



com CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17

Nº 17 MAYO 2016

SIMPLEMENTE CIENCIA



Redacción

DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Blanca Bauluz Lázaro
- Ángel Francés Román
- Cristina García Yebra
- Luis Teodoro Oriol Langa
- María Luisa Sarsa Sarsa
- María Antonia Zapata Abad

Edita

Facultad de Ciencias,
Universidad de Zaragoza.
Plaza San Francisco, s/n
50009 Zaragoza

e-mail: web.ciencias@unizar.es

IMPRESIÓN: GAMBÓN Gráfico, Zaragoza.

DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)

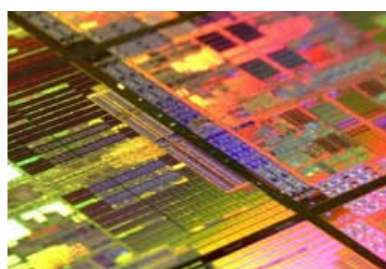
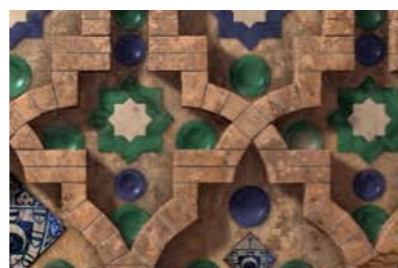
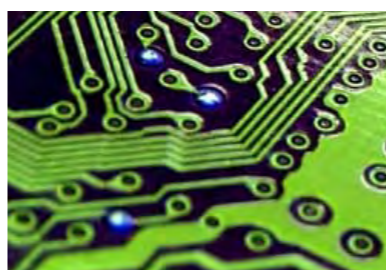
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: Fotografía ganadora del Premio San Alberto Magno, edición 2015
(*Materia Oscura*, por Ana Serrano).

La revista no comparte necesariamente las opiniones de los artículos firmados y entrevistas.

Editorial	2
Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II) Gabriel Pinto, Manuela Martín y María Teresa Martín	4
La era del silicio. De la arena al microprocesador Concepción Aldea	22
Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible? Beatriz Rodríguez	42
Una nueva política educativa Ana Isabel Elduque	58
El Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza José Ignacio Canudo	68
Ars Qubica, el patrón geométrico de la belleza Pedro J. Miana, Fernando Corbalán, Luis Rández, Beatriz Rubio y Cristóbal Vila	86
La Química en mi vida Miguel Carreras Ezquerria	98
La Ciencia explicada a los Niños Hoy... "Ondas Gravitacionales" Fernando Bartolomé y Dani García-Nieto	110
In Memoriam	114
Noticias y actividades	118



Simplemente CIENCIAS

Hola a todos una vez más. Nos encontramos en este número de primavera de conCIENCIAS. Ya empezamos a ser viejos conocidos y no precisamos mayor presentación. Desde el equipo directivo de la revista, bienvenido lector a un nuevo número.

En este número nos encontramos con un par de artículos que nos cuentan mucho de cómo ha sido el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología durante el pasado siglo. Las conferencias Solvay, desarrolladas a principios del siglo XX fueron uno de los puntos de encuentro científicos más importantes nunca ocurridos. Quizá la Ciencia era entonces más pequeña, pero su capacidad de convocatoria era casi tan grande como la gloria de sus asistentes. Nunca nos cansaremos de aprender más sobre ellos. Pero si algo ha transformado nuestras vidas, especialmente en el último tercio del siglo XX, eso ha sido la Electrónica. La profesora Aldea nos narra de forma vibrante aquellos momentos iniciales donde nacieron hombres y nombres sin los cuales hoy no comprenderíamos nuestra sociedad.

Como es habitual, todos sabéis la especial predilección de esta revista por mostrar que la Ciencia supera con mucho la frialdad de complejas ecuaciones, fórmulas o asépticos laboratorios. Muchas otras actividades humanas son tan científicas como un teorema. Y el arte es claro ejemplo de ello. Los patrones de belleza, desde el inicio de la civilización, están siempre muy relacionados con la simetría. No os perdáis el artículo "Ars Qubica, el patrón geométrico de la belleza". Pero si el hombre genera hermosura, nuestra gran madre Naturaleza no lo hace en menor cuantía. Comprobadlo por vosotros mismos y haced una visita al Museo de Ciencias Naturales de la Universidad

de Zaragoza. Después del recorrido que nos anticipa su director, Iñaki Canudo, la visita real será incluso más atractiva.

Estamos en un mundo en el que la energía ya se nos ha mostrado escasa. Las fuentes convencionales tienen sus días contados. Ya no queda más recorrido para la controversia. Pero su sustitución por fuentes renovables no es suficiente si no viene acompañada por una racionalización del consumo. Sea del origen que sea, el no aprovechamiento adecuado de la energía solo puede llamarse despilfarro. Nos toca, entonces, hacer un nuevo enfoque del uso de las fuentes energéticas: un uso eficiente. Y, la construcción y el uso doméstico son dos grandes consumidores que debemos racionalizar. Beatriz Rodríguez nos da pistas de cómo.

Miguel Carreras Ezquerro es un clásico en la divulgación científica en nuestra ciudad y más allá. En su artículo nos cuenta sus experiencias vitales. Pero también podremos apreciar entre las líneas que nos ha dedicado su alegría a esta dedicación, a la Ciencia en general y a la Química en particular. Gracias Miguel por todos estos años de dedicación.

Desde este foro también hemos querido aportar algo a la compleja situación sociopolítica que vive el país, especialmente desde aquello que nos es más cercano, la educación. Un pequeño tránsito por los programas de los partidos que se presentaron, el pasado mes de diciembre, a las

"Todos sabéis la especial predilección de esta revista por mostrar que la Ciencia supera con mucho la frialdad de complejas ecuaciones, fórmulas o asépticos laboratorios".



"Isomorfismo" por Daniel Ruíz (Premio de fotografía San Alberto Magno).

elecciones pone de manifiesto que todavía estamos lejos de poder pensar en implantar un sistema educativo ajeno a luchas partidistas, con un gran consenso de la comunidad educativa, y, sobre todo, con el nivel de exigencia que requiere un país moderno y avanzado como es y debe ser España. Este artículo fue publicado en forma resumida en el periódico Heraldo de Aragón hace algunos meses, pero hemos considerado conveniente hacerlo también aquí en forma más extensa.

En este número estrenamos una sección. La divulgación científica tiene muchas formas de llevarse a cabo y nosotros así lo pensamos. En este caso, y siguiendo el ejemplo de la revista satírica que nunca sale el día de su nombre, hemos elegido un título, pero teníamos más. La nueva sección se llama "La Ciencia contada a los niños", pero podría haber sido también "La Ciencia contada a los jóvenes", "La Ciencia contada a los científicos"... Y, ya ves querido lector que siempre estamos a la última, comenzamos con las ondas gravitacionales. A todos


aquellos que admiráis y queréis emular a Hergé, a Uderzo o a Ibáñez os animamos a que nos ayudéis a seguir contando la Ciencia. Aquí tendréis un espacio abierto.

Ya ves lector que seguimos esforzándonos para que la revista sea variada y atractiva. Es tu momento de leerla y que nos des tu dictamen. Hasta el próximo número.

Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS



LAS CONFERENCIAS SOLVAY: UNA OPORTUNIDAD PARA LA DIDÁCTICA (PARTE II)



“Las Conferencias Solvay pueden ser la base de estudio de biografías de interés para alumnos de distintos niveles educativos”.

**POR GABRIEL PINTO,
MANUELA MARTÍN
Y MARÍA TERESA MARTÍN**

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II)

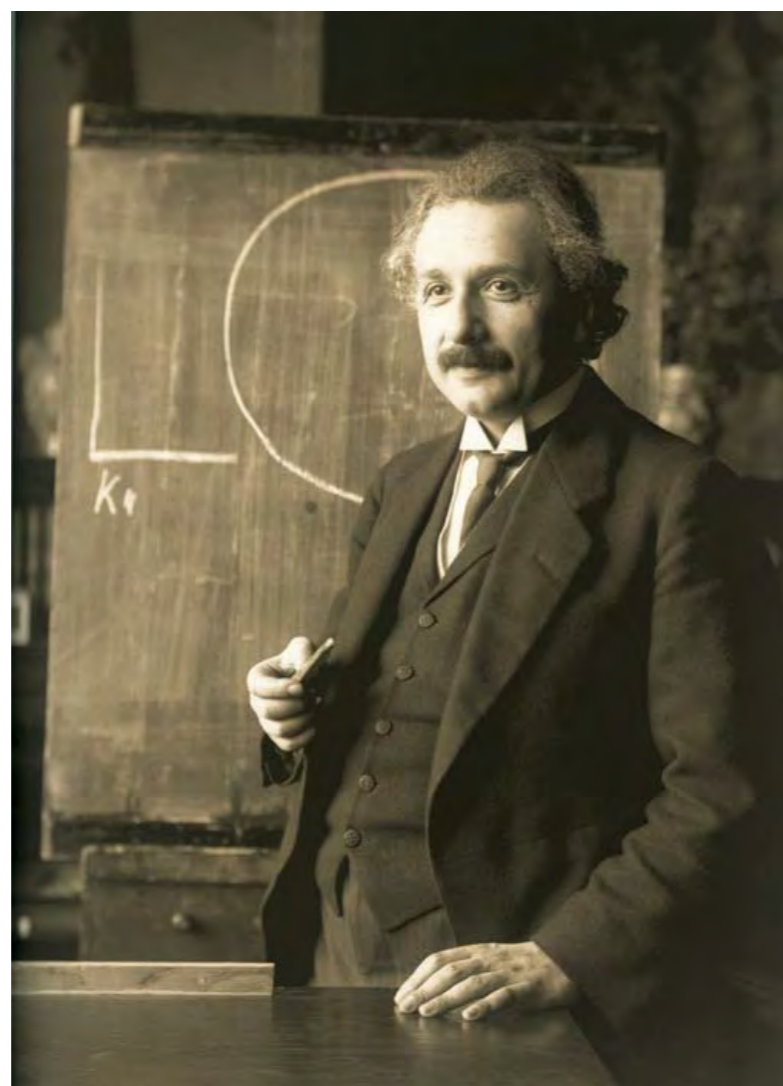
E LAS CONFERENCIAS SOLVAY DESDE EL FINAL DE LA I GUERRA MUNDIAL A LA ACTUALIDAD

En un artículo anterior se resumieron algunas cuestiones sobre las dos primeras Conferencias Solvay de Física, celebradas en 1911 y 1913.¹ En la tercera, celebrada en 1921, pese a la insistencia de Lorentz, franceses y belgas boicotearon a los científicos alemanes y austriacos. Incluso Einstein (pacifista reconocido) fue cuestionado. Rutherford indicó: "el único alemán invitado fue Einstein, que se consideró como siendo internacional". Por su parte, Tassel, refiriéndose a Einstein, señaló que era "de nationalité mal définie, suisse, je crois". En todo caso, Einstein no asistió por estar en Estados Unidos recabando fondos para la Universidad de Jerusalén. En la Conferencia se constató el gran progreso que se había conseguido sobre el conocimiento de la estructura atómica, a pesar de la guerra. Así, se ratificó como válido, para interpretar los resultados experimentales, el modelo atómico de Rutherford, pro-

"Por solidaridad con los científicos alemanes, Einstein declinó también la invitación para asistir a la IV Conferencia de Física, celebrada en 1924".

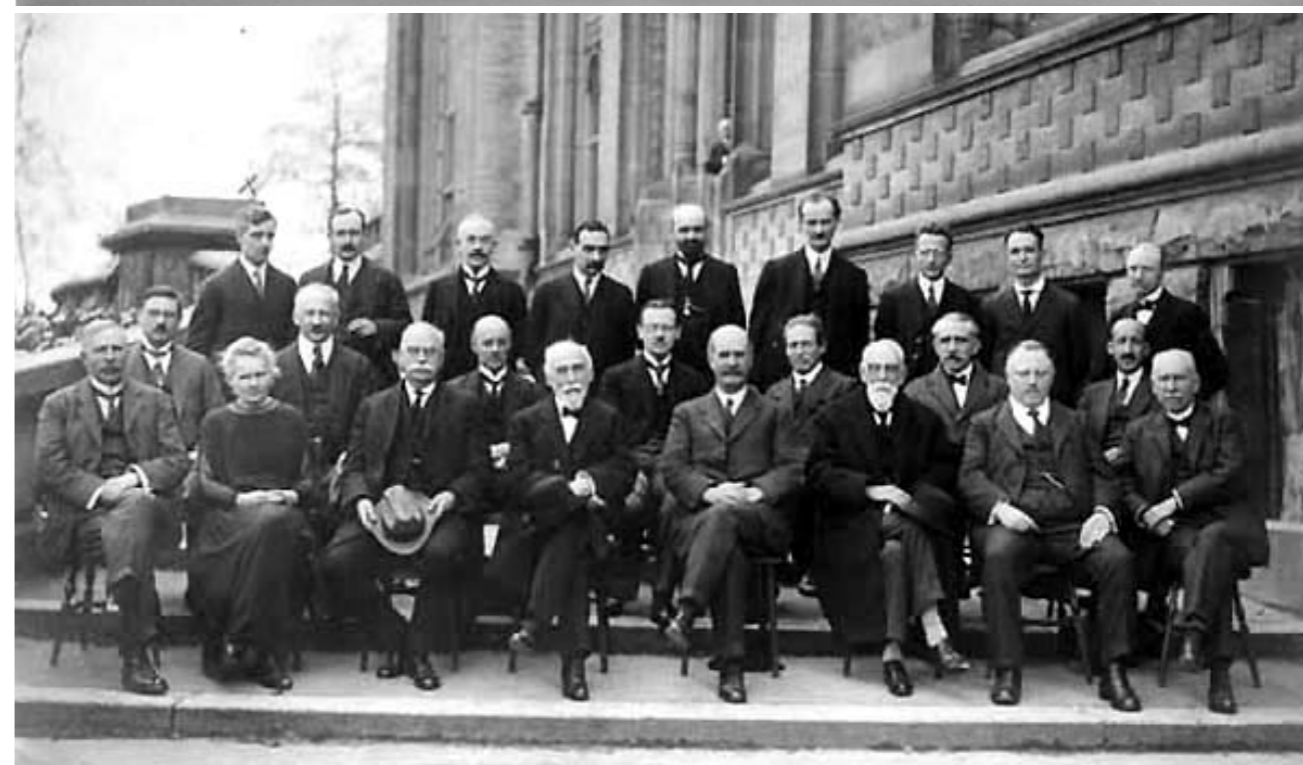
Albert Einstein (1879-1955).

en.wikipedia.org



puesto una década antes. Como ejemplo de ambiente de discusión, al remarcar Rutherford la diferencia entre la masa del núcleo de helio y cuatro veces la del protón, Perrin plantea por primera vez el origen de la energía de las estrellas: "Cela implique, en admettant la formule d'Einstein sur la pesanteur de l'énergie, une perte d'énergie (qui ne peut se produire) que par rayonnement. (...) Je vois dans ce rayonnement l'explication du problème de la chaleur solaire". Bohr no pudo asistir, pero su trabajo lo presentó Ehrenfest.*

Por solidaridad con los científicos alemanes, Einstein declinó también la invitación para asistir a la IV Conferencia de Física, celebrada en 1924, donde se abordaron esencialmente cuestiones relacionadas con la conductividad



eléctrica de metales. La V Conferencia de Física, que tuvo lugar en 1927 simbolizó la concordia con los científicos alemanes. Como ya se indicó en la primera parte de este trabajo, se considera la reunión más emblemática de estas características, dado que supuso un avance que consagró el paso de la "antigua teoría de los cuantos" (intuitiva y titubeante) a la Mecánica Cuántica. Por ello es de la que existe más bibliografía.¹

Las Conferencias de Física de 1930 y 1933 profundizaron en el tratamiento cuántico del magnetismo y en la estructura y propiedades de los núcleos atómicos, respectivamente.

