

LOS PILARES Y EL CIMIENTO DE LA ERA DIGITAL

Por el Académico de Número
Excmo. Sr. D. Juan Miguel Villar Mir*

El objeto de esta conferencia es poner de manifiesto cuáles son los pilares y cuál es el cimiento sobre los que se sustenta la nueva era digital en la que nos encontramos inmersos. Los pilares son, por un lado, el ordenador, elemento clave sin el cual no existiría esta transformación digital, y por otro las comunicaciones, con las ventajas y avances que nos van aportando las nuevas tecnologías. Y el cimiento más importante es el metal silicio, materia prima que ha hecho la mayor contribución a todos estos avances.

Estructuraré mi intervención en cinco partes:

1. Comenzaré haciendo un resumen de la historia de las revoluciones industriales que nos han precedido.
2. Haré a continuación un repaso sobre la historia del ordenador, su nacimiento y evolución.
3. A continuación, me detendré en las comunicaciones y sus avances.
4. Pasaré luego a hablar sobre el silicio como el material que más ha contribuido a la era digital.
5. Por último, expondré unas reflexiones sobre algunos problemas pendientes en la situación actual.

1. LA HISTORIA DE LAS REVOLUCIONES INDUSTRIALES

El camino recorrido por la humanidad hasta llegar a la actual era digital ha sido un trayecto de avances que han supuesto frecuentes cambios y que han

* Sesión del día 17 de mayo de 2022.

puesto a prueba continuamente la capacidad de adaptación del hombre a circunstancias y condiciones cambiantes.

Una de las preocupaciones del ser humano ha sido siempre la de descifrar los orígenes de nuestra especie, buscando restos fósiles que pudieran aportar información sobre nuestra procedencia. Hasta el año 2017, se pensaba que el origen del *Homo sapiens* databa de hace unos 200.000 años en función de los restos más antiguos encontrados al sur de Etiopía, en el valle del río Omo. Sin embargo, el estudio de restos encontrados en el norte de África, en un yacimiento llamado Jebel Irhoud, enclavado en el norte de Marruecos, ha obligado a reescribir la historia sobre el origen del ser humano, ya que esos restos confirman que el *Homo sapiens* surgió antes de lo que se pensaba hasta ahora. Estos restos fueron encontrados en la década de los 60 del siglo pasado y tras ser estudiados con pruebas de alta tecnología, se ha podido determinar que en realidad tienen unos 300.000 años de antigüedad.

La historia del *Homo sapiens* parece remontarse, por tanto, a unos 300.000 años. Y desde entonces, ha sido empeño incansable del ser humano el de expandirse y mejorar sus condiciones de vida, lo que le ha llevado a realizar avances, que si bien se produjeron en forma de cambios lentos durante milenios, en varios momentos de los últimos doscientos cincuenta años se han visto acelerados con el inicio de las revoluciones industriales, grandes hitos de avances tecnológicos que han constituido transformaciones fundamentales de la sociedad.

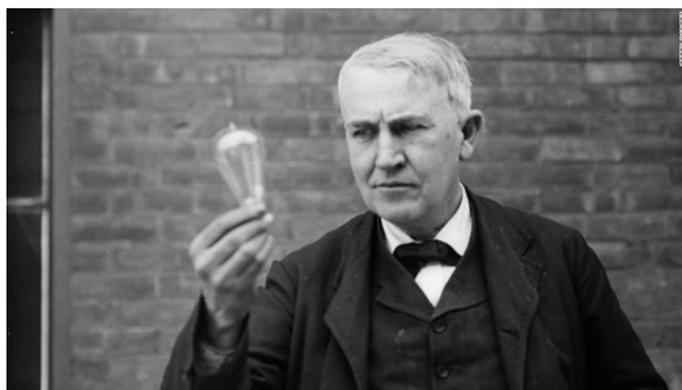


La *Primera Revolución Industrial* vino precedida por un importante avance en la navegación, todavía a remo y a vela, y en las comunicaciones marítimas, desarrolladas con técnicas introducidas a partir del descubrimiento de América, lo que activó la mentalidad inventora para hacer frente a las necesidades de mejora de la navegación. Y así la llamada Primera Revolución Industrial surgió en Gran Bretaña a mediados del siglo XVIII, extendiéndose luego al resto de Europa. El elemento clave que desencadenó esta revolución fue la invención de la máquina de vapor por parte del escocés James Watt en el año 1776.

James Watt demostró que se podía utilizar la máquina de vapor en lugar, por ejemplo, de la tradicional fuerza de un caballo. Definió la unidad de potencia «Caballo de vapor» (CV), basándose en la que un caballo, como animal, era capaz de desarrollar; y la estimó en levantar un peso de 75 kg a una altura de un metro en un segundo. Y así, quedó definido que un Caballo de vapor (CV) es la potencia necesaria para generar una energía de 75 kilográmetros (kilos x metros) en un segundo.

Gracias a la máquina de vapor comenzó a ser posible sustituir trabajos manuales del hombre y de los animales por los de las máquinas. Y de este modo, se pasó de una economía basada enteramente en la agricultura y la artesanía a una sociedad que comenzó a ser también industrial, lo que comenzó a generar cambios profundos a todos los niveles, desde el urbanismo a la vida cotidiana, con una nueva valoración del tiempo y su control en la difusión de los relojes.

Las producciones aumentaron de forma importante, surgieron nuevas técnicas para el desarrollo del trabajo, se produjo una primera especialización de la mano de obra y comenzó a crearse un nuevo modo de vida, no solo agrícola y artesanal.



Desde principios del siglo XIX, varios inventores ingleses trataron de demostrar que era posible generar electricidad con el arco voltaico, término que definieron como la corriente eléctrica que se produce entre dos electrodos sometidos a diferentes cargas eléctricas y colocados en una atmósfera adecuada. Y finalmente fue Thomas Edison quien patentó la bombilla en el año 1880. Se trataba de una primera bombilla incandescente con filamento de carbono y con vacío en su interior, que tenía una duración útil de solo unas 40 horas.

