, ya existen gemelos digitales más o menos complejos, futuros avances en técnicas de realidad virtual podrían potenciar la fase de modelado, generando réplicas visuales prácticamente idénticas al objeto real.

El salto de los gemelos, de la industria a la del comportamiento de un determinado sistema físico (una pieza de un motor, el motor completo, o la máquina movida por el motor).

En el ámbito de la investigación, favorecería la asociación de diferentes entidades, que podrían duplicar experimentos y compartir, mediante sus gemelos, recursos materiales costosos.

De nuevo, los límites del aula se desvanecen, y en este caso, también los límites de las propias entidades académicas tal como hoy las conocemos. El resultado podría ser una especie de confederación o alianza de universidades (idea que podríamos reconocer en el germen de Andalucía Tech), donde el intercambio de conocimiento no se basaría en el desplazamiento de las personas y objetos, sino de la propia información, que en estos casos adquiriría el aspecto de realidad física propio de los gemelos.

Esta alianza de universidades, que también encaja perfectamente en el paradigma de las trayectorias, parece

3 Gershenfeld, Nel; Raffi Krikorian y Danny Cohen, *The Internet of Things. Scientific American*, octubre 2004, p. 76-81

4 Jean Thilmany . Identical Twins. ASME , 2017 <https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/resourcefiles/aboutasme/news%20media/1017coverstoryme.pdf>

un camino natural para la evolución del mundo universitario del futuro. Los factores técnicos y sociales necesarios para que genere un efecto sinérgico, más allá de la simple suma de los potenciales particulares de cada institución, ya pueden reconocerse (o imaginarse) como una realidad presente o futura.

Esta tendencia a la unión supone una inversión de la tendencia a crear nuevas universidades de los últimos años. Esta última estaba fuertemente sustentada en la idea de incrementar el acceso de la población a la universidad, reduciendo su coste económico al favorecer la cercanía física. Pero el concepto mismo de cercanía «física», al igual que el de contacto »físico« o el de presencialidad «física», ya ha sido cuestionado varias veces a lo largo de este texto. Seguramente, el coste de los elementos necesarios para promover una *presencialidad virtual* que permita el acceso a una formación más abierta, global y adaptable a las necesidades (y posibilidades) de las personas, será menor que el de mantener una estructura rígida de instituciones independientes que en muchos casos implica redundancia de recursos y competencias.

Internet en el año 2072

47 Parece incuestionable que los factores de disrupción mencionados a lo largo de este texto, no tendrían la misma significación -incluso no existirían como los conocemos - si no contáramos con la capacidad aglutinadora de Internet. En su estado actual, ya se ha convertido en el factor determinante para entender la sociedad del momento, pero lo será de manera más rotunda en su estado futuro de 2072.

Solo una internet verdaderamente inmersiva, que nos permita formar parte de la realidad artificialmente creada en lugar de mostrárnosla como a espectadores, cumplirá los requisitos necesarios para que las transformaciones aquí descritas puedan llevarse a cabo de manera provechosa. Considero que este objetivo está dentro de lo posible.

Si, además, consiguiera que fuese inclusiva en el sentido de universalmente asequible, independientemente de cualquier condicionante social, económico o geopolítico, sería la mayor revolución social de la historia. Este objetivo, evidentemente, no está tan claro.

4. Conclusión

Si pidiéramos al pirata del garfio con la pata de palo del siglo XVII que pensara en sus prótesis ideales, difícilmente nos hablaría de una mano perfectamente acoplada a su brazo que pudiese mover con el pensamiento, o de una pierna con la que pudiera correr, saltar y hasta participar en un abordaje. Puestos a imaginar, probablemente no pasaría de una mano perfectamente esculpida, que rechazaría porque ni siquiera le proporcionaría el potencial uso, como arma, del garfio. En cuanto, a la pierna, quizá podría imaginar muchas variaciones del palo, más o menos ornamentadas, e incluso, una reproducción fiel de su pierna original, pero todas seguirían siendo de madera.

Me gustaría pensar que algo similar ocurra con las pocas ideas sobre nuestro futuro como Universidad que aparecen en este escrito. Y seguramente, aprendamos del pirata, así será, bien porque al futuro se llegue por un derrotero totalmente diferente, o bien porque esas ideas queden muy ampliamente sobrepasadas.

En cualquier caso, este texto recoge una reflexión sobre la influencia de algunos elementos tecnológicos, hoy reconocidos como disruptivos, sobre nuestra forma de entender conceptos como «presencialidad» o «relaciones humanas». Al trasladar estos conceptos al ámbito universitario, hemos podido aventurar una posible evolución en la metodología docente tradicional que, en nuestro caso, conduce a una universidad donde el acto docente, escenificado en un espacio y tiempo concretos, y en el que el profesor habla para el grupo, pierde gran parte de su sentido. En su lugar, aparece un proceso

personalizado donde cada estudiante seguirá su propia trayectoria de aprendizaje, acompañado del profesor, en el entorno de una internet inmersiva que aún está por conocer.

El planteamiento de un caso de estudio muy simplificado: el análisis del estado del arte, en nuestras escuelas de ingeniería, de los elementos tecnológicos antes mencionados; nos ha permitido construir un relato sobre la viabilidad de algunos de los cambios disruptivos hace tiempo anunciados.