Conferencia Solvay de 1921 (arriba) y de 1924 (abajo).

de.academic.ru (arriba)
physika.info (abajo)

* Nota aclaratoria de la primera parte de este trabajo: en el tercer párrafo de la pág. 56, donde pone "ácido sulfhídrico" debería poner "ácido clorhídrico".

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II)



La V Conferencia de Física (1927).

www.mybike.gr

En cuanto a las Conferencias Solvay de Química, se inician en 1922. En la primera, los participantes representaban todas las ramas de esta ciencia e incluía a varias generaciones, de Henry Edward Armstrong (1848-1937) a su discípulo Thomas Lowry (1874-1936). Muchos asistentes eran químicofísicos y, de ellos, Perrin y Bragg (padre) habían acudido también a la de Física del año anterior. La primera no estuvo dedicada a ningún tema específico (en el título se indicaba que se tratarían "cinco cuestiones de actualidad") y predominaron en ella discusiones fisicoquímicas. Por ejemplo, si desde la teoría atómica de Dalton (1808) parecía que cada peso atómico era una constante de la naturaleza, ahora se constataba que dependía de los

isótopos. Se validó la importancia de la determinación de la estructura molecular por difracción de Rayos X. Fue la última Conferencia a la que asistió Ernest Solvay, pues fallecería ese mismo año.

Las tres primeras Conferencias de Química, celebradas en 1922, 1925 y 1928 (a las que no asistieron ni científicos alemanes, por lo ya indicado, ni americanos) son una muestra del cambio de rumbo que tomaría esta ciencia en esos años: en el siglo XIX la preocupación fundamental había sido el análisis químico (composición), así como el aislamiento y la descripción de elementos y sus propiedades. Con el nuevo siglo, la dinámica molecular y la Química Física pasaron a figurar en el centro de la disciplina.

Desde la generación de Lavoisier, donde había habido un interés común con los físicos, los químicos se fueron distanciando de cuestiones de filosofía natural. Kant llegó a escribir que la

Química nunca sería una ciencia genuina, conocimiento verdadero, porque no tenía sistematización deductiva. En el siglo XX, sin embargo, cambió el interés de los químicos hacia la Termodinámica y hacia la aplicación de iones y electrones para explicar la reactividad. En las primeras Conferencias Solvay de Química hay dos grupos.²

- El grupo inglés (principalmente Lowry, Lapworth, Robinson e Ingold) o de Química dinámica, se destacaba por su interpretación iónica y electrónica de los mecanismos de reacciones orgánicas. Propusieron nuevas definiciones de no-metales, metales y metaloides basadas en aspectos como covalencia, ionización y compartición de electrones.
- El grupo francés (liderado por Perrin y Job) desarrolló una hipótesis generalizada de la radiación en relación con la energía de activación.

Ambos grupos compartían la necesidad de aplicar la teoría física a problemas químicos, así como de desarrollar una Química teórica complementaria a la física teórica, para aplicar las teorías contemporáneas de la Física a los "viejos" problemas planteados por la Química.



“Desde la generación de Lavoisier, donde había habido un interés común con los físicos, los químicos se fueron distanciando de cuestiones de filosofía natural”.



A) Antoine Lavoisier (1743-1794).
B) Conferencia de Física de 1930.

fineartamerica.com (A)
losmundosdebrana.wordpress.com (B)

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II)



I Conferencia de Química, 1922.

en.wikipedia.org

“En 1933 y 1937 se celebraron las últimas Conferencias Solvay de preguerra (de Física y de Química, respectivamente)”.

En 1933 y 1937 se celebraron las últimas Conferencias Solvay de preguerra (de Física y de Química, respectivamente). Después de la II Guerra Mundial, se cedió la organización de las Conferencias a la *Université Libre de Bruxelles*, con otro espíritu y estilo. Terminó así el papel específico de las Conferencias Solvay en la Historia de la Ciencia. Ya a partir de los años cuarenta, los eventos internacionales se multiplican y se intensifica la colaboración entre científicos (al menos en cada uno de los dos bloques en que se dividió el mundo con la guerra fría). En todo caso, el prestigio de las Conferencias Solvay que se celebran todavía en Bruselas se mantiene, con la presencia ya habitual (hace años) de numerosos científicos americanos.

Se han convocado en ciclos trienales, en los que se celebra una Conferencia de Física (iniciadas en 1911) el primer año, una de Química (iniciadas en 1922) el año siguiente, y el tercer año no se prepara ninguna. Un comité científico internacional define un tema general y la selección del director (*chair*), destacando el énfasis que se dará a las discusiones sobre las presentaciones. Solo se puede participar por invi-

CONFERENCIAS SOLVAY DE FÍSICA

Nº	AÑO	TÍTULO	CHAIR
1	1911	La théorie du rayonnement et les quanta	Hendrik Lorentz (Leiden)
2	1913	La structure de la matière	
3	1921	Atomes et électrons	
4	1924	Conductibilité électrique des métaux et problèmes connexes	
5	1927	Électrons et photons	
6	1930	Le magnétisme	Paul Langevin (París)
7	1933	Structure et propriétés des noyaux atomiques	
8	1948	Les particules élémentaires	William Lawrence Bragg (Cambridge)
9	1951	L'état solide	
10	1954	Les électrons dans les métaux	
11	1958	La structure et l'évolution de l'univers	
12	1961	La théorie quantique des champs	J. Robert Oppenheimer (Princeton)
13	1964	The Structure and Evolution of Galaxies	
14	1967	Fundamental Problems in Elementary Particle Physics	R. Møller (Copenhage)
15	1970	Symmetry Properties of Nuclei	Edoardo Amaldi (Roma)
16	1973	Astrophysics and Gravitation	
17	1978	Order and Fluctuations in Equilibrium and Nonequilibrium Statistical Mechanics	Léon van Hove (CERN)
18	1982	Higher Energy Physics	
19	1987	Surface Science	F. W. de Wette (Austin)
20	1991	Quantum Optics	Paul Mandel (Bruselas)
21	1998	Dynamical Systems and Irreversibility	Ioannis Antoniou (Bruselas)
22	2001	The Physics of Communication	David Gross (Santa Bárbara)
23	2005	The Quantum Structure of Space and Time	
24	2008	Quantum Theory of Condensed Matter	Bertrand Halperin (Harvard)
25	2011	The Theory of the Quantum World	David Gross (Santa Bárbara)
26	2014	Astrophysics and Cosmology	Roger Blandford (Stanford)

tación, si bien, desde 2005, algunas sesiones están abiertas a un público más amplio.

En las tablas se recogen los títulos de las Conferencias Solvay de Física y de Química, celebradas hasta el presente. Se han respetado los nombres oficiales de las conferencias y sus directores o presidentes (*chair*), con objeto de apreciar aspectos como:

- La prevalencia inicial del francés frente a otros idiomas. Junto con el alemán, eran

lenguas de amplio uso por la comunidad científica, hasta que, a partir de los años sesenta, ese papel lo ha venido desempeñando, y cada vez de forma más acusada, el inglés.

- La predominancia de directores europeos hasta los años sesenta, donde pasa a ser estadounidense.
- Existen una serie de años donde no se celebran conferencias. En concreto en los años 1914-1920, y 1934-1947 para las de Física y

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II)

entre 1938 y 1946 para las de Química. Se trata de los periodos correspondientes a las guerras mundiales.

- Los temas tratados de Física son esencialmente la Estructura de la Materia, propiedades de las sustancias, mecánica cuántica, estructura y evolución del universo. En Química, se han enfocado esencialmente hacia aspectos fisicoquímicos y de Bioquímica.

CIENCIA, GUERRA Y ÉTICA

Como ya se ha indicado, la tercera Conferencia Solvay de Física, prevista para 1914, no tuvo lugar hasta siete años después, a causa de la guerra. Es un punto importante que puede servir para tratar con los alumnos sobre estos dos aspectos, guerra y ciencia, tan significativos en la Historia de la Humanidad. En concreto, y en relación a las Conferencias Solvay y otros con-

gresos internacionales, se puso de manifiesto con la I Guerra Mundial cómo de una idea de la Ciencia con predominancia europea y con un afán de internacionalismo, a veces retórico y acompañado de cierta rivalidad nacionalista, cuyos beneficios debían ser compartidos entre las naciones, se pasó a considerarla como un objetivo nacional patriótico. En el caso que nos ocupa, la guerra demostró el poderío de la industria alemana y, de forma muy especial, el sector de la Química.

Aparte de otros actos, el 25 de agosto de 1914 varios incendios asolaron la ciudad belga de Lovaina, ocupada por los alemanes una semana antes. El fuego duró tres días y las fuerzas ocupantes no permitieron su extinción. Entre otros efectos, resultó estremecedor cómo se asoló la emblemática biblioteca de la Universidad de dicha ciudad. Otro punto de inflexión que aterrorizó a muchos científicos europeos

Soldados británicos durante la I Guerra Mundial.

www.independent.co.uk



CONFERENCIAS SOLVAY DE QUÍMICA			
Nº	AÑO	TÍTULO	CHAIR
1	1922	Cinq Questions d'Actualité	William Jackson Pope (Cambridge)
2	1925	Structure et Activité Chimique	
3	1928	Questions d'Actualité	
4	1931	Constitution et Configuration des Molécules Organiques	
5	1934	L'Oxygène, ses réactions chimiques et biologiques	
6	1937	Les Vitamines et les Hormones	Frédéric Swarts (Gante)
7	1947	Les Isotopes	Paul Karrer (Zúrich)
8	1950	Le Mécanisme de l'Oxydation	
9	1953	Les Protéines	
10	1956	Quelques Problèmes de Chimie Minérale	Alfred Rene Ubbelohde (Londres)
11	1959	Les Nucléoprotéines	
12	1962	Transfert d'Energie dans les Gaz	
13	1965	Reactivity of the Photoexcited Organic Molecule	
14	1969	Phase Transitions	
15	1970	Electrostatic Interactions and Structure of Water	
16	1976	Molecular Movements and Chemical Reactivity as conditioned by Membranes, Enzymes and other Molecules	
17	1980	Aspects of Chemical Evolution	Ephraim Katchalski (Rehovot) y Vladimir Prelog (Zúrich)
18	1983	Design and Synthesis of Organic Molecules Based on Molecular Recognition	
19	1987	Surface Science	F. W. de Wette (Austin)
20	1995	Chemical Reactions and their Control on the Femtosecond Time Scale	Pierre Gaspard (Bruselas)
21	2007	From Noncovalent Assemblies to Molecular Machines	Jean-Pierre Sauvage (Estrasburgo)
22	2010	Quantum Effects in Chemistry and Biology	Graham Fleming (Berkeley)
23	2013	New Chemistry and New Opportunities from the Expanding Protein Universe	Kurt Wüthrich (Zúrich)

fue el empleo de agentes de guerra química, como el cloro, por parte de Alemania. En concreto, en la batalla de Ypres (Bélgica, 22 de abril de 1915) los alemanes atacaron a tropas francesas, canadienses, australianas y argelinas con gases tóxicos, matando en diez minutos a cerca de seis mil soldados. Esta ciudad belga dio el nombre de iperita a una familia de productos químicos, también conocida como gas mostaza por su olor.

“La guerra demostró el poderío de la industria alemana y, de forma muy especial, el sector de la Química”.

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II)

Con frecuencia nos preguntamos los profesores de Química cómo es que para el público general, lamentablemente, la idea sobre esta ciencia es a veces muy negativa, sin que se aprecie convenientemente todo lo que ha hecho y hace por el bienestar de la humanidad. Hay dos aspectos, entre otros, que quizá lo expliquen. Uno de ellos es la resonancia de accidentes y contaminaciones (a menudo por una mala praxis) que en casos concretos se han producido. Piénsese por ejemplo en el impacto que debió suponer el denominado "desastre de Texas City" donde el 17 de abril de 1947 explotaron 2.300 toneladas de nitrato amónico para uso de fertilizantes,

provocando la muerte de cerca de seiscientas personas y provocando la destrucción de buena parte de la ciudad. El otro aspecto, probablemente sea el impacto negativo que la guerra química marcó en la ciudadanía europea y norteamericana en la Primera Guerra Mundial, así como a nivel global en conflictos posteriores (napalm en Vietnam, bombas de fósforo, etc.).

En todo caso, son aspectos que pueden favorecer la reflexión y la concienciación entre los alumnos. No se trata de marcar "culpables". Por ejemplo, aunque parece que los alemanes fueron los primeros en utilizar la guerra química a gran escala, los franceses la emplearon antes en granadas con bromuro de xililo en 1914 y los españoles fuimos de los primeros que la utilizamos contra la población civil en 1924, en la guerra del Rif.

Un caso especial es el de Fritz Haber, inventor de la tecnología para la síntesis industrial del amoníaco en los años previos a la Primera Guerra Mundial. Esa síntesis fue clave para obtener explosivos y fertilizantes (uno de los grandes logros de la Química) sin la dependencia de minerales como los nitratos de Chile. El 2 de mayo de 1915 su mujer, Clara Immerwahr, se suicidó (parece ser que con la propia pistola del ejército de Haber), tras calificar la guerra química como "abominable y signo de barbarismo". Clara fue la primera mujer doctorada en la famosa Universidad alemana de Breslau (hoy Wrocław, Polonia). En 1918, ya terminada la guerra, Haber fue, a la vez, declarado "criminal de guerra" y se le concedió el premio Nobel de Química, por su importantísima aportación en la síntesis del amoníaco, destacándose como "un medio extraordinariamente importante

.....
Fritz Haber (1868-1934).

catedraisdefe.etsit.upm.es



para el desarrollo de la agricultura y de la humanidad". Esto fue objeto de una gran controversia en la opinión pública europea.

No todo científico se presta a colaborar de cualquier manera a ganar una guerra, y esto puede ser un punto de partida para abordar cuestiones de Ciencia y Ética. Unas décadas antes, Faraday se negó a aceptar el encargo del gobierno británico de investigar gases tóxicos para la guerra de Crimea, basado en sus fuertes convicciones religiosas. Pero también hay que huir de presentar la Historia y las propias biografías de los científicos como "blanco o negro", siempre hay matices. El propio Haber, organizador del Departamento de Guerra Química en el conflicto indicado, abandonó en 1933 su país al no compartir la filosofía de las leyes antijudías, de las que él mismo, aún siendo hijo de padres judíos, estaba eximido por haber defendido el imperio alemán durante la guerra.

El *Aufruf an die Kulturwelt* (Manifiesto de los 93) fue un documento firmado por intelectuales alemanes, entre los que es-

“La Segunda Guerra Mundial también supuso una ruptura en cuanto a la colaboración entre científicos de distintos países”.

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II)

taban, además de Fritz Haber, científicos como Adolf von Baeyer, Max Planck, Paul Ehrlich, Wilhelm Röntgen, Hermann Emil Fischer, Wilhelm Ostwald, Walther Nernst y Wilhelm Wien, algunos de ellos asistentes a las primeras Conferencias Solvay. En dicho documento declaraban su total apoyo a la acción militar alemana y negaban "crímenes de guerra" como la matanza de civiles, la invasión brutal de Bélgica o el incendio Lovaina ya aludido. En este clima, se puso de manifiesto en los años posteriores a la guerra la imposibilidad de colaboración de los científicos de ambos bandos. En el campo de la Química, supuso de hecho la desaparición de la incipiente *Association Internationale des Sociétés Chimiques*, que se había reunido

bajo el auspicio de Solvay en Bruselas, en 1913, como ya se indicó anteriormente. En julio de 1919, se constituyó la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), que excluía a antiguos países "enemigos" como Alemania y no dejaba claro el papel de países neutrales. No se admitirían a todos estos países hasta 1925, al permitirse su ingreso en la Sociedad de Naciones.