A principios del siglo XX, la utilización del gas y del petróleo, como nuevos combustibles, y del motor eléctrico, como nueva fuerza motriz, fueron la base

de lo que se ha dado en llamar *Segunda Revolución Industrial*, con la utilización de la energía eléctrica; y definiendo el watio y el kilowatio (de mil watios) como unidades de potencia eléctrica, siendo el kilowatio equivalente a 1,35962 caballos de vapor (CV), es decir, a 101,97 kilogrametros en un segundo.



También a principios del siglo xx, concretamente en 1910, Henry Ford diseñó la primera cadena de montaje en movimiento para la producción de automóviles, lo cual supuso un avance a nivel mundial de los procesos de producción.

Con esta Segunda Revolución Industrial se produjo un importante desarrollo de los transportes, que se modernizaron y abarataron, poniendo en contacto mercados que hasta entonces no tenían relación y facilitando el trasiego tanto de personas como de mercancías, en un mundo sobre ruedas.

Ya en la segunda mitad del siglo xx, los avances producidos por las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (las llamadas TIC) dieron lugar a lo que hoy se ha definido como la Sociedad de la Información, con el calificativo de *Tercera Revolución Industrial*, con la aparición del ordenador.

Y, por último, de esta tercera hemos pasado a la llamada *Cuarta Revolución Industrial* o *Industria 4.0* en la denominada era digital, que gira en torno a sucesivos avances de los sistemas informáticos y las comunicaciones. El término de Cuarta Revolución Industrial fue acuñado en 2016 por el alemán Klaus Schwab, ingeniero y economista fundador del Foro Económico Mundial, con convocatorias anuales en Davos (Suiza), si bien el inicio de esta revolución se sitúa realmente alrededor del año 2014 con la aparición de las fábricas inteligentes, así llamadas por permitir que el ser humano y la máquina se integren

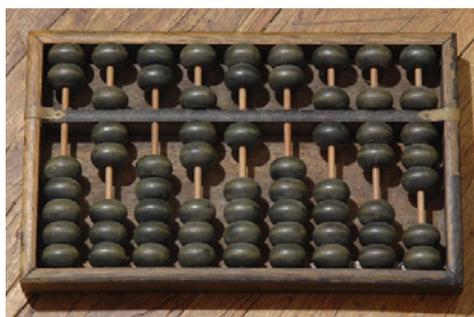
más y más, hasta dar lugar a una nueva revolución tecnológica que, según los expertos, modificará por completo la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos.

La invención del ordenador ha sido y es, sin duda, el primer pilar (el segundo son las comunicaciones) en que se sustenta esta nueva era digital.

A continuación, realizaré un pequeño resumen sobre la historia de los ordenadores, y de cómo se han ido perfeccionando a lo largo de décadas hasta convertirse en las máquinas de cálculo superpotentes que manejamos hoy.

2. LA HISTORIA DEL ORDENADOR

La necesidad de efectuar cálculos y de procesar información es tan antigua como el ser humano. Con el fin de dar respuesta a sus necesidades, el hombre ha ido creando instrumentos y herramientas cada vez más elaborados que, con el paso de los siglos, han dado lugar a los ordenadores actuales. A lo largo de la historia, se han ido sentando las bases de la aparición de los ordenadores.



Probablemente el ábaco es la primera herramienta de cálculo inventada por el hombre. Parece que este instrumento se inventó en China, pues hay evidencia escrita de que su existencia allí data del siglo II antes de Cristo. El ábaco ha sido utilizado por muchas culturas a lo largo de siglos, si bien en las culturas china y japonesa su uso ha sido más frecuente y durante más tiempo. Este instrumento de cálculo está compuesto por un cuadro que contiene barras paralelas en las que están ensartadas cuentas de madera, de metal o de piedra. Cada una de las barras va representando sucesivamente las unidades, las decenas, las centenas, las unidades de millar y las decenas de millar...

Una anécdota curiosa respecto al ábaco es el resultado de la competición celebrada en el año 1946 en Tokio entre un funcionario de finanzas del

Ministerio Japonés de Comunicaciones, Kiyoshi Matsuzaki, y un soldado norteamericano, Thomas Nathan Wood. El periódico estadounidense *Stars and Stripes* organizó la competición de cálculo donde el japonés utilizaba un ábaco y el estadounidense una calculadora de aquel año. Y, sorprendentemente, el japonés resultó vencedor en cuatro de las cinco pruebas que se planteaban, perdiendo únicamente en la prueba de multiplicación.

Siglos después del ábaco, surgieron otros inventos más sofisticados, como la Máquina de Pascal o Pascalina, máquina –inventada por Blaise Pascal en 1642 en Francia para ayudar a su padre, que trabajaba como recaudador de impuestos– que se basaba en una serie de engranajes que permitían realizar operaciones aritméticas de forma mecánica.



Unos años más tarde, en 1671, el filósofo y matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz mejoró esta máquina, dando lugar a una nueva versión que era también capaz de multiplicar y dividir.

En 1820 el francés Charles Thomas de Colmar inventó el aritmómetro, sobre la base de la calculadora de Leibniz, nuevo dispositivo que podía ser producido a bajo coste y a gran escala, convirtiéndose en la primera calculadora con verdadero éxito comercial que se vendió a lo largo de décadas en todo el mundo. El aritmómetro de 30 dígitos se construyó para la Exposición de París de 1855 y forma parte de la colección histórica de calculadoras mecánicas de IBM.

La calculadora no fue el único gran invento de Leibniz. Una de sus grandes aportaciones fue desarrollar el sistema binario, base del funcionamiento de las computadoras y que a continuación comentamos.