El trabajo ha estado principalmente contextualizado en las escuelas de ingeniería, sin embargo, un espacio propio, aunque menos extenso de lo deseado, ha sido dedicado a esbozar otra visión de la universidad futura, a mi entender, más acorde con la filosofía de la Escuela de Arquitectura. —

Agradecimientos

Este texto ha sido escrito a partir de mis conversaciones con algunos compañeros. Antonio Díaz Estrella me dio las claves de lo que yo he llamado «trayectorias de aprendizaje» y de los gemelos digitales; Arcadio Reyes Lecuona me presentó su visión, nada convencional, del papel de la Realidad Virtual en el futuro; José Aguado Sánchez, Fernando Ruiz Vega, y Leonardo Franco, me hablaron de algunas de las tendencias clave en sus respectivas especialidades (Industriales, Telecomunicación e Informática, respectivamente); con Miguel Atencia Ruiz y Francisco García Lagos he podido confrontar las ideas surgidas en el proceso.

Alejandro Rodríguez Gómez, Rafael Godoy Rubio, y Manuel Enciso García-Oliveros, directores de EI Industriales, ETSI Telecomunicación y ETSI Informática, respectivamente, me han proporcionado los datos sobre Trabajos Fin de Estudios utilizados en la sección 2; y Ana Manzano, Eva Belén Barón López y Rafael Flores Luque (compañeros de las respectivas secretarías) elaboraron los documentos con dichos datos.

Gracias a Ferrán Ventura Blanch he conocido el edificio de la ETS Arquitectura (que me ha impactado muy positivamente) y he podido aproximarme al uso de los recursos tecnológicos en un contexto muy diferente al mío.

Cuadro 1

Imaginemos un estudiante de Diseño Digital que debe diseñar, testear e implementar un determinado circuito. Dispone en su ordenador de un programa gráfico, que le permitirá dibujar el esquemático del circuito a base de conectar «bloques» («bloques funcionales» sería una expresión más técnica), cada uno de ellos con una funcionalidad ya prediseñada. Una vez dibujado del esquemático, el mismo programa le permitirá simular su comportamiento para el conjunto de valores de las entradas que el estudiante proporcione (también de forma gráfica). Tras comprobar que ese comportamiento es el correcto, se generará un programa con la descripción en alto nivel del circuito (VHDL). Este programa permitirá implementar, automáticamente, el circuito físico en una placa de pruebas conectada a su ordenador (y alimentada por este). Hasta aquí el estudiante solo ha necesitado su ordenador personal, el programa de simulación que es gratuito, y la placa, de dimensiones menores que las de un teléfono móvil y que cuesta en torno a 150 euros (Figura 4-a).

Hace unos años, ese estudiante tendría que haber adquirido los circuitos integrados correspondientes a cada uno de los bloques funcionales mencionados, cada uno con su particular distribución de pines de entrada y salida admirablemente optimizada*; distribuirlos en la placa de montaje (protoboard), constituida por una serie de líneas de contactos verticales y horizontales también admirablemente optimizada; y conectarlos entre sí mediante un cableado cuya distribución en la placa constituía un arte (Figura 4-b. Finalmente, para su testeo, tendría que conectar el circuito a la fuente de tensión y a algún instrumento de medida como el multímetro (Figura 4-c).

* Estos circuitos ya no se fabrican, aunque todavía quedan remanentes.

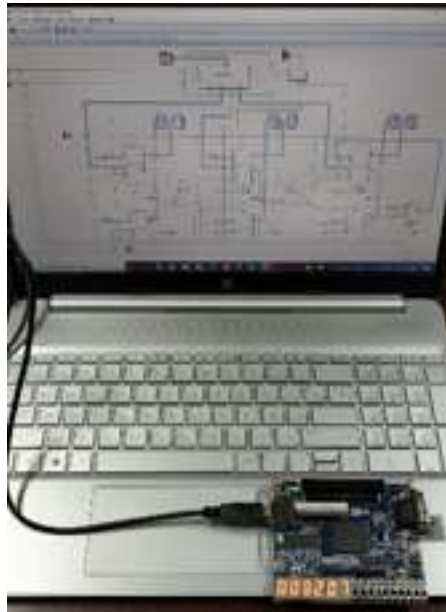


Figura 4-a. Diseño de un reloj digital de horas, minutos y segundos. El esquemático está realizado en el simulador de circuitos Deeds, y la implementación física en la placa de prototipado Terasic DE10-Lite (FPGA). Puede observarse que la marcha del reloj aparece simultáneamente tanto en el simulador como en la placa. (Imagen cedida por Francisco González Cañete)

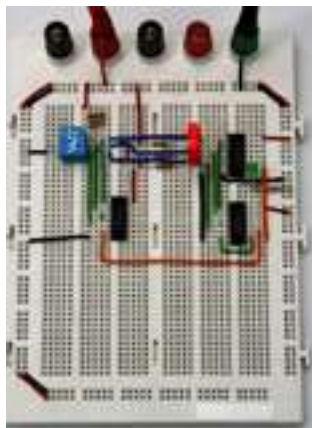


Figura 4-b. Implementación sobre protoboard de un circuito generador-detector de paridad. (Imagen cedida por Francisco Javier Vizcaino Martín)



Figura 4-c. Testeo de un circuito implementado sobre protoboard. El circuito aparece conectado a una fuente de alimentación y a un multímetro (Imagen cedida por Francisco Javier Vizcaino Martín)