"El uso de la energía atómica es un tema de sumo interés para abordar con los alumnos de los diferentes niveles educativos".

La Segunda Guerra Mundial también supuso una ruptura en cuanto a la colaboración entre científicos de distintos países. Al menos tres de los asistentes a la VII Conferencia Solvay de Física, Bohr, Fermi y Lawrence, participaron en el proyecto Manhattan. Se trató de un proyecto secreto de investigación, llevado a cabo durante el conflicto bélico por Estados Unidos con ayuda del Reino Unido y Canadá, para desarrollar una bomba atómica antes de que lo consiguiera Alemania. En este país se realizó otro programa similar liderado por Heisenberg (asistente en la VI Conferencia Solvay de Física). También se persiguió el mismo objetivo en la URSS, dirigido por I. V. Kurchátov, en cuyo honor, durante años, se propuso el nombre del elemento de número atómico 104 (Ku, kurchatovio), hoy conocido como rutherfordio (Rf).

El uso de la energía atómica, tan asociado a la estructura de la materia que se discutió y dilucidó durante las Conferencias Solvay, es un tema de sumo interés para abordar con los alumnos de los diferentes niveles educativos.

ALGUNOS PROTAGONISTAS DE LAS CONFERENCIAS SOLVAY

Una de las peculiaridades de las Conferencias Solvay es el hecho de que han servido para estrechar lazos entre los científicos asistentes. Marie Curie y Einstein coincidieron por primera vez en la de 1911 y, posteriormente, en las de 1913, 1927 y 1930. Pasarían temporadas compartidas con sus familias en excursiones por la montaña, por ejemplo.³ También son emblemáticas las vivas discusiones entre Bohr y Einstein, que el primero destacó como inspiración para sus desarrollos de Física Cuántica. Son famosas las cartas que se intercambiaron, donde

Einstein manifestaba supuestas contradicciones de la interpretación probabilística de la escuela de Copenhague. En aquella época era habitual entre los científicos la discusión con "experiencias imaginadas" o *Gedankenexperiments* para interpretar las sorprendentes implicaciones de la Mecánica Cuántica.

A nivel de personajes, prácticamente todas las Conferencias Solvay pueden ser la base de estudio de biografías de interés para alumnos de distintos niveles educativos. Por ejemplo, entre los asistentes a la primera (1911), y aparte de los más conocidos (Nernst, Marie Curie, Planck, Sommerfeld, Rutherford y Einstein) destacan otros muchos. No nos detenemos en los citados por existir abundante bibliografía y recursos en red sobre ellos. En el siguiente párrafo nos limitamos a introducir semblanzas breves de algunos menos conocidos.

Robert Goldschmidt fue un científico belga, discípulo y colaborador de Nernst, que trabajaría en temas variados como la creación del microfilm y la telegrafía sin hilos. Fue el que transmitió a Solvay la idea inicial de Nernst para celebrar la conferencia. Frederick Lindemann era un astrónomo y matemático inglés que realizó importantes contribuciones a la teoría cuántica y la evolución estelar, y que destacaría como divulgador científico. Kamerlingh Onnes haría importantes contribuciones en el estudio de la superconductividad a baja temperatura. Paul Langevin, cuya tesis doctoral había dirigido Pierre Curie, destacaría en la interpretación del paramagnetismo por las propiedades de los electrones. El presidente de esa Conferencia y las cuatro siguientes de Física, Hendrik Antoon Lorentz, es considerado como el último "genio universal".

Destacan en las Conferencias Solvay algunas sagas familiares. El duque Maurice de Broglie, que dejó la Marina con 29 años para dedicar-



Planta nuclear en Illinois (EEUU).

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II)

se a la Física, fue un asistente destacado a las dos primeras conferencias. Parece que a su hermano Louis (más conocido), 17 años más joven y que asistiría a la de 1927, le despertó la pasión por el misterio de los "cuantos" leyendo las actas de la primera Conferencia en casa de Maurice. Marcel Brillouin fue asistente asiduo desde la primera a la cuarta Conferencias de Física y su hijo Léon Nicolas lo sería desde la tercera. Asimismo, William Henry Bragg asiste a algunas de las primeras, tanto de Física como de Química, y su hijo William Lawrence, con quien compartió el Premio Nobel de Física en 1915, asistió a la de 1927. Obviamente, hablando de sagas de científicos, cabe destacar la asidua presencia de Marie Curie en todas las Conferencias de Física hasta 1933 (un año antes de su fallecimiento), que coincidió en la última con su hija Irène Joliot-Curie y su yerno Jean Frédéric Joliot. Los tres fueron Premio Nobel de Química y, como es bien sabido, Marie además recibió el de Física, compartido con su marido (Pierre) y con Henri Becquerel.

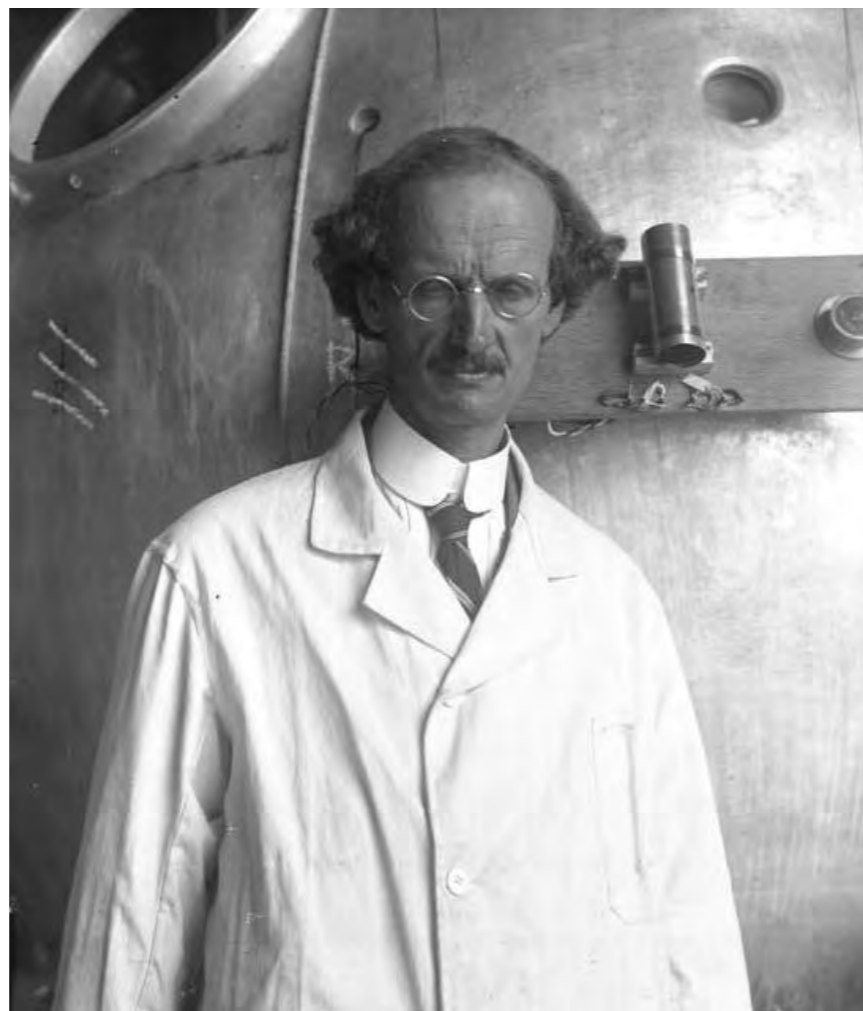
Un asistente asiduo a las Conferencias, desde 1922, tanto a las de Física como a las de Química, fue el físico e ingeniero suizo afincado en Bélgica Auguste Piccard. Aparte de sus aportaciones a estas ciencias, destacó en el diseño de un batiscafo. Es potencialmente emblemático para los alumnos porque sirvió de inspiración a su amigo Georges Prosper Remi (mucho más conocido por su seudónimo artístico, Hergé) para crear el personaje de Silvestre Tornasol en Las Aventuras de Tintín. Este personaje de cómic, conocido en francés como *Tryphon Tournesol* y en inglés como *Cuthbert Calculus*, simbo-

.....
Auguste Piccard (1884-1962).

www.thelightcanvas.com

za de alguna manera el estereotipo del científico, excéntrico y distraído, muy común a lo largo del siglo XX. Precisamente este tipo de personajes han hecho creer a muchas personas que el científico es alguien abstraído de la realidad y que trabaja en solitario, cuando la ciencia moderna es un campo donde el trabajo en equipo es esencial. Piccard pertenece, a su vez, a una saga de científicos importantes: su hermano gemelo Jean Félix fue profesor de Química Orgánica en Estados Unidos y diseñador de globos aerostáticos (en concreto diseñó el primero hecho de plástico) y su hijo Jacques destacó en el diseño de equipos para exploraciones marinas.

Uno de los padres de la Mecánica Cuántica, el físico inglés Paul A. M. Dirac, asistente también a las Conferencias Solvay, era tan taciturno que se comenta que se acuñó el "dirac"



Profesor Tornasol en Las Aventuras de Tintín.

listas.20minutos.es

.....
“Piccard sirvió de inspiración a su amigo Georges Prosper Remi para crear el personaje de Silvestre Tornasol en Las Aventuras de Tintín”.

como unidad mínima de palabras en una conversación. Ateo convencido, es famosa la frase atribuida a Pauli: “Dios no existe y Dirac es su profeta”. Precisamente, en relación a discusiones teológicas, son bien conocidas las que hubo entre Einstein y Bohr, muchas celebradas durante las Conferencias Solvay. Cuando el primero indicó que “Dios no juega a los dados”, el segundo replicó: “deja de decir a Dios lo que tiene que hacer”. Esto constituye un tema apasionante para tratar con los alumnos en algún momento, e incluso con profesores de otras materias: Ciencia y Religión.

Igual que se comentó en el anterior trabajo sobre la frecuente confusión entre Pauli y Pauling por parte de los alumnos, la fotografía de la Conferencia de 1927 puede servir para distinguir entre Born y Bohr. El primero, menos conocido para ellos, se suele nombrar al comentar aspectos relacionados con la energía reticular de cristales.

Mención especial debe hacerse, en nuestro contexto, al único participante español en las primeras Conferencias Solvay: Blas Cabrera y Felipe (Arrecife, Lanzarote, 1878 – México D.F., 1845).⁴ Inició estudios de Derecho (por tradición familiar) en Madrid, pero Ramón y Cajal le convenció para que estudiara ciencias, cursando Matemáticas y Física y doctorándose en 1901. En 1905 ocupa la Cátedra de Electricidad y Magnetismo en la Universidad Central y en 1910 fue el primer director del Laboratorio de Investigaciones Físicas (Junta de Ampliación de Estudios). En 1913 visitó varios centros europeos, coincidiendo en el Politécnico de Zúrich (dirigido por Pierre Weiss) con Enrique Moles, figura emblemática de la Química española de la época.

Entre los logros de Cabrera cabe citar: el establecimiento de la Ley que describe la variación de los momentos magnéticos de los átomos de la familia del hierro (curva de Cabrera); la modificación de la ley Curie-Weiss que describe la susceptibilidad magnética de los materiales ferromagnéticos en la región paramagnética más allá del punto de Curie; y la ecuación para describir el momento magnético del átomo considerando el efecto de la temperatura. Además, sus medidas ayudaron a validar las teorías cuánticas del magnetismo. Entre otros cargos, fue rector de la Universidad Central y secretario de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, dirigida por Pieter Zeeman. En 1928 fue nombrado miembro del Comité Científico de la VI Conferencia Solvay, propuesto por Einstein y Curie, a la que asistiría (1930), así como a la siguiente de 1933. Con su discípulo Julio Palacios y Miguel Ángel Catalán fundó el Instituto Nacional de Física y Química (ubicado en Madrid,

Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte II)

en el conocido como edificio Rockefeller). Su amistad con Einstein y Marie Curie se ilustra en las fotografías siguientes.

En 2007 volvería a asistir a las Conferencias Solvay (en este caso de Química) un científico español, Toribio Fernández Otero, que destaca por sus investigaciones sobre polímeros conductores y sus aplicaciones electroquímicas en campos tan interesantes como músculos artificiales y ventanas inteligentes.

ALGUNOS ASPECTOS DIDÁCTICOS EN RELACIÓN A LAS CONFERENCIAS SOLVAY

La información aportada sobre las Conferencias Solvay y temas relacionados, que se han mostrado tanto en este trabajo como en el anterior, se considera que puede ser de interés para plantear diferentes aspectos a los alumnos. Así, pueden abordarse temáticas como: aplicaciones del carbonato de sodio, evolución de su producción industrial, desarrollo de la Física en el siglo XX, etimología de términos químicos, relaciones entre Física y Química, percepción social de la Ciencia y de los científicos, Estructura de la Materia, y Mecánica Cuántica, entre otros. Pero además, otros temas que se sugieren y que podrían abordarse con los alumnos, según su nivel educativo, son:

- Búsqueda de los asistentes a las distintas Conferencias Solvay y recopilación (por ejemplo en varios grupos de la clase) de sus aportaciones fundamentales. Para ello existe abundante información en Internet.
- Búsqueda de los galardonados con el Premio Nobel asistentes a las distintas Conferencias. Por ejemplo, en la de 1927 nada menos que 17 de los 29 participantes habían recibido o recibirían posteriormente dicho galardón.
- Recopilación de elementos químicos y sus símbolos cuyo nombre se refiere a alguno

de los asistentes a las Conferencias Solvay. Al menos nos encontramos con: curio (Cm), einstenio (Es), fermio (Fm), lawrencio (Lr), rutherfordio (Rf), bohrio (Bh) y meitnerio (Mt).

- Papel de la mujer en el desarrollo de la Ciencia.

Por ejemplo, en relación a este último aspecto, se puede discutir quiénes son las tres mujeres presentes en la Conferencia de 1933 donde, además de Marie Curie y su hija Irène, ya aludidas anteriormente, está la física austriaca Lise Meitner. Nacida en Viena (1878) en el seno de una familia de origen judío, fue alumna en Berlín de Max Planck e investigó con Otto Hahn (con quien descubrió el protactinio en 1918). Abandonó Alemania en 1938, colaborando en la primera fisión nuclear (término introducido por ella). A Hahn le fue concedido el premio Nobel de Química en 1944, cuando era prisionero de los británicos, quienes buscaban información sobre el fallido esfuerzo alemán para desarrollar una bomba atómica. Los británicos le hicieron escribir una carta de aceptación en la que se excusaba por no poder asistir a la entrega del premio.

A un nivel docente incluso más amplio, que podría implicar a profesores de otras asignaturas, se sugieren temas como el papel de la prensa en la sociedad moderna. Como ejemplo, se pueden encontrar a través de Internet los problemas personales a los que estuvo sometida Marie Curie a su vuelta a París de la primera Conferencia Solvay, a causa principalmente de su rivalidad con Édouard Branly para ingresar en la *Accadémie des Sciences*.³

Otros ejemplos educativos multidisciplinares que se proponen son el estudio del francés, por ejemplo con la lectura y análisis de parte de las actas originales de las Conferencias, o el estudio de la cultura belga, donde se puede incluir desde la propia industria Solvay a Tinfín, o inclu-



Cabrera con Marie Curie (izquierda) y con Albert Einstein (derecha).

www.residencia.csic.es (izquierda)
enroquedeciencia.blogspot.com (derecha)

so el estudio de algunas canciones de Jacques Brel que reflejan la sociedad bruselense de principios de siglo XX.

CONCLUSIONES

El estudio de las Conferencias Solvay de Física y de Química, celebradas desde 1911, constituye una fuente significativa de aspectos para tratar en la enseñanza de estas ciencias, en los distintos niveles educativos. Ello es debido a la importancia tanto de los asistentes (Einstein, Marie Curie, Planck, Rutherford, Bohr, Cabrera, etc.) como de los temas tratados, principalmente referentes a la Estructura de la Materia y a la Mecánica Cuántica. Además de las conferencias en sí, el análisis de lo que ha significado la industria Solvay o el contexto histórico de las primeras reuniones, son aspectos destacados con potencial interés para la enseñanza de la Física y la Química.