La historia del sistema binario se remonta a miles de años. Las primeras referencias al mismo aparecen en el *I Ching*, conocido también como El Libro de las Mutaciones, una obra clásica china cuyos primeros textos datan de hace nada menos que 3.000 años.

La civilización china no es, sin embargo, la única que utilizó una notación similar hace miles de años. Los egipcios, por ejemplo, ya reflejaron en algunos de sus jeroglíficos unas fracciones que también incluyen este sistema. Hacia el siglo II antes de Cristo, el matemático indio Pingala ideó un método muy parecido al sistema binario actual con el fin de clasificar los miles de versos que componían los libros antiguos de la religión hinduista (los Vedas). Y a lo largo de siglos varios matemáticos trabajaron en sistemas similares, como por ejemplo, Francis Bacon, que desarrolló en el siglo XVII un sistema criptográfico basado en este método que pretendía cifrar mensajes.

¿En qué consiste exactamente el sistema binario? Es un sistema de numeración que solo tiene dos dígitos, el cero y el uno. El sistema decimal que usamos habitualmente es de base 10, pues utiliza diez dígitos, del cero al nueve. En cambio, para representar los números con el sistema binario, se utilizan solo dos dígitos, el 0 y el 1.

En ambos sistemas escribimos los dígitos de derecha a izquierda; y a la izquierda van representando sucesivas potencias de la base en orden creciente.

Aquí, por ejemplo, el número 28:

— En el sistema decimal se expresa como 28, un número que indica:

$$2 \times 10^1 + 8 \times 1^0 = 28$$

— Y en el sistema binario se escribe 11100, número que indica:

$1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$ en base 2 y que expresaría

$$(1 \times 2^4 = 16) + (1 \times 2^3 = 8) + (1 \times 2^2 = 4) + (0 \times 2^1 = 0) + (0 \times 2^0 = 0) = 28$$

La razón para que los ordenadores utilicen el sistema binario es que los circuitos electrónicos pueden trabajar con dos niveles de voltaje: uno para dejar pasar la corriente eléctrica (dígito 1) y otro para evitar su paso (dígito 0).



Volviendo a la historia de los ordenadores, en 1832 se creó el prototipo del que sería considerado el primer ordenador de la historia. Su creador, el británico Charles Babbage, fue un ingeniero y matemático que, si bien durante la primera parte de su vida se dedicó al estudio de las matemáticas puras, después se centró en el diseño y creación de este tipo de máquinas y en el año citado de 1832, Babbage desarrolló el proyecto de la máquina analítica, una máquina preparada para realizar cualquier tipo de cálculo mediante un programa que contenía unas instrucciones que se introducían en la máquina. Para ello, la máquina empleaba tarjetas perforadas para la entrada de datos. Este sistema de tarjetas perforadas había sido inventado en el año 1802 por Joseph-Marie Jacquard, un tejedor e inventor francés que lo utilizó para automa-

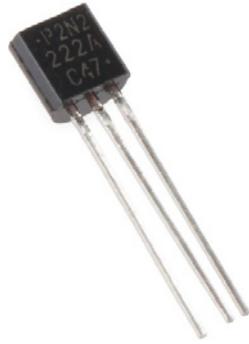
tizar sus telares, creando una máquina capaz de realizar complicados diseños de forma precisa, reduciendo además la mano de obra.

Babbage tuvo en su proyecto la colaboración de Ada Lovelace, con la que además diseñó varios programas para resolver ecuaciones con la máquina analítica. Esta señora fue pionera en el campo de la programación y, en su honor, el departamento de Defensa de EE. UU. denominó ADA a su lenguaje de programación.



En el año 1884, se produjo otro gran hito: Herman Hollerith, inventor germano-estadounidense, creó una máquina que utilizaba tarjetas perforadas con el fin de registrar los datos de manera más rápida que los humanos. Concretamente, creó esta máquina con el fin de solucionar el problema que se planteaba al llevar a cabo el censo de Estados Unidos, que se realizaba cada diez años. Hollerith, que trabajaba para la oficina encargada de realizar dicho censo, se dio cuenta de que el proceso del censo del año 1880 no había terminado aun cuando ya se iniciaban los trabajos del censo de 1890, dado que el volumen de información era ingente y no existía un método adecuado de procesamiento de estos datos. Y para solucionar el problema, Hollerith utilizó un sistema de tarjetas perforadas, unas cartulinas que según estuvieran perforadas o no en determinadas posiciones, daban la información a las preguntas planteadas (sexo, franja de edad, raza, y otros datos para el censo). Estas tarjetas se introducían en una máquina lectora que detectaba las perforaciones y registraba los datos obtenidos y esto permitió que, en el censo de 1890, se tardara solo tres años en perforar 56 millones de tarjetas, agilizando de manera muy significativa el proceso.

En el año 1896, Hollerith fundó su propia empresa, la Tabulating Machine Co., que pasó a llamarse posteriormente Computing Tabulating Recording, y que, tras ser adquirida por Thomas Watson, pasó a llamarse en 1924 International Business Machines, IBM, que hoy es uno de los líderes mundiales en la fabricación de ordenadores.



En el año 1939, al comienzo de la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno británico reunió a un grupo de científicos destacados para que intentaran descifrar los mensajes del ejército alemán. Entre ellos se encontraba el matemático Alan Turing, con la colaboración del ingeniero Thomas Flowers. La máquina resultante, que recibió el nombre de Colossus por su gran tamaño, era capaz de descifrar los mensajes de los enemigos en apenas cuatro horas. De hecho, se cree que los aliados obtenían la información antes de que esta llegara al alto mando militar alemán al que iba dirigida. Según Winston Churchill, el uso de esta máquina fue de enorme utilidad, permitiendo anticipar el fin de la guerra en 18 meses.