REFERENCIAS

1. Pinto G., Martín M., Martín M. T. "Las Conferencias Solvay: una oportunidad para la didáctica (parte I)", *conCIENCIAS.digital*, número 16.
2. Nye M. J. (1989). "Chemical explanation and physical dynamics: two research schools at the First Solvay Chemistry Conferences, 1922-1928", *Annals of Science*, 46: 461-480.
3. Sánchez Ron J. M. (2009). "Marie Curie y su tiempo", *Crítica*, Madrid.
4. Sánchez Ron J. M. (2003). "La Física en España (II): el primer tercio del siglo XX", *Revista Española de Física*, 17(2): 8-14.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Universidad Politécnica de Madrid la ayuda recibida a través del proyecto de innovación educativa PT14_15-03002.

Gabriel Pinto, Manuela Martín
y María Teresa Martín

Grupo de Innovación Educativa
de Didáctica de la Química
Universidad Politécnica de Madrid

Grupo Especializado de Didáctica e Historia,
Reales Sociedades Españolas de Física
y de Química

LA ERA DEL **SILICIO.** DE LA ARENA AL MICROPROCESADOR

“Actualmente estamos inmersos en el cambio de una sociedad industrial por una sociedad de la información, en lo que se ha denominado la Revolución Tecnológica de la Información y la Comunicación”.

POR CONCEPCIÓN ALDEA

La era del silicio. De la arena al microprocesador

Si en el siglo XIX tuvo lugar la Revolución Industrial, con el acero como materia prima y la industria pesada como protagonistas, el siglo XX fue la industria electrónica con los semiconductores, los agentes de la nueva revolución.

Actualmente estamos inmersos en el cambio de una sociedad industrial por una sociedad de la información, en lo que se ha denominado la Revolución Tecnológica de la Información y la Comunicación.

Entre las tecnologías que han hecho posible esta nueva era están: la Microelectrónica, los Nuevos Materiales, la Bioingeniería y la Informática, entre otras. Pero, sin duda, un elemento clave en esta revolución social ha sido el desarrollo de la Microelectrónica, proporcionándonos, día a día, circuitos integrados más pequeños, más baratos, más rápidos y más fiables. Este cambio tiene como máximo exponente la irrupción en nuestra vida cotidiana de equipos de telefonía móvil y telecomunicaciones, provocando un cambio radical en nuestros hábitos laborales y sociales.

En este artículo repasaremos la historia de esta revolución que nos ha llevado a nuestra actual sociedad tecnológica en tan solo unas décadas.

La Microelectrónica nace con la electrónica de estado sólido y tiene su origen en el descubrimiento del primer amplificador de estado sólido, el transistor de puntas de contacto.

El transistor surgió de la necesidad de sustituir a las válvulas de vacío que, a pesar de sus inherentes limitaciones, permitieron el diseño de los primeros equipos propiamente electrónicos (incluidos los primeros ordenadores), por un dispositivo que tuviera una vida media superior y un coste, tamaño y consumo mucho menor, manteniendo las funciones que realizaban las válvulas de vacío: interruptor, rectificador y amplificador de señal. Esto exigía la concepción de un dispositivo radicalmente distinto cuyo desarrollo conseguiría equipos electrónicos fiables en el ámbito de las comunicaciones y el tratamiento de datos.

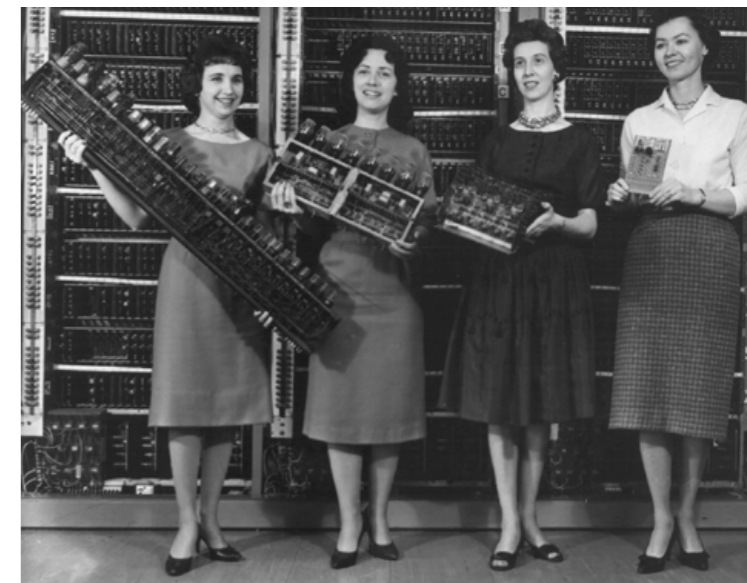
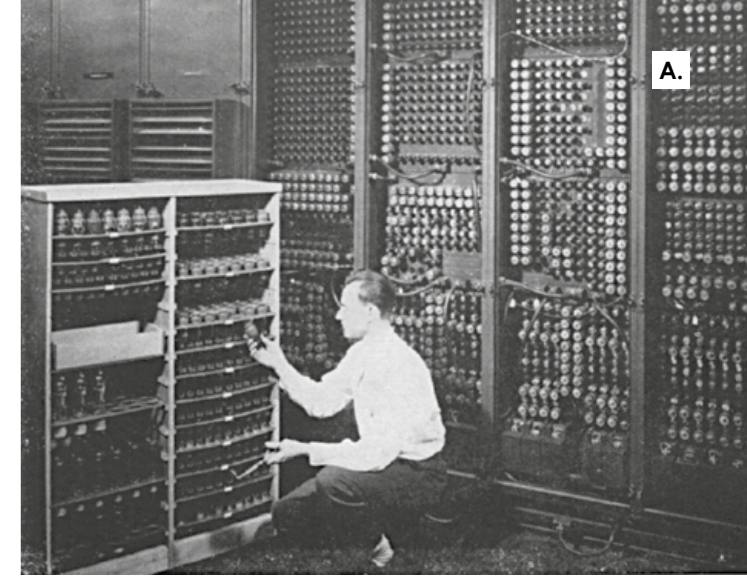
Como ejemplo paradigmático de esos primeros ordenadores está el ENIAC (Electronic

Numerical Integrator And Computer). Este ordenador totalmente digital fue construido en la Universidad de Pensilvania en 1946. Ocupaba una superficie de 167 m², operaba con un total de más de 17.000 válvulas que le permitían realizar 5.000 sumas y 300 multiplicaciones por segundo con un consumo de 150 kW de potencia. Pesaba 27 toneladas, elevaba la temperatura del local a 50 grados y para "programar" las diferentes operaciones era preciso cambiar, conectar y reconectar los cables manualmente. Unas cifras estratosféricas si las comparamos con los ordenadores personales y *tablets* actuales.

ORIGEN

El transistor, el dispositivo que reemplazaría a las válvulas de vacío y revolucionaría los campos de las comunicaciones y la computación, nació, junto a otros grandes descubrimientos, en los Laboratorios Bell.

Los orígenes de estos laboratorios se remontan a 1889 cuando Alexander Graham Bell crea el entonces conocido como Laboratorio Volta. Las oficinas y el laboratorio se encontraban en

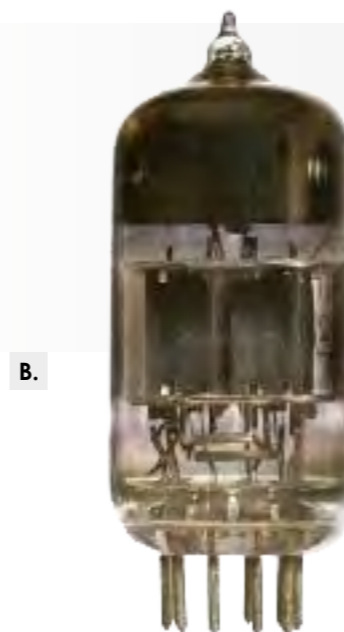


A) ENIAC

B) Válvula de vacío (izquierda) y receptor de comunicaciones de onda corta (derecha).

itc.ua (A)

selfrescuingprincessociety.tumblr.com y
www.burntorangenation.com (B)



La era del silicio. De la arena al microprocesador

la casa del padre de Bell en el 1527 35th Street, en Washington, DC, donde la cochera se convirtió en su cuartel general. ¡Otra cochera importante! Unas décadas después, en los 40, otro garaje se convertiría en el origen de lo que es Hewlett-Packard HP y en los 70 otro garaje dio lugar al origen de Apple de la mano de Steve Jobs.

Posteriormente se crea la Bell Telephone Company y, en 1899, se establece un monopolio telefónico en los Estados Unidos al ser comprada por AT&T. En 1924, AT&T crea una nueva unidad llamada Laboratorios Telefónicos Bell (Bell Labs). Esta unidad de investigación y desarrollo ha llevado a cabo proyectos relacionados con la Astronomía, Semiconductores, Sistema Operativo Unix, y el lenguaje de programación C, entre otros. De sus laboratorios han salido más de 30.000 patentes, 8 premios Nobel y mucha de la tecnología que hace posible nuestra vida tal y como la entendemos actualmente. Por los pasillos de Bell Labs han pasado investigadores como Claude Shannon, uno de los padres de la Teoría de la Información, el Nobel de Física Clinton Davisson, los inventores del transistor o Russell Ohl, que patentó la primera célula fotovoltaica.

Volvamos a 1945. El entonces director de investigación de los Laboratorios Bell, Mervin J. Kelly, se dio cuenta de que el trabajo futuro requería un detallado conocimiento de la física de semiconductores. Los laboratorios Bell ya habían trabajado en el desarrollo del diodo de semiconductor (consecuencia de los avances del

“La Microelectrónica tiene su origen en el descubrimiento del primer amplificador de estado sólido, el transistor de puntas de contacto”.

radar en la Segunda Guerra Mundial), pero sin un completo entendimiento de la física de los electrones en semiconductores y metales. Mervin J. Kelly tomó una serie de decisiones que resultaron trascendentes para el desarrollo del proyecto y, en definitiva, de nuestra sociedad actual.

En 1945 creó el Grupo de Semiconductores con un conjunto de físicos y químicos brillantes: Brattain, Pearson, Moore, Gibney y Bardeen, dirigidos por William Shockley. Su objetivo: investigar los fenómenos de conducción eléctrica en semiconductores para poder desarrollar un amplificador que revolucionara los campos de las microondas y de la radio. Se limitó el estudio al silicio y al germanio como materiales base, y se retomó la idea patentada en 1926 por Julius Edgar Lilienfeld en el que un electrodo de control podría regular el flujo de corriente mediante el cambio del número de portadores que fluyen.

La combinación perfecta de estos factores, fruto de la visión de Mervin al crear un verdadero programa de I+D, culminó en el llamado mes del milagro, donde el 23 de diciembre de 1947, Brattain y Bardeen pusieron a punto el primer amplificador de estado sólido, el transistor de puntas de contacto. Había empezado la Era de la Microelectrónica.

TRANSISTOR BIPOLAR DE UNIÓN

Pero la carrera no había hecho más que comenzar. Shockley, que no participó activamente en el descubrimiento del transistor de puntas de contacto, se dio cuenta de que era muy difícil de controlar el espacio de los electrodos y no creía que ese dispositivo fuera la solución definitiva. Pasó esa Nochevieja de 1947 y los dos días siguientes en un hotel de Chicago trabajando en algunas ideas para un

nuevo transistor que pudiera mejorar los resultados de Bardeen y Brattain (había ido allí a una reunión de la Physical Society). Esta conducta no era extraña en él, una mente brillante con un carácter difícil y complicado que traería sorprendentes consecuencias.

Una de las ideas que le surgieron fue construir un sándwich de semiconductores: tres capas de semiconductores apiladas juntas podrían trabajar como un tubo de vacío con la capa intermedia controlando el paso o no de corriente, pero no lo terminó de ver completo, así que lo dejó y se puso a trabajar en otra cosa.

En enero, Shockley estaba bastante deprimido, pensaba que él solo debería tener el mérito de la invención del transistor ya que, en definitiva, las ideas inicia-

“Shockley, que no participó activamente en el descubrimiento del transistor de puntas de contacto, se dio cuenta de que era muy difícil de controlar el espacio de los electrodos y no creía que ese dispositivo fuera la solución definitiva”.



Bardeen, Brattain y Shockley
en los Laboratorios Bell.
diario.latercera.com

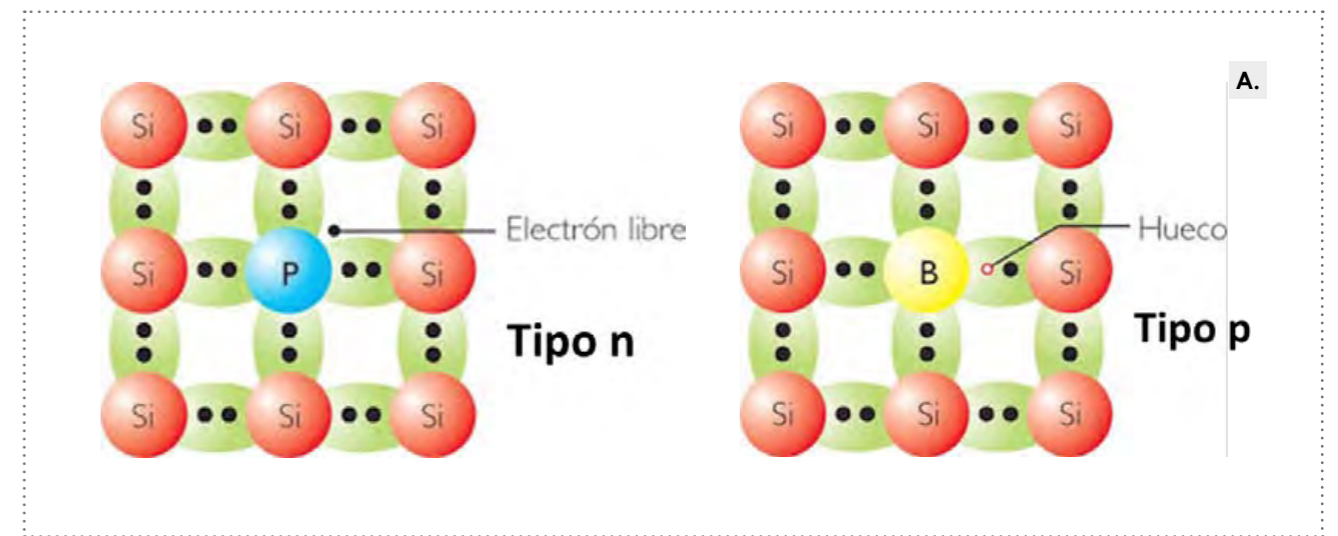
La era del silicio. De la arena al microprocesador

les de la investigación habían sido suyas. Los abogados de Bell Labs no estaban de acuerdo y rechazaron incluso que apareciera en la patente. Mientras el resto del grupo trabajaba simplemente en mejorar el transistor de Brattain y Bardeen, Shockley seguía concentrado en sus propias ideas que, por supuesto, no compartió con nadie del equipo.

El 23 de enero de 1948, incapaz de conciliar el sueño, Shockley se encontraba sentado en la cocina de su casa y repentinamente tuvo la idea que mejoraba su concepción de transistor de tres capas que había postulado en

Nochevieja en Chicago. Las partes de las capas externas podrían ser semiconductores con muchos electrones, mientras que la del medio tendría muy pocos electrones. Esta capa actuaría como la llave de un grifo, controlando la corriente con una tensión eléctrica. La física detrás de este amplificador era muy diferente a la del transistor de puntas de contacto, ya que la corriente fluía a través de las piezas de semiconductor, no en la superficie. Acababa de concebir el transistor bipolar de unión (BJT en inglés).