Los sistemas computacionales inicialmente funcionaban con relés mecánicos; luego funcionaron con tubos de vacío; más tarde con transistores, dispositivos electrónicos semiconductores capaces de alterar el flujo de corriente para dejarla pasar o no, representando los unos y los ceros del sistema binario; y, finalmente, por circuitos integrados, que se incorporaron a estas máquinas a mediados de la década de 1960, y que permitieron aumentar la capacidad de procesamiento y reducir sus costes de fabricación.



Un circuito integrado (CI) es un pequeño chip o microchip, generalmente hecho de silicio, que contiene circuitos electrónicos que pueden contener a su

vez desde cientos hasta millones de transistores, resistencias y condensadores. Concretamente, en 1 mm², se pueden albergar más de 9 millones de estos componentes. Estos circuitos están protegidos por una carcasa de plástico o cerámica.

La fabricación de estos circuitos integrados no hubiera sido posible sin el silicio, material que cambia su capacidad de dejar pasar o no la electricidad bajo ciertas condiciones, y que es una parte fundamental de los mismos.



La invención del microprocesador por parte de Intel Corporation provocó el nacimiento de la cuarta generación de ordenadores, que dieron lugar a los primeros ordenadores personales. El chip continuó desarrollándose hasta ser capaz de integrar cada vez más circuitos, dando lugar al microchip.

Se produjo en el año 1980 un hecho que cambiaría para siempre la historia de la computación. La compañía IBM, que hasta el momento se había centrado en la creación de grandes ordenadores para empresas (como su propio nombre indica, *International Business Machines*), empezó a interesarse por desarrollar su propio modelo de ordenador personal. Para ello, aunque habitualmente solía desarrollar sus propios productos, en esa ocasión decidió subcontratar la realización del sistema operativo, firmando un acuerdo en el año 1980 con una pequeña empresa emergente norteamericana llamada Microsoft. El sistema operativo se refiere al conjunto de programas que gestionan todos los recursos de la máquina.

Bill Gates y Paul Allen, los fundadores de Microsoft, crearon entonces el MS-DOS, que se convirtió en el sistema operativo más importante de la época. Además, se dio la circunstancia de que en ese contrato entre el gigante IBM y el entonces incipiente Microsoft no se acordó ningún tipo de exclusividad.

Esto se debió a que IBM, como compañía líder del mercado, ya había tenido algunos contenciosos por acusarla de monopolio y de asfixiar a su competencia, lo que permitió a Microsoft vender su producto a otros fabricantes. En el año 1985, la empresa lanzó su sistema operativo Windows basándose en el MS-DOS, lo que acabó por convertir a Microsoft en una de las empresas tecnológicas más importantes del mundo. Así, hoy tiene en la Bolsa de Nueva York (NASDAQ) un valor de 2,17 millones de millones de dólares americanos, el segundo mayor del mundo.



A partir de ese momento, se inicia el proceso de la nanotecnología, gracias a la cual se ha conseguido reducir de una manera muy significativa el tamaño de los ordenadores. De hecho, un *smartphone* (teléfono móvil inteligente) actual, tiene más potencia que uno de los mayores ordenadores de la década de los 80.

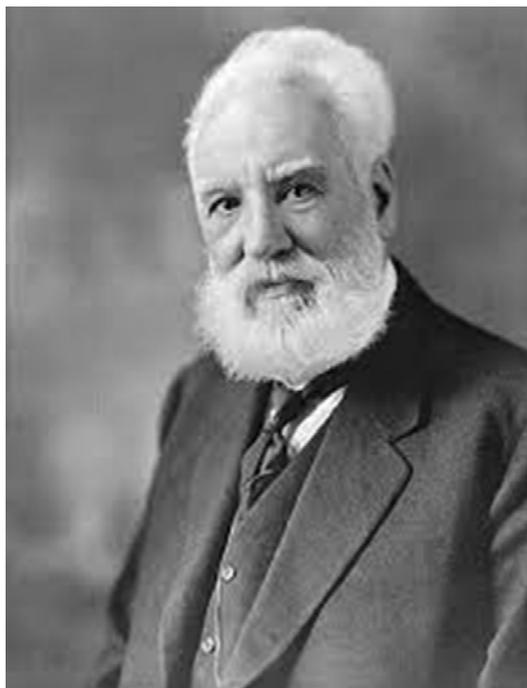
La nueva generación es la llamada computación cuántica, por la necesidad de ordenadores cada vez más potentes y de tamaño más reducido, que han propiciado la aparición de un nuevo escenario de computación. A diferencia de la informática clásica, donde los bits podían tener el valor de 0 o 1, aparecen los qubits, elementos básicos de la computación cuántica que pueden encontrarse simultáneamente en los dos estados, lo que permite que un ordenador con procesadores cuánticos realice en tan solo nanosegundos lo que a un ordenador clásico llevaría meses, ya que su potencia se ve incrementada de manera exponencial. Y si ese incremento fuera del orden de duplicar la capacidad cada año, como en 1965 anticipó Gordon Moore, en un plazo de 50 años la capacidad pasaría a ser dos elevado a 50; es decir, superior a mil millones de millones de veces mayor que la capacidad inicial.

3. LA EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES

Junto al ordenador, el segundo pilar fundamental sobre el que descansa la actual era digital son las comunicaciones.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, la comunicación incluye «la transmisión de señales mediante un código común al emisor y al receptor». Y si bien casi todas las especies poseen un sistema de comunicación propio, es sin duda el ser humano el que ha desarrollado métodos comunicativos más completos.

La necesidad de comunicarse ha dado lugar a la creación de sistemas de transmisión de información cada vez más elaborados. Los primeros indicios surgieron hace más de 30.000 años con las pinturas rupestres. Después, a lo largo de los siglos, surgirían los pictogramas de Egipto y China y las palomas mensajeras en la Antigua Grecia.