El transistor bipolar de unión es un dispositivo que se obtiene dopando un monocristal semiconductor, es decir, introduciendo impurezas cuidadosamente seleccionadas y controladas, para modificar sus propiedades eléctricas. Si las impurezas son de valencia 5, como el antimonio o el fósforo, se producen materiales tipo n, en los que la conducción se debe principalmente a los electrones libres. Si las impurezas son de valencia 3, como el boro, se producen materiales tipo p donde los portadores son huecos. Las tres zonas semiconductoras se denominan emisor, E, que emite



A) Semiconductor dopado tipo n y tipo p respectivamente.

B) Estructura de un transistor bipolar npn (Microelectronic circuits, Sedra&Smith).

Imágenes cedidas por la autora

portadores y está fuertemente dopada, colector, C, que recibe o colecta los portadores y la base, B, que está intercalada entre las dos zonas anteriores y que sirve para modular el paso de portadores.

Para que estas dos uniones puedan funcionar como transistor se necesitan, al menos, dos condiciones:

1. Que la anchura de la base, W_B , sea muy pequeña comparada con la longitud de difusión, L , de los portadores que inyecta el emisor en la base.
2. Que la base esté ligeramente dopada con relación al emisor.

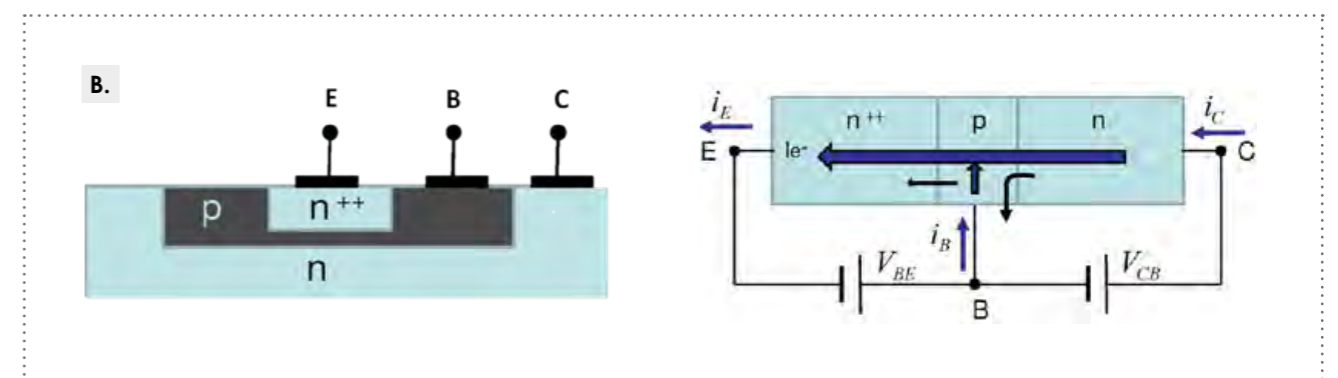
El 18 de febrero dos miembros del equipo, que estaban trabajando en un experimento aparte, presentaron al grupo unos resultados sorprendentes que habían ob-

“El transistor bipolar de unión es un dispositivo que se obtiene dopando un monocristal semiconductor”.

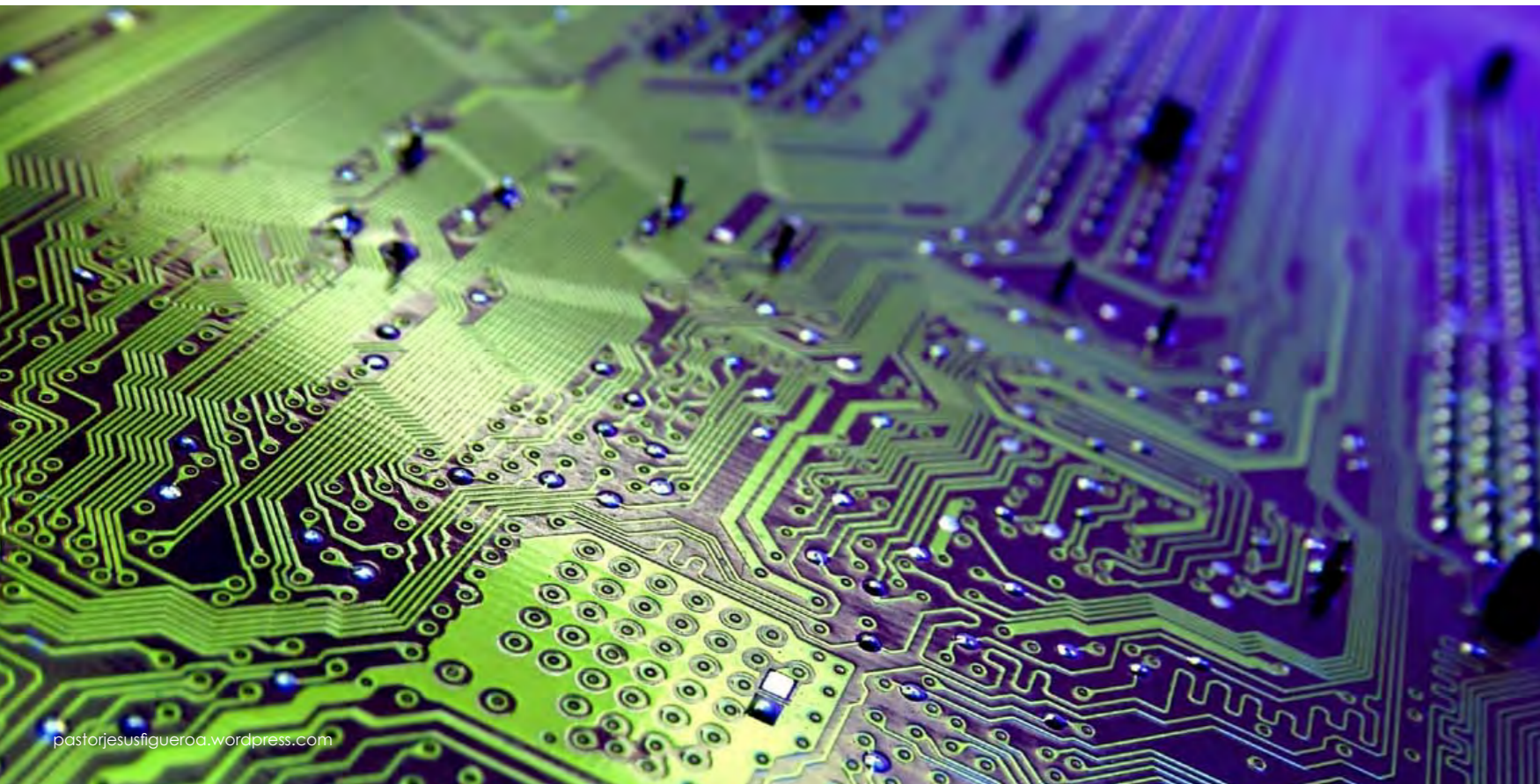


Portada de la revista Electronics, septiembre de 1948 (izquierda) y primer transistor (derecha).

beatriceco.com (derecha)
harddepc.blogspot.com (izquierda)



La era del silicio. De la arena al microprocesador



pastorjesusfigueroa.wordpress.com

“El primer transistor bipolar de unión fue construido en 1951, dos años después de que Shockley formulara la teoría del dispositivo”.

tenido y que solo podían ser explicados si los electrones viajaban a través del sustrato de un semiconductor. En ese momento, Shockley supo que tenía la prueba que necesitaba y compartió su concepto del nuevo transistor al resto del equipo.

Como es de imaginar, el ambiente en el laboratorio se enrareció. Bardeen recordaría años después que todo había ido como la seda hasta ese fatídico 23 de diciembre de 1947 en que vio la luz el primer transistor. Shockley, que al fin y al cabo era su jefe, no facilitó que Bardeen y su amigo Brattain trabajaran en proyectos que pudieran interesarles, lo que les llevó a salir de la empresa. No sería esta la última vez que la personalidad de Shockley llevara a gente de su alrededor a huir de él lo más lejos posible. La siguiente vez que coincidieron fue en la entrega del Premio Nobel que se les había concedido a los tres por el descubrimiento del transistor en 1956.

El primer transistor bipolar de unión fue construido en 1951, dos años después de que Shockley formulara la teoría del dispositivo. Curiosamente dicha teoría no fue, inicialmente, aceptada para su publi-

cación en *Physical Review*. Transcurrieron varios años antes de que la industria electrónica aceptase la utilización de este nuevo dispositivo en sus productos. Varias causas contribuyeron a ello: deficiencias iniciales en la fabricación así como la necesidad de reciclaje de los diseñadores para conocer en profundidad el nuevo dispositivo. Conscientes de ello, y para colaborar en su difusión, se realizó un Symposium patrocinado por el IRE* (Institute of Radio Engineers) en 1952. En dicha reunión se revelaron los procesos de construcción del transistor de puntas de contacto, así como los progresos realizados con el de unión. Asistieron unas 35 compañías, obteniendo todas ellas la licencia de explotación.

El comienzo de la producción comercial de transistores bipolares permitió sustituir a las válvulas en los receptores de radio. Después de varios prototipos, el primer receptor que solo empleaba transistores comenzó a comercializarse en 1954. Este cambio tecnológico permitió que estos receptores fueran más pequeños y funcionaran a pilas. Su éxito fue enorme, hasta el punto de que para mucha gente “transistor” sigue siendo sinónimo de radio portátil.

El transistor fue una invención científica, fruto de una investigación realizada por científicos pero con muy poca conexión con la industria. Una vez aceptada por esta, el transistor supuso una auténtica revolución, dando origen a la denominada Electrónica de estado sólido. Tal es así

que afectó incluso a la enseñanza de la Electrónica como disciplina universitaria. A tal fin, y con objeto de preparar un material educativo que reflejase estos cambios, se formó a finales de 1960 un grupo de expertos conocidos como SEEC (Semiconductor Electronics Education Committee). Estaba compuesto por profesores universitarios y personal cualificado de industrias electrónicas y coordinados por los profesores Searle y Adler del Massachusetts Institute of Technology (MIT). El resultado final se plasmó en siete tomos dedicados a la enseñanza de la nueva Electrónica en estudios universitarios.

SILICON VALLEY

Shockley decidió marcharse de Bell Labs en 1953 al ver que le negaban el acceso a puestos de más responsabilidad; decisión que sin duda la empresa tomó al ver cómo había gestionado su equipo de investigación. Regresó al lugar donde había crecido, en Palo Alto, California, cerca de la Universidad de Stanford, y unos años después, en 1955, fundó una división de semiconductores, Shockley Semiconductors Laboratory en los dominios de lo que hoy conocemos como Silicon Valley, con el capital de la empresa de un amigo suyo. La empresa era Beckman Instruments.

“No sería esta la última vez que la personalidad de Shockley llevara a gente de su alrededor a huir de él lo más lejos posible”.

* La fusión del IRE (*Institute of Radio Engineers*), fundado en 1912 y el AIEE (*The American Institute of Electrical Engineers*), fundado en 1884 dio lugar en 1963 al IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers*), instituto internacional sin fines de lucro dedicado a promover la innovación y la excelencia tecnológica en beneficio de la humanidad.

La era del silicio. De la arena al microprocesador



Fundadores de Fairchild Semiconductors. De izquierda a derecha: Gordon Moore, Sheldon Roberts, Eugene Kleiner, Robert Noyce, Victor Grinich, Julius Blank, Jean Hoerni, Jay Last.

Wayne Miller/Magnum

“La ruptura se hizo real, a mediados del año 1957, cuando ocho hombres abandonaron a Shockley para buscar su propio camino de la mano de Sherman Fairchild”.

A la hora de formar equipo, trató de reclutar sin éxito a antiguos compañeros de trabajo. Ninguno quiso acompañarle en su aventura, así que decidió recorrer el ámbito universitario en busca de los más prometedores estudiantes. Shockley, que tenía mucho ojo y gozaba de un enorme prestigio, logró reunir un auténtico 'dream team' de ingenieros, físicos y químicos jóvenes y talentosos. Alguno de ellos fueron: Julius Blank, Victor Grinich, Jean Hoerni, Eugene Kleiner, Jay Last, Gordon Moore, Robert Noyce y Sheldon Roberts.

Los problemas a la hora de trabajar fueron numerosos y se sucedieron en poco tiempo, llevando a un grupo de colaboradores a replantearse su pertenencia a la compañía. La ruptura se hizo real, a mediados del año 1957, cuando ocho hombres abandonaron a Shockley para buscar su propio camino de la mano de Sherman Fairchild, gracias al cual crearon su propio laboratorio de semiconductores, Fairchild Semiconductor. La nueva compañía se convirtió muy pronto en un líder de la industria de los semiconductores y sería la primera de un buen número de

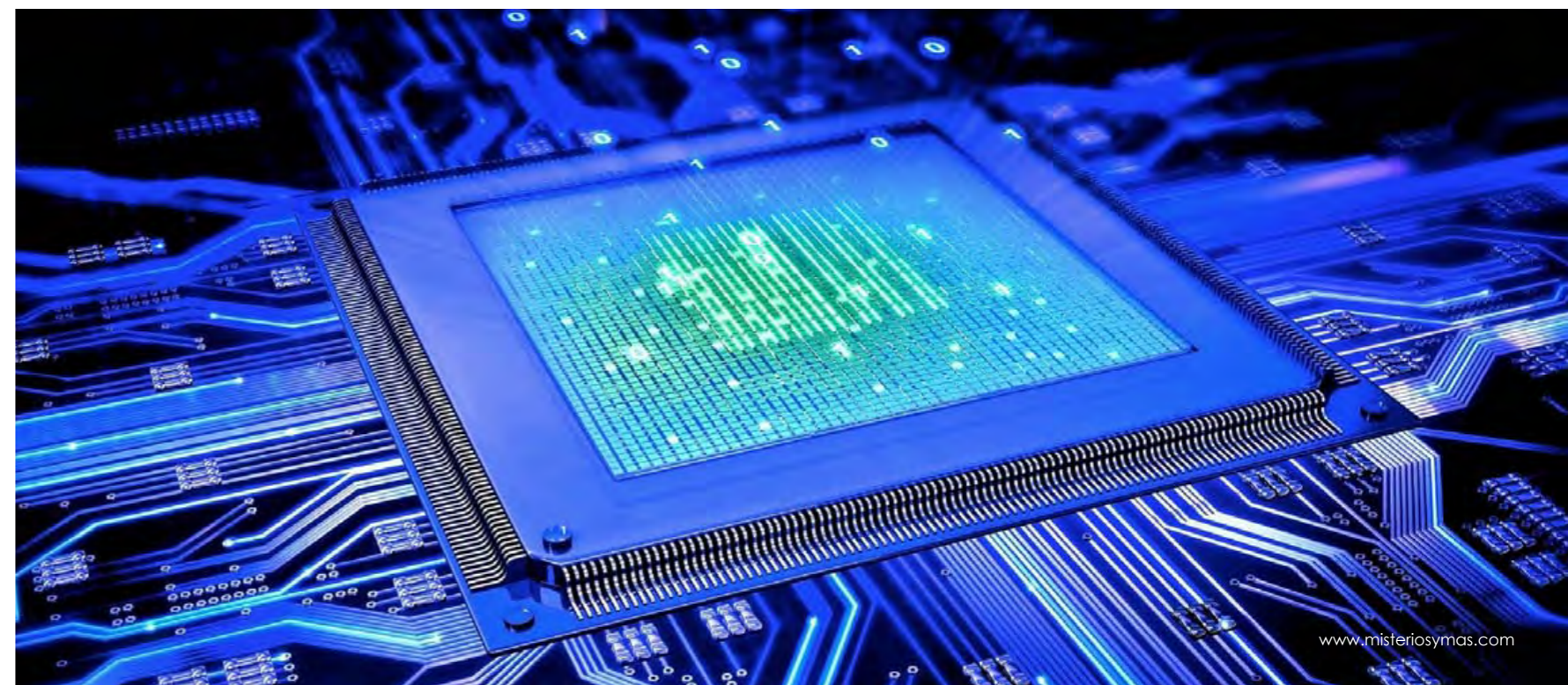
empresas del sector que se establecerían en lo que acabó conociéndose como Silicon Valley. Hablar de los inicios de Silicon Valley es hacerlo de este grupo de hombres con un peculiar sobrenombre. Son conocidos como “los ocho traidores”, y son en buena parte responsables de la creación de ese enclave de la tecnología y la computación. Entre aquellos hombres se contaban Robert Noyce, uno de los inventores del primer circuito integrado junto a Jack Kilby (Texas Instruments), y Gordon Moore, que acuñaría la ley, que lleva su apellido, en la que predijo que el número máximo de transistores por circuito integrado se duplicaría cada 18 meses.