La aparición del telégrafo en el año 1833 marcó el inicio de las telecomunicaciones. Más tarde, la patente del teléfono por parte de Graham Bell en el año 1876 supuso un gran avance, ya que los mensajes empezaban a poder transmitirse en el mismo momento, fuera cual fuera la distancia que separaba a los interlocutores. En el año 1897, el ingeniero italiano Guillermo Marconi realizaba la primera transmisión por radio, y este medio en el siglo xx conduciría a la radio de transistores y a la televisión.

Paralelamente, la invención de los ordenadores creó la necesidad de que intercambiaran información entre ellos, lo que dio lugar a la creación de un

sistema de comunicaciones de datos (redes de datos). Y para ello, era imprescindible crear algún dispositivo que permitiera transmitir los ceros y unos del sistema binario (digital) por la red telefónica básica por donde se transmitía la voz, pasando de transmisión analógica a transmisión por ondas. Fue Graham Bell el primero en crear un dispositivo decisivo que se denominó MÓDEM en 1958 y que permitía la modulación (conversión de señales digitales en analógicas) y la demodulación (conversión de las señales analógicas en digitales). De hecho, el término MÓDEM viene de la unión de la parte inicial de dos palabras, MODulador y DEModulador.



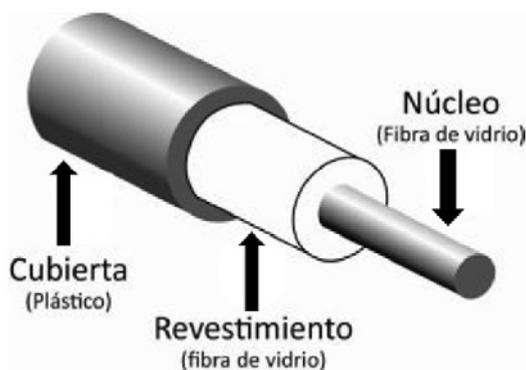
En ese momento, se inició la carrera para conseguir los dos grandes condicionantes de las comunicaciones: ampliar el ancho de banda y al mismo tiempo aumentar la velocidad de transmisión de los datos. Me gustaría destacar, en este punto, que habitualmente se confunde el ancho de banda con la velocidad. El ancho de banda se refiere al volumen de información que se puede enviar a través de una conexión en una unidad de tiempo. Se mide en megabits (unidad que equivale a un millón de bits, unidad que contiene un 0 y un 1 del sistema binario) por segundo (Mbps). Haciendo un símil con una red de agua, podríamos decir que el ancho de banda es el equivalente al caudal. Y por otro lado, la velocidad se refiere a cuán rápido se recibe o descarga dicho caudal de información.

La primera red se creó en el año 1969 y recibió el nombre de ARPAnet. Esta red se implementó para ser utilizada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. A pesar de que el destino de ARPAnet era estrictamente militar, este innovador sistema de comunicaciones pronto atrajo las miradas de diferentes profesionales de todo el mundo, ya que las posibilidades que abría esta nueva tecnología eran realmente muchas, y la aplicación comercial era una de ellas.

Internet, definido por la Real Academia Española como «la red informática mundial, descentralizada, formada por la conexión directa entre computadoras mediante un protocolo especial de comunicación». Es decir, la World Wide Web (WWW), se presentó en el año 1991. Dos años más tarde, el CERN

(Centro Europeo para la Investigación Nuclear) abrió la web para su uso comercial; y a partir de entonces, su expansión fue fulminante, hasta alcanzar los más de 5.000 millones de personas, unos dos tercios de la población mundial, que actualmente usan internet.

Las infraestructuras que hacen posibles las comunicaciones, por el otro lado, han mejorado de manera muy importante. Desde el uso del cobre, que hacía posible las comunicaciones analógicas, hasta llegar a nuestra era digital, con comunicaciones a través de la fibra óptica y comunicaciones sin unión material como las actuales 5G.



La fibra óptica es un medio de transmisión de datos mediante impulsos fotoeléctricos a través de hilos de fibra de vidrio o plástico que tienen un diámetro similar al de un cabello humano. Un cable de fibra óptica contiene cientos de fibras ópticas que permiten transferir señales de datos en forma de luz a cientos de kilómetros de forma significativamente más rápida que los cables eléctricos tradicionales, ya que los cables de fibra óptica no son metálicos y no se ven afectados por interferencia magnética alguna, que reduciría su velocidad de transmisión. Y esos cables de fibra también son más seguros, ya que no conducen corriente y, por lo tanto, no generan cortocircuitos.

Sin duda alguna, las redes de fibra óptica cuentan con grandes ventajas que harán que sigan jugando un papel fundamental en el futuro de las comunicaciones.

El progreso de las comunicaciones 5G (quinta generación) da paso a la nueva era de conectividad inteligente donde se generarán y transmitirán, sin enlace físico alguno, millones de datos a una velocidad nunca experimentada anteriormente y con una latencia (tiempo de respuesta de la red) casi imperceptible para el ser humano, lo cual permite la conexión en tiempo real. Gracias a esta tecnología, el IoT (Internet of Things) posibilita la conexión entre millones de dispositivos como automóviles, robots industriales, mobiliario urbano y muchos otros, lo que

abre las puertas, por ejemplo, a una gestión óptima de los territorios por parte de las Administraciones. La gran cantidad de datos recogidos aportan, por ejemplo, una información valiosísima de cara a la gestión de las ciudades, permitiendo optimizar la recogida de residuos, el alumbrado público o los flujos de tráfico.



Por todo ello, es claro que la obtención de datos en el ordenador y su comunicación son los dos pilares de la actual economía digital. La revista de transformación digital IDC, expone que en la actualidad la mitad del gasto de TI (Tecnologías de la Información) en Europa está asociada al mantenimiento y tratamiento de la información. De acuerdo con las previsiones de esta misma consultora, en el año 2024 se crearán, capturarán, copiarán y consumirán 138 ZB (*zettabytes*) de datos en el mundo. Cada una de estas unidades de almacenamiento equivale a 10^{21} bytes.