TODO (O CASI TODO) VIENE DE FAIRCHILD

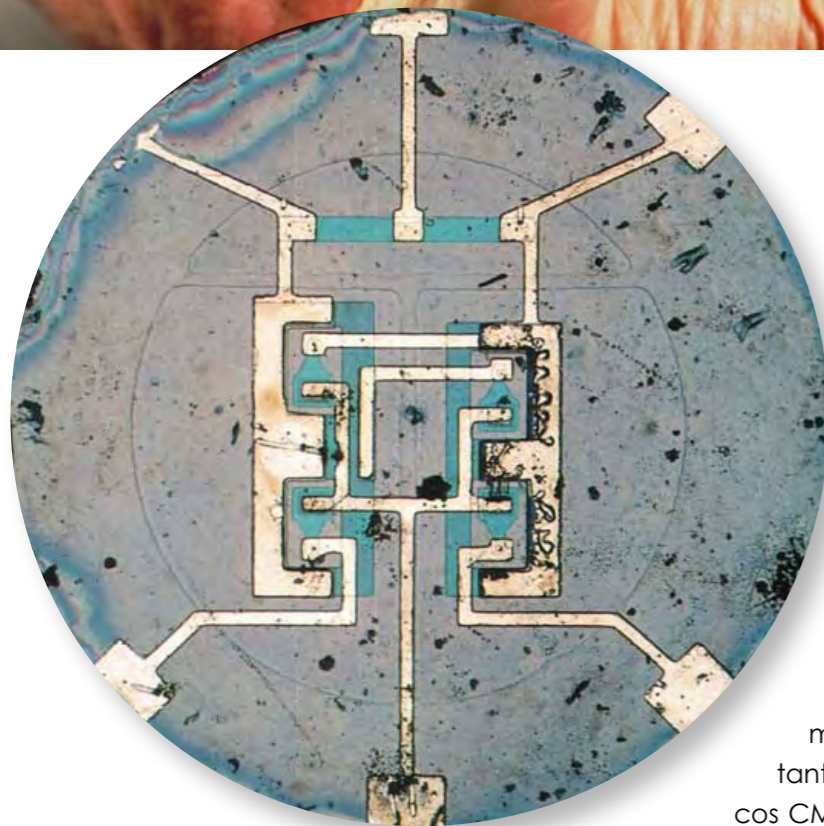
En 1958 Hoerni inventa la técnica para difundir impurezas en el Si y construir transistores en tecnología planar. Y, un año después, Noyce desarrolla el primer circuito integrado utilizando esta técnica. Paralelamente, Jack Kilby en Texas Instruments (TI) postula la idea de un circuito integrado monolítico. Había nacido la Microelectrónica. A la gran invención científica que resultó el descubrimiento del transistor

le siguió la invención tecnológica del circuito integrado. Las ventajas de la fabricación en masa de circuitos integrados eran enormes y podemos destacar entre ellas: la posibilidad de obtener componentes con tamaños de micras (10^{-3} mm), todos fabricados en el mismo sustrato, minimizar los fallos en sistemas complejos, disponer del máximo número de dispositivos en un chip de tamaño mínimo y disminuir el coste por función. El impacto de esta invención tecnológica sobre la industria electrónica fue aún mayor que la invención científica del transistor. Su desarrollo propició en la década de los 70 el nacimiento del microprocesador, hecho que para muchos marcó el comienzo de una revolución digital y cuya influencia está presente en prácticamente la totalidad de los aspectos de nuestra vida.

Gracias al método propuesto por Noyce, Fairchild pasó de facturar unos pocos miles de dólares, en sus inicios, a más de 130 millones, alcanzando los 12.000 empleados. Y, gracias a la tecnología del silicio, habían contribuido a uno de los mayores hitos tecnológicos de la Historia de la Humanidad: el vuelo del Apolo 8.



La era del silicio. De la arena al microprocesador



Jack Kilby con el primer circuito integrado (arriba) y primer circuito integrado con tecnología planar.

www.bevezetem.hu (arriba)
Fairchild Semiconductor (abajo)

Desde ese momento, los avances se sucedieron rápidamente en el tiempo. En 1961 aparecen los primeros circuitos integrados digitales comerciales (TI & Fairchild) y en 1962 RCA Research Laboratories desarrolla el primer dispositivo integrado con 16 transistores MOS (metal-aislante-semiconductor). RCA fue pionera en la producción de tecnología MOS (bajo el nombre comercial COS/ OS) para circuitos integrados de muy baja potencia, primero en el sector aeroespacial y más tarde en aplicaciones comerciales. Gerald Herzog lideró un importante programa de diseño de circuitos lógicos CMOS (tecnología MOS complementaria) y memorias para la Fuerza Aérea en 1965. En 1968 la compañía presentó una memoria RAM estática de 256 bits y los primeros miembros de la popular familia de dispositivos lógicos de propósito general CD4000.

La idea de estos transistores MOS ya había sido patentada por Lilienfeld en los primeros años de la década de 1930, bastante antes de la invención del BJT. Sin embargo, debido a las limitaciones de fabricación, las tecnologías MOS no pudieron hacerse realidad

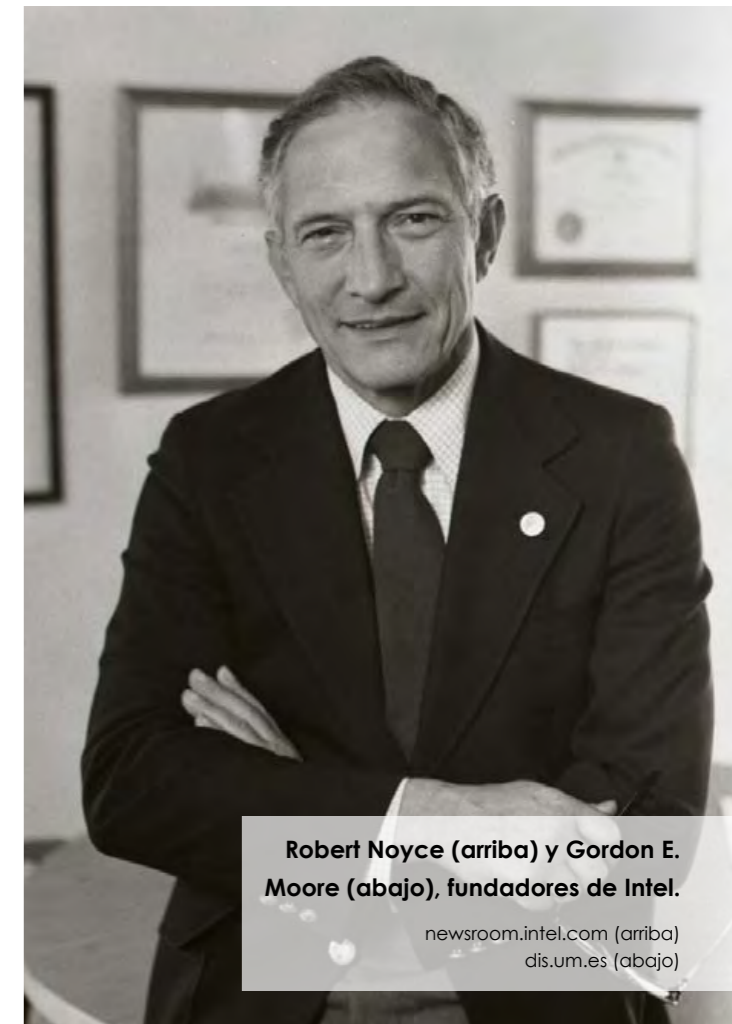
hasta los 60. Los circuitos CMOS rápidamente capturaron el mercado digital, ya que las puertas CMOS solo disipaban potencia durante la conmutación y se requerían muy pocos dispositivos para su implementación (en contraste su contrapartida bipolar). Además, se descubrió que las dimensiones de los dispositivos CMOS se podían escalar más fácilmente que las de otros tipos de transistores.

La estructura de un transistor MOS de canal n consta de dos pozos fuertemente dopados tipo n sobre un sustrato tipo p. El terminal de puerta está aislado del sustrato por un dieléctrico, SiO_2 y el sustrato está conectado al punto más negativo del circuito para asegurar que las uniones pn estén inversamente polarizadas. Los transistores MOS son dispositivos de estado sólido en el que un campo eléctrico perpendicular controla el flujo de los portadores en el canal de conducción. Como los transistores bipolares, los transistores de efecto de campo pueden funcionar como amplificadores o bien como interruptores.

Si el valor que creó Fairchild se midiera en dólares de hoy en día, la empresa podría ser la primera 'startup' de un millón de millones del mundo (Endeavor Insights). El rastro de Fairchild, la compañía que sacó al mercado el primer chip, puede seguirse hasta la práctica totalidad de los gigantes actuales de la tecnología: Apple, Google, Facebook, Yahoo... Aquellos ocho pioneros sentaron las bases, formaron a los ingenieros y aportaron la financiación necesaria para prender la mecha que desembocó, décadas más tarde, en el boom de la informática, el de Internet e incluso el de las redes sociales.

INTEL

Innovation is everything. When you're on the forefront, you can see what the next innovation needs to be. When you're behind, you have to spend your energy catching up. (Robert Noyce)



Robert Noyce (arriba) y Gordon E. Moore (abajo), fundadores de Intel.

newsroom.intel.com (arriba)
dis.um.es (abajo)



La era del silicio. De la arena al microprocesador

Fue en el año 1968 cuando Moore y Noyce deciden emprender una nueva aventura empresarial. Moore y Noyce inicialmente quisieron llamar a la compañía "Moore Noyce" pero sonaba mal, ya que en inglés suena como *more noise*, que literalmente significa: más ruido, un nombre poco adecuado para una empresa electrónica, ya que el ruido en electrónica suele ser muy indeseable. Utilizaron el nombre NM Electronics durante casi un año, antes de decidirse a llamar a su compañía Integrated Electronics abreviado "Intel". Recorrer la evolución de la Microelectrónica a partir de esa fecha es hacerlo a través de los grandes hitos de Intel.

En 1971, se creaba en su seno otro invento crucial: el microprocesador. El Intel 4004 (i4004), una CPU de 4 bits, fue el primer microprocesador en un solo chip, así como el primero disponible comercialmente. Este circuito integrado tenía 2.300 transistores en una tecnología CMOS de 10 micras. El objetivo era reunir en un mi-

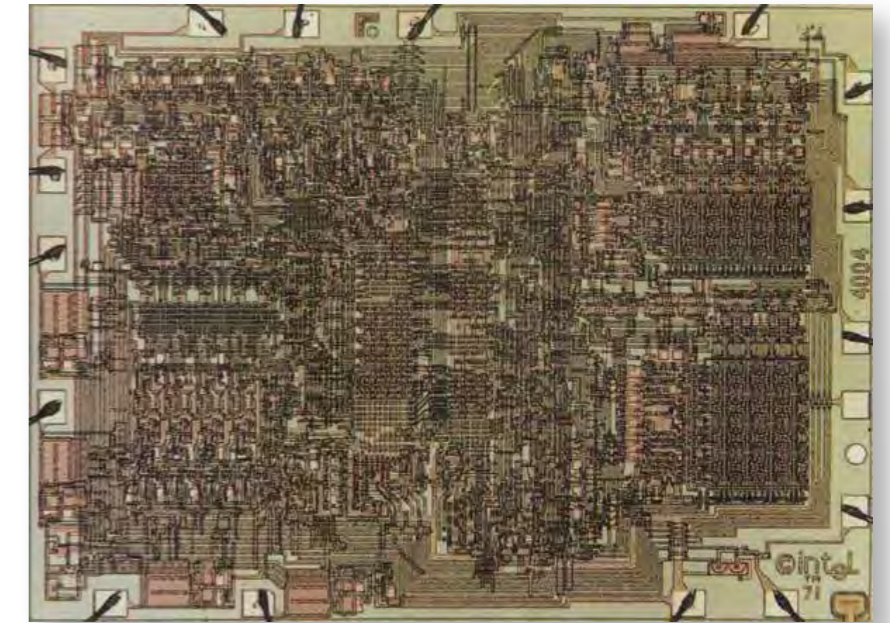
croprocesador todos los elementos necesarios para crear un ordenador, a excepción de los dispositivos de entrada y salida (teclado, pantalla, impresora, etc.) imposibles de miniaturizar. El 4004 fue diseñado e implementado por Federico Faggin, entre 1970 y 1971. En cuanto empezó a trabajar en Intel, Faggin creó una nueva metodología de "random logic design" con Silicon Gate, que no existía previamente, la cual se utilizó para encajar el microprocesador en un único chip. Esta metodología fue usada en todos los primeros diseños de microprocesadores Intel. El 4004 fue diseñado originalmente por Intel para la compañía japonesa Busicom, para ser usado en su línea de calculadoras. Este primer procesador tenía características únicas para su tiempo, como la velocidad del reloj, que sobrepasaba los 100 kHz.

El 22 de marzo del 1993 ve la luz por primera vez el "Pentium", también conocido por nombre clave P54C. Estos procesadores partían de una velocidad inicial de 60 MHz, llegando a los 200 MHz, algo que nadie había sido capaz de augurar unos años antes. Con una arquitectura real de 32 bits, se usaba de nuevo la tecnología de 0.8 micras, con lo que se lograba realizar más unidades en menos espacio. El Pentium poseía una arquitectura capaz de ejecu-

"Como los transistores bipolares, los transistores de efecto de campo pueden funcionar como amplificadores o bien como interruptores".

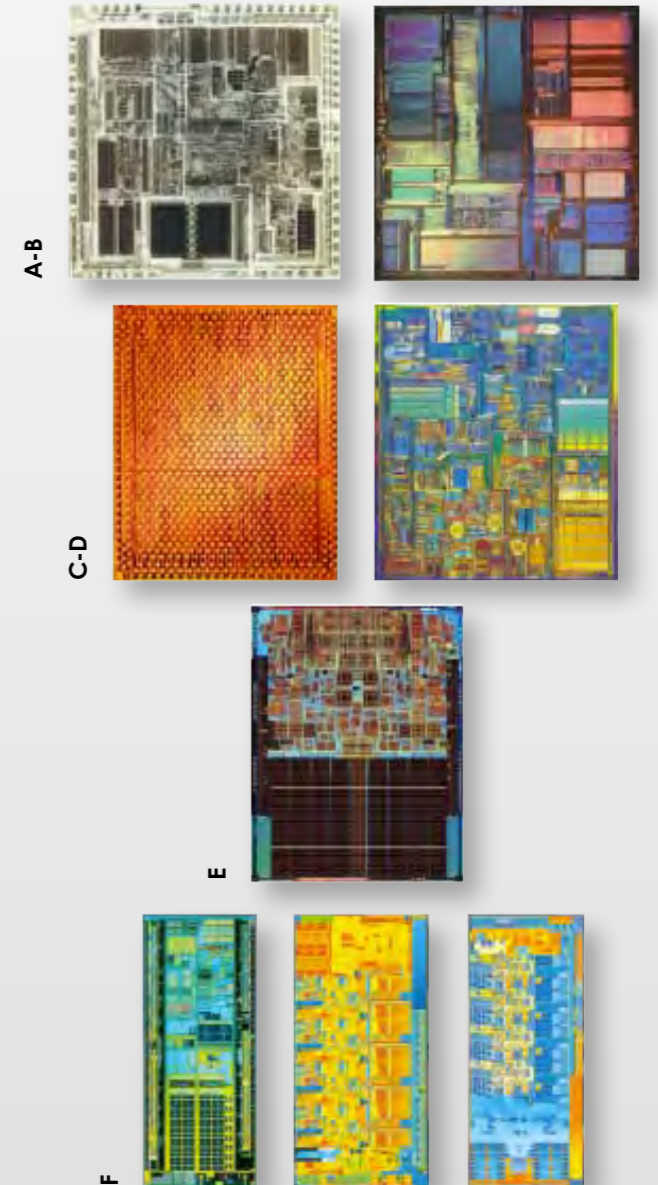
tar dos operaciones a la vez, gracias a sus dos *pipeline* de datos de 32 bits cada uno, uno equivalente al i486DX y el otro equivalente al 486SX.

La última familia, el Intel Atom, utiliza transistores con tres puertas (en lugar de una) envueltas alrededor del canal de silicio en una estructura 3-D, lo que permite una combinación sin precedentes de rendimiento y eficiencia energética. Intel diseñó este nuevo transistor para su uso en dispositivos portátiles, como teléfonos inteligentes y tabletas.



Intel 4004, primer microprocesador (1971).

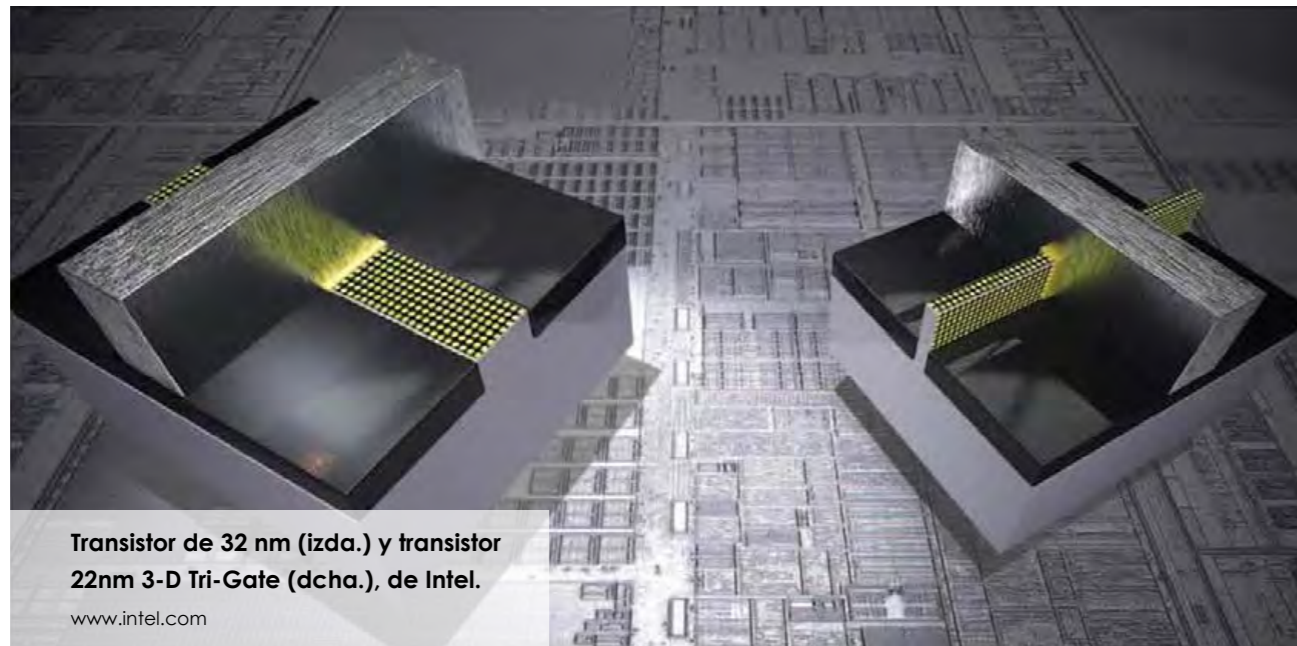
www.semiconvn.com



- A) 1982: Intel® 286
134000 transistores 6MHz / 1.5 micras
- B) 1993: Intel® Pentium® / 3.1 millones de transistores 66MHz / 0.8 micras
- C) 1998: Intel® Celeron® / 7.5 millones de transistores 266MHz / 0.25 micras
- D) Intel® Pentium® 4 / 42 millones de transistores 1.5GHz / 0.18 micras
- E) 2006: Intel® Core™2 Duo / 291 millones de transistores 2.66GHz / 65 nm
- F) 2008-2015: Intel® Atom™
1.4 billones de transistores / 22 nm

www.intel.com

La era del silicio. De la arena al microprocesador



Transistor de 32 nm (izda.) y transistor 22nm 3-D Tri-Gate (dcha.), de Intel.

www.intel.com

FABRICACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Ha sido necesario un avance continuo en las tecnologías de integración para lograr fabricar los circuitos integrados actuales. Una de las estrategias ha consistido en disminuir el tamaño de los componentes, que están fabricados en el mismo sustrato, junto con la tecnología que permite obtener el máximo número de dispositivos en un chip de tamaño mínimo.

Resulta difícil pensar en el esfuerzo de miniaturización, en el grado de reducción que se ha logrado en los dispositivos capaces de procesar información. El cabello humano tiene unas 50 micras de diámetro y actualmente se fabrican circuitos integrados con elementos que permitirían colocar 5.000 dispositivos en un solo cabello.

Para tener una idea de este nivel de escala basta pensar en la relación que existe entre la lámpara de la mesita de noche de un dormitorio de un piso de París y el área metropolitana de dicha ciudad.

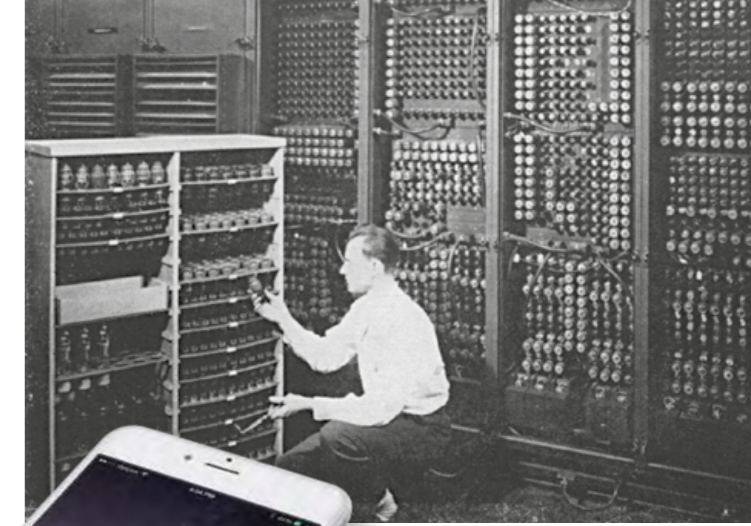
Esto es equivalente a la relación entre un circuito integrado (por ejemplo, un microprocesador) y uno de los transistores que lo forman.

Un circuito integrado complejo es como una gran ciudad. Los barrios, zonas residenciales y parques industriales desempeñan funciones complejas en el tránsito de las personas, del mismo modo que los sistemas electrónicos procesan el flujo de información de manera distinta. Memorias, unidades centrales de proceso, procesadores digitales de señales, interfaces entrada salida. Incluso las líneas de alimentación y buses de datos de los circuitos tienen su contrapartida en las rondas periféricas y avenidas de las ciudades. Otro nivel es el constituido

“Una de las estrategias ha consistido en disminuir el tamaño de los componentes, y obtener el máximo número de dispositivos en un chip de tamaño mínimo”.

por los edificios, donde el flujo de personas es procesado de manera local dependiendo de sus interrelaciones personales y grupales. Esto tiene el equivalente en los distintos tipos de circuitos (amplificadores, convertidores A/D y D/A) que procesan las señales eléctricas de manera muy diferente. El siguiente nivel, las subsecciones de un circuito (etapas de polarización, protección, referencias, etc.) son como las dependencias de un edificio: cada una está especializada en una función. Y por último, los componentes y dispositivos elementales (resistencias, condensadores, transistores) son como el mobiliario de las habitaciones.

Estos procesos de fabricación se llevan a cabo bajo unas condiciones muy controladas de limpieza, partículas de polvo en suspensión, vibración, temperatura, humedad, etc. en las deno-

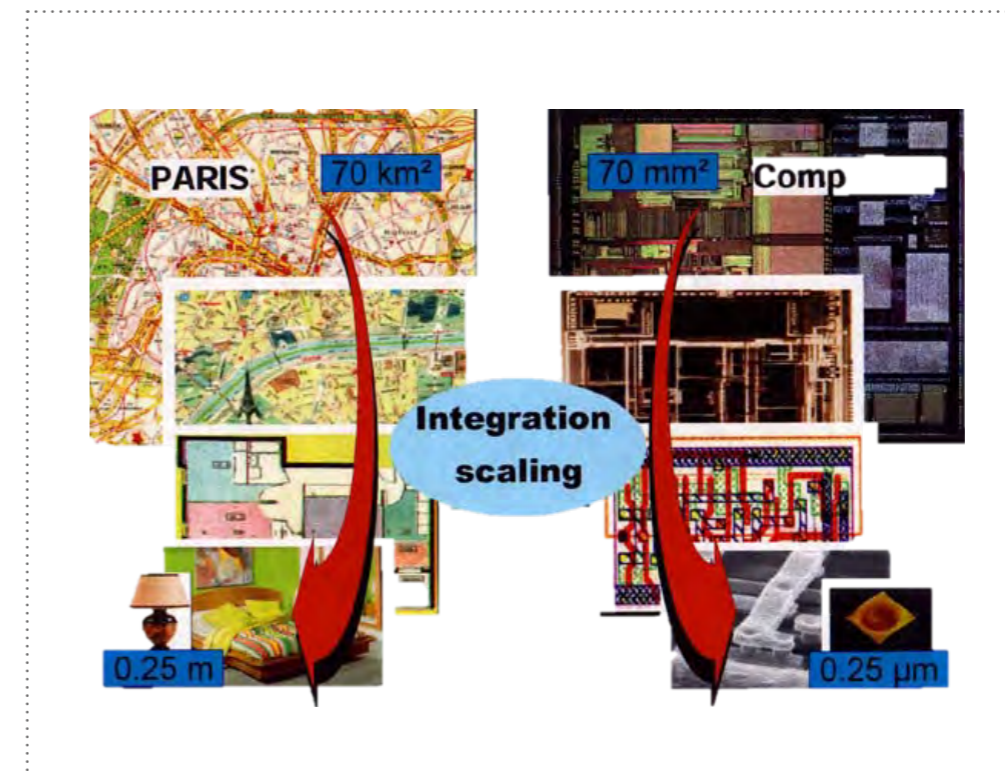


Ejemplo de la ENIAC y el iPhone 6: factor 10⁹ de reducción y de eficacia.

itc.ua y www.tekrevue.com



minadas salas blancas donde el personal técnico requiere de un vestuario especial y servicios específicos. Una sala de operaciones estándar en un hospital está considerada un nivel clase 100 en que hay 100 partes por millón de impurezas. Normalmente las fábricas de circuitos integrados tienen salas blancas de nivel 10 (10 partes impuras por millón). Habitaciones de clase 10 son posibles si los



Relación entre el área de un circuito integrado complejo y uno de sus transistores.

Imagen cedida por la autora.

La era del silicio. De la arena al microprocesador

usuarios utilizan respiración artificial (filtros, ventilación artificial); incluso está prohibido entrar a personal que, aunque ya no lo sea, haya sido fumador.

Los avances en la fabricación de circuitos integrados han desarrollado hasta tal punto la tecnología de silicio que ha derivado en la fabricación de microsistemas electromecánicos (MEMS) de gran precisión para nuevas aplicaciones. Algunos ejemplos son los sensores integrados en numerosos dispositivos, incluyendo el conocido sistema *airbag* de los automóviles o los MEMS aplicados a la Biología o BioMEMS diseñados para interactuar con los sistemas biológicos, abriendo un nuevo campo a la Nanotecnología.

¿PRESENTE O FUTURO? NANOTRANSISTORES

Hace ya más de 50 años, en una reunión de la Sociedad Americana de Física organizada por el Instituto Tecnológico de California (Caltech), Richard Feynman (Premio Nobel de Física en 1965) dio una charla denominada "Hay mu-

cho sitio al fondo." En su discurso imaginativo, Feynman discutió la promesa tecnológica de máquinas diminutas tan pequeñas como unos pocos átomos dando origen a la Nanotecnología. Existe actualmente la tecnología para la realización de transistores de longitudes de canal de 22 nm y ya hay en producción transistores de 14 nm. Se prevé llegar a tener transistores de 5 nm en 2020. Esto obligará a solucionar problemas tecnológicos que suceden como consecuencia de esas dimensiones. La resolución de la litografía es clave en la miniaturización de los circuitos. Se debe garantizar un alineado perfecto de la máscara con la oblea durante todos los procesos litográficos minimizando los efectos de difracción y distorsión ópticas, por no hablar de la resolución exigida a la máscara. Hay que tener en cuenta que, cuanto menores son las dimensiones de los componentes, menor debe ser la longitud de onda de la luz para que la difracción sea inapreciable. La luz UV es una solución estándar pero las lentes de vidrio son opacas a ella (se utiliza cuarzo). Una solución puede estar en la utilización de rayos X (aún más energética) pero hace falta encon-



Sala blanca de Intel.

Imagen cedida por la autora.

“Se prevé llegar a tener transistores de 5 nm en 2020. Esto obligará a solucionar problemas tecnológicos que suceden como consecuencia de esas dimensiones”.

trar un material que sea opaco a los penetrantes rayos X y avanzar en las películas fotosensibles a estas longitudes de onda.

¿Podría llegarse a una densidad de dispositivos equivalente a la densidad neuronal en el cerebro humano? Si queremos establecer una relación entre número de transistores y neuronas, nos encontraremos con el problema de la conectividad. Al aumentar el número de transistores por chip, surge la necesidad de un mayor número de conexiones entre ellos, por lo que se necesitan más capas de metal -separadas por aislante- para la interconexión. Actualmente el número de capas de metal y los parásitos asociados a ellas es uno de los mayores problemas a resolver por la tecnología microelectrónica.

Quedan todavía muchos retos por alcanzar en la tecnología del silicio, una tecnología consolidada y todavía imbatible a otras alternativas, y que ha sido y es fuente de continuos hitos tecnológicos y sociales.

Concepción Aldea

Dpto. de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza

REFERENCIAS

1. J. S. Kilby, "The Integrated Circuit's Early History", Proceedings of the IEEE, vol. 88, n. 1, Jan 2000
2. W. F. Brinkman, D. E. Haggan and W. W. Troutman, "A History of the Invention of the Transistor and Where It Will Lead Us", IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 32, n. 12, Dec 1997
3. J. Singh, Dispositivos Semiconductores, McGraw-Hill, 1997
4. K. Dean and G. White, The Semiconductor Story, Wireless World, 1973
5. E. Braun and S. Mc. Donald, Revolution in Miniature, Cambridge University Press, 1978
6. C. T. Sah, "Evolution of the MOS Transistor," Proceedings of the IEEE, vol. 76, n. 10, Oct. 1988
7. R. G. Arns, "The Other Transistor: Early history of the Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor," IEEE Engineering Science and Education Journal, vol. 7, n. 5, Oct. 1998

<http://www.endeavor.org/blog/new-endeavor-insight-report-analyzes-the-source-of-silicon-valleys-development/>

<http://www.intel.com/content/www/us/en/history/museum-visiting-intel.html>

http://www.intel.la/content/dam/www/public/lar/xl/es/documents/40_aniversario_del_procesador.pdf

<http://www.computerhistory.org/>

<http://www.pbs.org/transistor/index.html>

EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULA: ¿ES POSIBLE?