Anotamos, en este punto, la equivalencia de estas magnitudes:

- 1 bit es un 0 o un 1 (dígitos del sistema binario).
- 1 byte = 8 bits.
- 1 kilobyte (kB o kbyte) = 10^3 bytes.
- 1 megabyte (MB o Mbytes) = 10^6 bytes.
- 1 gigabyte (GB o Gbytes) = 10^9 bytes.
- 1 terabyte (TB o Tbytes) = 10^{12} bytes.

- 1 *petabyte* (PB o Pbytes) = 10^{15} bytes.
- 1 *exabyte* (EB o Ebytes) = 10^{18} bytes.
- 1 *zettabyte* (ZB o Zbytes) = 10^{21} bytes.
- 1 *yottabyte* (YB o Ybytes) = 10^{24} bytes.

Así, ya hoy la página de internet Worldometers, cuyas fuentes de información proceden de organismos como Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud, aporta información sobre estadísticas en tiempo real de los principales parámetros a nivel mundial. Gracias a ella, podemos saber en tiempo real, es decir, en cada segundo, datos como:

- la población mundial,
- el número de usuarios de internet,
- el número diario de correos electrónicos,
- el de consultas a Google,
- el de ordenadores y teléfonos móviles producidos este año,
- la cantidad de emisiones de CO₂,
- los millones de litros de agua usados este año
- o los años que quedan para que se termine el petróleo, entre otros.

Todos estos datos, y muchísimos más, nos permiten hacernos una idea del mundo totalmente conectado en el que nos encontramos, y de cómo en la actualidad el ser humano puede acceder a la información que necesita desde cualquier punto del mundo y en cualquier momento.

4. EL SILICIO Y SU APORTACIÓN A LA NUEVA ERA DIGITAL

Todos los avances antes comentados en la evolución del ordenador y de las comunicaciones, no habrían sido posibles sin la existencia de un elemento fundamental, el metal silicio, verdadero cimiento que crea y soporta los dos pilares ya comentados del ordenador y de las comunicaciones.

Dada su condición de cimiento de la era digital, hacemos, a continuación, un breve recorrido sobre su carácter, su modo de obtención y sus aplicaciones.

4.1 Orígenes.

El silicio es uno de los elementos químicos más importantes del planeta Tierra. Su nombre deriva del latín «sílex», es un elemento químico que es el material más abundante en la Naturaleza (28%), solo después del oxígeno (47%). Medido en peso, representa así más de la cuarta parte de la corteza terrestre y, de hecho, el 40% de los minerales comunes contienen silicio.

El silicio es un semiconductor; lo que indica que en función de su temperatura, se puede comportar como conductor o como aislante.



Su importancia en la actualidad radica en que forma parte esencial de todo tipo de dispositivos como ordenadores, calculadoras, electrodomésticos o teléfonos móviles. Sin embargo, su importancia no se deriva exclusivamente de sus aplicaciones actuales, sino que además ha venido jugando un papel fundamental desde hace miles de años.

En un primer momento, los hombres prehistóricos utilizaron el silicio en la fabricación de herramientas de corte y utensilios de caza y defensa, como las hachas de sílex, al tratarse de un material muy duro y de aristas afiladas. Posteriormente, hacia el año 3.000 antes de Cristo, y según relató Plinio el Viejo en su obra «Historia natural», se descubrió el vidrio a orillas del río Belus en Fenicia, antigua región de Oriente Próximo que comprendía áreas de las actuales Israel, Siria y Líbano. Y el elemento principal del vidrio es el dióxido de silicio o sílice, químicamente SiO_2 , que es una combinación de oxígeno y silicio.

El descubrimiento del silicio para aplicaciones industriales, sin embargo, exigió un largo proceso que se extendió durante siglos. En 1787, el químico francés Antoine Lavoisier identificó que la sílice era un compuesto que contenía oxígeno junto a otro elemento, probablemente un metal. Más tarde, en el año 1808, el químico británico, Sir Humphry Davy, intentó descomponerlo sin éxito. En el año 1811, los químicos franceses Joseph Gay Lussac y Louis Jacques Thénard fueron capaces de obtener una forma impura del elemento. Y fue en el año 1824 cuando Jöns Jacob Berzelius, químico sueco considerado uno de los padres de la química moderna, fue capaz de aislar el silicio.

4.2 Proceso de obtención.

El primer paso esencial del proceso de la purificación del silicio es la obtención del silicio metalúrgico, para lo cual se necesita:

- Disponer de una materia prima, el cuarzo, que es SiO_2 (óxido de silicio) con impurezas.

- Disponer de materiales (carbón y madera) adecuados en sus características.
- Separar el silicio del oxígeno y de muchas impurezas mediante una combustión, calentándolo a 2000°C en un horno eléctrico. Al romperse los enlaces entre el silicio y el oxígeno, se produce óxido de carbono (el hoy perseguido CO_2) y el silicio queda aislado, con algunas impurezas.

En ese proceso el horno es un cilindro grande, con diámetros del orden de diez metros, en el que se introduce el cuarzo, con carbón y madera adecuados, y en el interior del horno se sitúan tres electrodos (cables muy gruesos con diámetros del orden de un metro) por los que circula la corriente eléctrica trifásica (una fase en cada electrodo), con lo que se producen corrientes de cortocircuito entre los electrodos y a través de la carga de granito, que se funde (se hace líquida) a temperaturas de 2000 grados centígrados, con separación de muchas impurezas y del óxido de carbono, quedando el metal silicio con algunas impurezas.

El silicio que obtenemos tras este proceso tiene una pureza aproximada del 99%, y puede utilizarse para la fabricación de siliconas y para unirlo al aluminio, al que el silicio aporta dureza; y así todo lo que usamos como aluminio es una mezcla de aluminio y silicio.

Para otros tipos de aplicaciones, es necesario someter al silicio a procesos adicionales para obtener versiones de mayor pureza.

Los métodos de obtención del silicio más purificado, como por ejemplo, el proceso Siemens, que se llama así porque es el método que la empresa alemana desarrolló durante la década de los 60 del siglo pasado, exigen un mayor gasto añadido de energía. El silicio resultante de esos procesos de purificación ya está preparado para ser utilizado en aplicaciones electrónicas, que exigen impurezas inferiores a 1 ppm (una parte por millón). Y también puede ser ya utilizado en los paneles de las instalaciones fotovoltaicas, donde el requerimiento de impurezas es de máximo 10 ppm (diez partes por millón).

Y todos estos procesos de purificación exigen unos mayores gastos de energía.

4.3 Aplicaciones.

En la actualidad, el silicio es esencial en muy diversas aplicaciones, como por ejemplo:

1. el aluminio, que mejora sus características aliándose con silicio, que le aporta la necesaria dureza;

2. toda la química de las siliconas;
3. la producción de hormigones de altas prestaciones (que alcanzan del orden de 1.000 Kg/cm² de resistencia) mediante la aportación de microsílíce;
4. la energía fotovoltaica, donde el silicio es la materia prima de los paneles que producen la energía a partir de la luz del sol,
5. las nuevas tecnologías (como los circuitos impresos de ordenadores y comunicaciones),
6. y recientemente las baterías de los automóviles eléctricos, pues el desarrollo de estos ha impulsado la necesidad de crear un nuevo tipo de baterías eléctricas de mayor potencia, menor peso, más rapidez de carga y más ciclos de vida, que exigen la aportación de silicio con cualidades específicas y muy bajo en impurezas.

En efecto, las baterías para coches eléctricos se componen de un conjunto de pilas cilíndricas. Una batería puede tener unas 4.000 pilas y cada una da una cierta energía eléctrica. En su conjunto, dan una energía eléctrica que puede ser de 70 ó 100 Kwh para un coche TESLA normal. La tecnología va avanzando en busca de baterías de mayor autonomía y que se recarguen en el menor tiempo posible. Ahora las mejores permiten alcanzar una autonomía cercana a los 400 km y se recargan en unos veinte minutos. El objetivo es aumentar su autonomía y disminuir el tiempo de recarga hasta igualar al de los coches de gasolina, alcanzando los 1.000 km de autonomía con un tiempo de recarga de diez minutos.

Estas baterías han empezado a producirse con litio y grafito, y hasta ahora llevan unos 70 kg de este último material, pero ese grafito se puede sustituir con grandes ventajas por el silicio, que tiene más capacidad de carga y permite sustituir 70 kg de grafito por 6 kg de silicio para una batería de unos 70 Kwh de energía.

Así pues, como se puede observar, sin el silicio no habría sido posible alcanzar los pilares (ordenadores y comunicaciones) de la hoy denominada era digital, por lo que el silicio es su verdadero cimiento.

5. REFLEXIONES FINALES

Estamos en un mundo donde se ha generado una dependencia total de la tecnología.

La pandemia producida por el coronavirus (covid-19), en primer lugar, supuso una reducción en la producción de buena parte de los productos industriales debido al confinamiento que se produjo en la mayoría de los países y que implicó la parada y la reducción de ritmo de muchas fábricas. Mientras

tanto, la demanda de otros productos –como los dispositivos tecnológicos (ordenadores, tabletas, teléfonos móviles y otros)– se incrementó vertiginosamente, debido al auge del teletrabajo y a la necesidad del suministro de la mayor parte de los productos básicos a través de internet.

A medida que se ha ido saliendo de la situación de confinamiento, se ha ido produciendo un brusco aumento de la demanda de productos industriales, obligando a sectores, como el de la automoción, a reactivarse con gran rapidez, no siendo capaces de dar respuesta a su nueva gran demanda. Este sector de la automoción ha sido uno de los más afectados por esta crisis, ya que su producción se basa en gran parte en dispositivos tecnológicos, y además, en el sistema organizativo utilizado en esta industria, con el *Just in Time*, los suministros llegan a la fábrica muy poco antes de usarlos y solo en las cantidades necesarias en cada momento, lo que si bien evita la necesidad de mayores almacenamientos y reduce costes, no permite dar una respuesta rápida ante una crisis de suministros como la actual.

Por otro lado, hay que tener en cuenta el problema de la logística, sobre todo en el transporte marítimo, donde se han producido cuellos de botella que han retrasado mucho las expediciones y que han hecho que este tipo de transporte haya visto incrementado su coste en ocasiones hasta en cinco o diez veces.

Estos factores, unidos además al aumento de los costes de la energía, han hecho que esta crisis de suministros esté alcanzando niveles históricos, poniendo en riesgo el bienestar social.

En el mundo totalmente globalizado en el que vivimos, y a la vista de estos problemas, es obligado reconocer, primero, para reflexionar, luego, sobre la dependencia que Occidente tiene de la producción de Oriente y especialmente de China.

5.1 La dependencia en materias primas de Oriente y especialmente de China.

Europa, desde mediados de la década de los 90 del siglo pasado, decidió derivar la mayoría de su producción a Asia, buscando costes más competitivos, debido, entre otras cosas, al bajo coste de la mano de obra y a las menores exigencias ecológicas. De este modo, la Unión Europea pasó a tener una gran dependencia de los mercados exteriores que, como estamos experimentando durante este periodo, puede llevarnos a muy graves problemas.

Por ejemplo, en el metal silicio que como se ha expuesto es un material absolutamente fundamental, verdadero cimiento de esta era digital, en el

año 2021 el mayor productor mundial de este elemento fue China con una producción de 2.010.000 toneladas.

Y en ese mismo año 2021 las capacidades de producción de las demás empresas del mundo, excluyendo China, fueron (con datos oficiales de CRU, Commodities Reserach Unit):

Empresa	Tn
Ferroglobe.	363.000
Elkem.	170.000
Dow (incluso joint ventures).	207.000
Waker (alemana).	78.000
Liasa (Sudáfrica).	60.000
Rima.	68.000
Otras menores.	348.000
Total.	1.294.000

De este total, 636.000 Tn fueron producidas para su consumo por sus mismos productores. Y por tanto quedaron disponibles para atender a todo el resto del mercado solo 658.000 Tn, de las que Ferroglobe aporta más de la mitad.

Fuera de China, las dos empresas más avanzadas en tecnología del metal silicio son Ferroglobe y Elkem.

Ferroglobe es empresa controlada por España, con el 48,7% propiedad del Grupo Villar Mir, que fue comprando la española Ferroatlántica en 1992, la francesa (líder en Europa) Pechinen en 2005 y la americana GSM (líder de América) cotizada en el Nasdaq en 2015, más otras en África del Sur en 2008, Canadá en 2015 y China en 2010, con un total de 27 fábricas en 9 países.

Por su lado, Elkem, empresa que era propiedad de una familia noruega, ha sido ya comprada por el Grupo Estatal chino Blue Star, aunque sigue cotizando en la Bolsa de Oslo. Y la inglesa Dow autoconsume toda su producción en su propia fabricación de siliconas.

Y con todo ello la española Ferroglobe es reconocida, excluyendo China, como la líder mundial en tecnología y en producción vendible en el mercado.

La situación comercial con China ha provocado que el precio del silicio se haya incrementando en más de un 200%, impactando enormemente en el mercado de los microchips y afectando a la economía mundial.

Este ejemplo y otros muchos, con dependencia asiática de la Unión Europea indican que es necesario trabajar en la reindustrialización de Europa, y más en concreto, en la de nuestro país. No solo para ser menos dependientes en situaciones de emergencia, como la que estamos viviendo, sino también porque la producción local tiene asociadas grandes ventajas, como:

- la elevación del nivel de vida, ya que la industria tiene los más altos niveles de salarios y de innovación en todos los países;
- la creación de empleo en el propio territorio;
- y la cercanía al consumidor que permite dar una respuesta más rápida y adecuada a sus necesidades, evitando el transporte desde largas distancias.

En una sociedad en la que la preocupación por el cambio climático ya no es ajena a nadie, el consumidor debería estar dispuesto, y hoy no lo está, a pagar algo más por un producto de cercanía y más ecológico que por uno fabricado en otro país, haciéndose consciente del valor añadido de la producción local.

La solución pasa por invertir también en procesos de automatización que produzcan una mejora de la productividad y hagan a nuestras industrias más competitivas. Y en nuestro país contamos además con una situación geográfica privilegiada que nos favorece mucho a nivel energético, gracias a las posibilidades de desarrollo de la energía solar.

5.2 La necesidad de una OTAN ampliada y económicamente muy robusta.

La «guerra de Ucrania» ha demostrado el riesgo de la existencia de países comunistas, como China, y autoritarios, como Rusia, en ambos casos países no democráticos. Y ha demostrado también la necesidad de una clara «superioridad económica» para limitar las agresiones.

Hoy afortunadamente la capacidad económica de Estados Unidos y Canadá, más la Unión Europea y el Reino Unido dan un poder económico muy superior al de Rusia; y también superior claramente a la posible suma de Rusia y China, en su caso. Pero hacia el futuro sería conveniente una Alianza más amplia, como la actual OTAN ampliada con Suecia y Finlandia, e incorporando además Japón, Australia, Taiwán, Corea del Sur, Brasil, México, Argentina, Sudáfrica y cualesquiera otros países realmente democráticos; de modo que esa «Alianza Democrática Ampliada» garantizara una clara mayoría económica sobre el conjunto del planeta Tierra y también una suficiencia de materias primas y de tecnología en los países democráticos de la «Alianza», impulsando especialmente el comercio entre estos. Y manteniendo siempre una clara superioridad de poder económico y también de tecnología y de materias primas de la «Alianza»

Democrática Ampliada» (ADA) sobre el conjunto de los países no democráticos del planeta Tierra.

Dentro de esa «Alianza Democrática Ampliada» deberían establecerse normas de apoyo recíproco obligado, entre todos sus componentes, para evitar, como hoy sucede, que algún país –como hoy viene haciendo Alemania– con sus compras a Rusia de carbón, petróleo y gas esté financiando nada menos que la capacidad bélica de Rusia para destruir Ucrania. Y eso, a pesar de ser Alemania uno de los países más ricos del mundo, con capacidad sobrada para adquirir de otros países, no totalitarios, sus necesidades energéticas, aunque la solución alternativa tuviere un mayor coste, quizá del orden de un 5% de su PIB, que Alemania recuperaría en un plazo de uno a dos años.

El ejemplo citado, de Alemania financiando la capacidad bélica de un país totalitario para destruir a otro democrático, indica que hoy la Unión Europea y el conjunto de la OTAN viven una situación contradictoria y absurda. Y así un conjunto de países aliados y democráticos están apoyando a Ucrania con dinero y material de guerra contra Rusia, mientras uno de los más ricos países democráticos y de la OTAN está ayudando a Rusia, en su destrucción de Ucrania, con cantidades muy superiores a las ayudas concedidas a Ucrania.

Y todo lo expuesto demuestra que sigue siendo verdad el aforismo romano «si vis pacem para bellum». Y que hoy, un mundo mucho más conectado y globalizado, exige –para preservar la paz y la democracia– acuerdos rigurosos y vinculantes a nivel global referidos a todo el planeta Tierra; acuerdos que Estados Unidos y la Unión Europea podrían y deberían estudiar, liderar y establecer. Y ello sin olvidar los esperados avances en la investigación sobre la Luna y Marte, que generarán progresos sustantivos con aplicaciones posteriores en otros sectores.