POR BEATRIZ RODRÍGUEZ

“Diseñando y construyendo según los parámetros del estándar passivhaus se puede llegar a ahorrar hasta el 90% de la energía necesaria para climatizar nuestra casa”.



Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible?

La Unión Europea posee actualmente una dependencia energética del exterior próxima al 70%, siendo además una situación que se agrava con los años ya que cuenta con unos recursos energéticos limitados. El sector de la construcción es responsable del 40% de las emisiones de CO₂ y del consumo energético a nivel mundial. Con el fin de paliar este problema, se publicó en el año 2010 la Directiva Europea 2010/31/EU. Según esta directiva, a partir del año 2020 todos los edificios de nueva construcción de la UE (y a partir de 2018 todos los edificios públicos) deberán ser de consumo de energía casi nula, denominados con las siglas nZEB (nearly zero energy building).

Pero, ¿cómo son estos edificios y cómo funcionan? ¿Por qué consumen tan poco? ¿Serán mucho más costosos? ¿Cuál es la diferencia con nuestras viviendas? Y lo más importante, ¿estamos preparados en España para construir y vivir en estas casas?

HIPOTECA ENERGÉTICA

Desde hace muchos años, con la subida del precio del combustible, la primera pregunta que nos hacíamos todos, cuando comprábamos un coche, era cuántos litros consumía a los 100, consultamos las gráficas de consumo en función de la velocidad, e incluso, en los últimos tiempos, empezamos a preguntarnos

“El 30% del consumo energético anual de España se debe a las familias. De este porcentaje, el 18% lo representa la vivienda y el 12% el vehículo motor.”

cuánto contamina. Es normal esta preocupación, teniendo en cuenta que un coche se usa de media en nuestro país durante 9 años.

Pero, ¿cuánta gente se ha preguntado cuánto consumirá su casa cuando ha firmado una hipoteca? ¿Es menos importante?

Según datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía y de la International Energy Agency, el 30% del consumo energético anual de España se debe a las familias. De este porcentaje, el 18% lo representa la vivienda y el 12% el vehículo motor.

Si trasladamos esta cantidad de consumo de energía a dinero, el gasto en electricidad y combustible de una vivienda se encuentra en torno a 1500 €/año, dependiendo del tipo de casa y de combustible, mientras que el consumo de un vehículo medio es de 900€/año. Teniendo en cuenta que una casa cuesta en torno a quince veces más que un coche, y que suele ser para toda la vida, es hora de que empecemos a preocuparnos por nuestra “hipoteca energética”.

Es un hecho que cada vez más familias tienen dificultades para pagar los gastos de electricidad y calefacción, y los precios de la energía no paran de subir en nuestro país. Un ejemplo es el coste de la energía eléctrica en nuestros hogares, que ha ascendido desde 0.094 €/kwh en 2006, hasta aproximadamente 0.16 €/kwh en la actualidad. La evolución del precio del petróleo es todavía mucho más inestable, dependiendo además de los conflictos armados de los países que nos abastecen de dicho combustible.

Si a la subida del precio de la energía le sumamos la bajada salarial de los últimos años (en torno a un 8% según datos del Instituto Nacional de Estadística), el resul-



tado obtenido es que, para pagar el aumento de gasto en energía y vivienda, la familia media española ha tenido que reducir drásticamente su gasto en vehículo, vestimenta y alimentación. Éste es el resultado de nuestra actual hipoteca energética.

CONSUMOS ENERGÉTICOS DE UNA VIVIENDA

Cuando se habla de cómo disminuir el consumo energético de una casa, siempre se piensa en el etiquetado que indica la eficiencia energética de los electrodomésticos, y en el uso de bombillas LED para la iluminación. ¿Tan importantes son de verdad estos consumos energéticos?

Según datos de Eurostat, del consumo energético total de electricidad y combustible de una vivienda, los electrodomésticos y la iluminación suponen el 33.2%. El consumo energético restante (66.8%), se debe a la climatización y producción de agua caliente sanitaria.

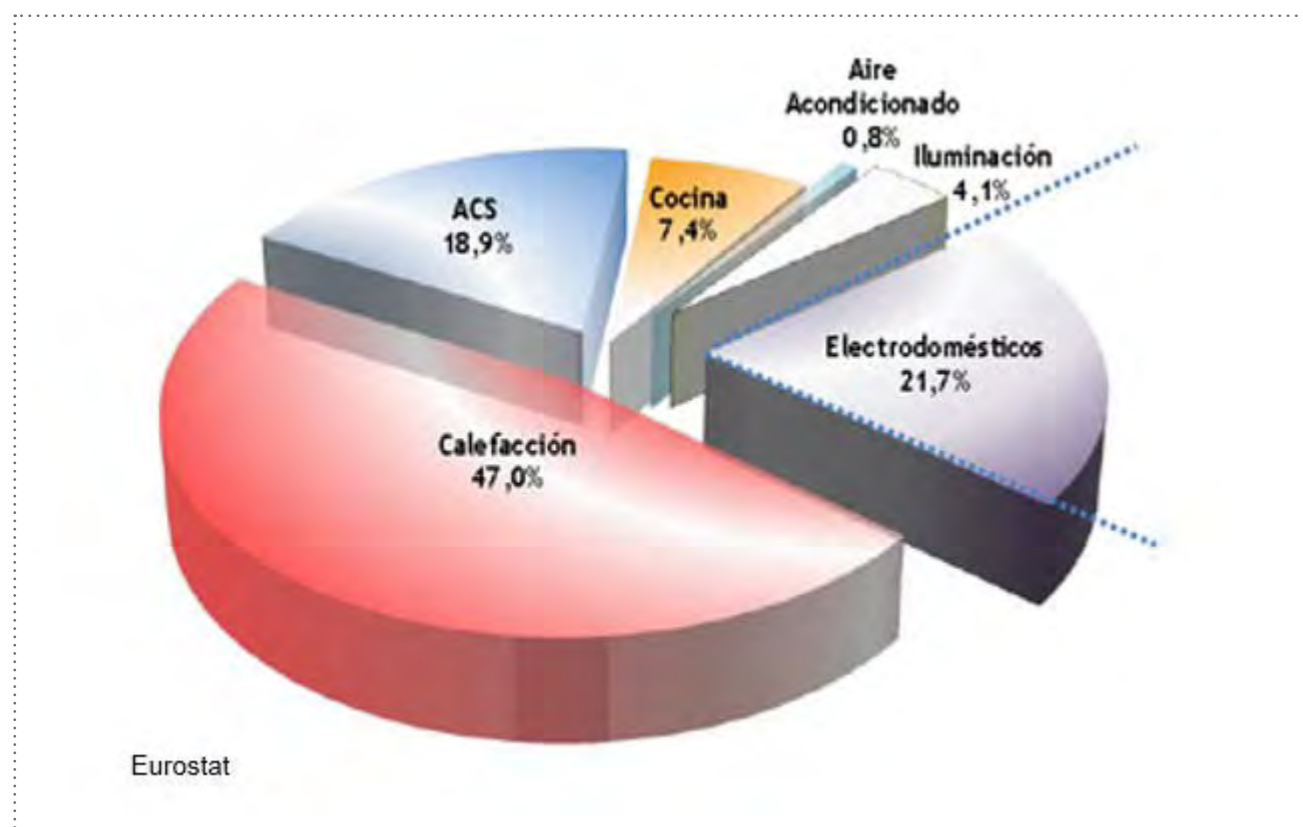
Con el uso de electrodomésticos de clase A++ y bombillas LED se puede llegar a ahorrar un 90% de energía consumida por los mismos respecto a una vivienda con electrodomésticos clase C y bombillas incandescentes. También haciendo un buen uso de los electrodomésticos podemos disminuir sustancialmente el consumo de energía. Lavando, por ejemplo, la ropa en

HOGAR para 4 PERSONAS (1)		TRANSPORTE (2)	
Pisos. Electricidad +	Unifamiliar Electricidad +	Vehículo medio	
gas natural	Gasoil	Gasoil	Gasoil
1500 €/año	2000 €/año	2750 €/año	900 €/año

(1) Media de varias empresas
(2) IDAE

Imagen cedida por la autora.

Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible?



“La normativa española limita el consumo de demanda de calefacción y refrigeración con energías no renovables de las viviendas”.

frío ahorramos hasta un 90% del consumo de la lavadora, ya que el 90% de la electricidad que consume es para calentar el agua.

En cambio, al comprar o alquilar una casa, no era frecuente preguntar por el consumo de climatización o de producción de agua caliente sanitaria, cuando supone el 66,8% del consumo total.

En la actualidad, todas las casas, que se vendan o alquilen, tienen la obligación de mostrar al cliente su certificado energético, que funciona de forma similar a la clase energética de los electrodomésticos. Para ello los técnicos deben simular energéticamente la vivienda, y calcular la energía de calefacción, refrigeración y ACS demanda al año, (medido en kWh/m²año) así como el CO₂ que emite. En función del CO₂ emitido, califica la vivienda entre clase G y clase A.

Por tanto, ¿qué una vivienda sea clase A significa que consume menos energía que una clase B? No tiene por qué ser así, ya que se califica en función de la emisión de CO₂ y no del consumo de energía. De esta forma, podría darse la situación de construir

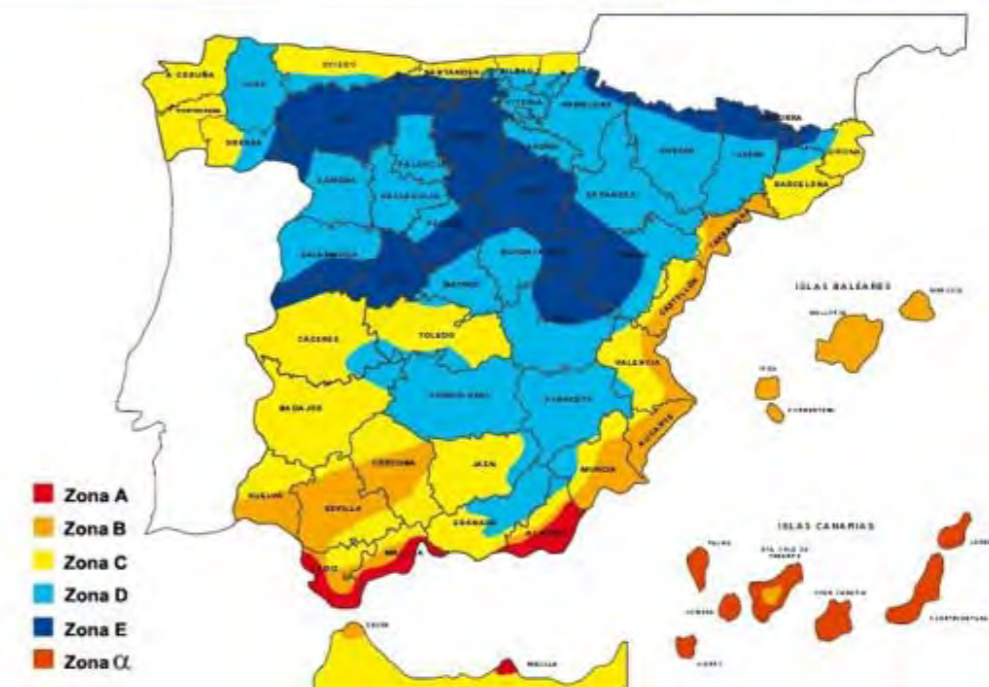
una casa con paredes de chapa, que se abasteciera con una caldera de biomasa y podría ser clase A ya que la biomasa se considera que no produce emisiones de CO₂. Por otra parte, esta situación nunca llegará a darse, ya que la normativa española (el Código Técnico de la Edificación), limita el consumo de demanda de calefacción y refrigeración con energías no renovables de las viviendas, y exige unos aislamientos mínimos de los cerramientos en función de su ubicación.

CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS VIVIENDAS EN ESPAÑA Y OBJETIVO EUROPEO 2020

Con la modificación normativa que se produjo en España en el año 2013, las viviendas pueden demandar entre 30 y 60 kWh/m²año de calefacción y refrigeración a través de energías no renovables. Se permite consumir más a las zonas climáticas de España donde hace más frío en invierno, y menos a las zonas más cálidas.

“La casa solo precisa de un recuperador de calor en el sistema de ventilación mecánica, para calefactar y refrigerar toda la vivienda”.

	Zona climática española					
	α	A	B	C	D	E
Demanda máxima normativa España (kWh/m²año)	40	40	45	50	60	70
Demanda máxima Passivhaus (kWh/m²año)	15	15	15	15	15	15



Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible?

Pero tal y como hemos mencionado, para el año 2020 todos los edificios deberán ser nZEB. La definición que realiza la Directiva de este tipo de edificios es muy laxa, sin indicar cuánto pueden consumir, cómo deben diseñarse, ni cómo deben alimentarse de energía. Por ello, la Comisión Europea ha tomado la metodología constructiva Passivhaus desarrollada en Alemania por el Passivhaus-Institute Darmstadt, como referencia de cómo debe ser un nZEB, extendiéndose por toda Europa como referente en las modificaciones normativas para adaptar sus edificios para el año 2020.

El estándar Passivhaus permite una demanda energética tanto en calefacción como en refrigeración de 15 kWh/m²año, entre abastecimiento tanto de energías renovables como de no renovables. Para ello aconseja, pero no impone, una serie de aislamientos muy superiores

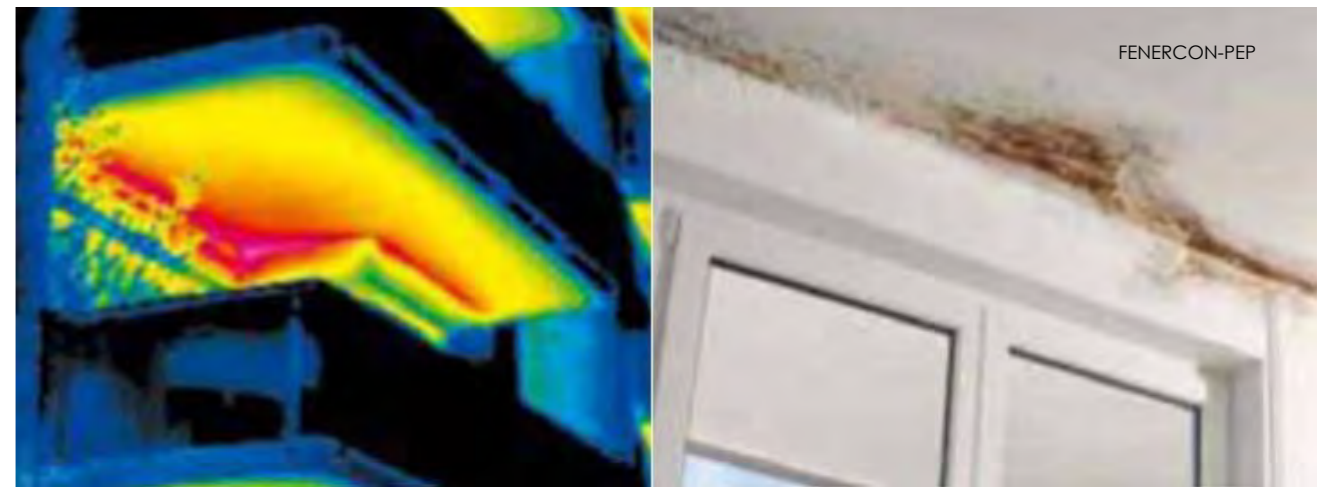
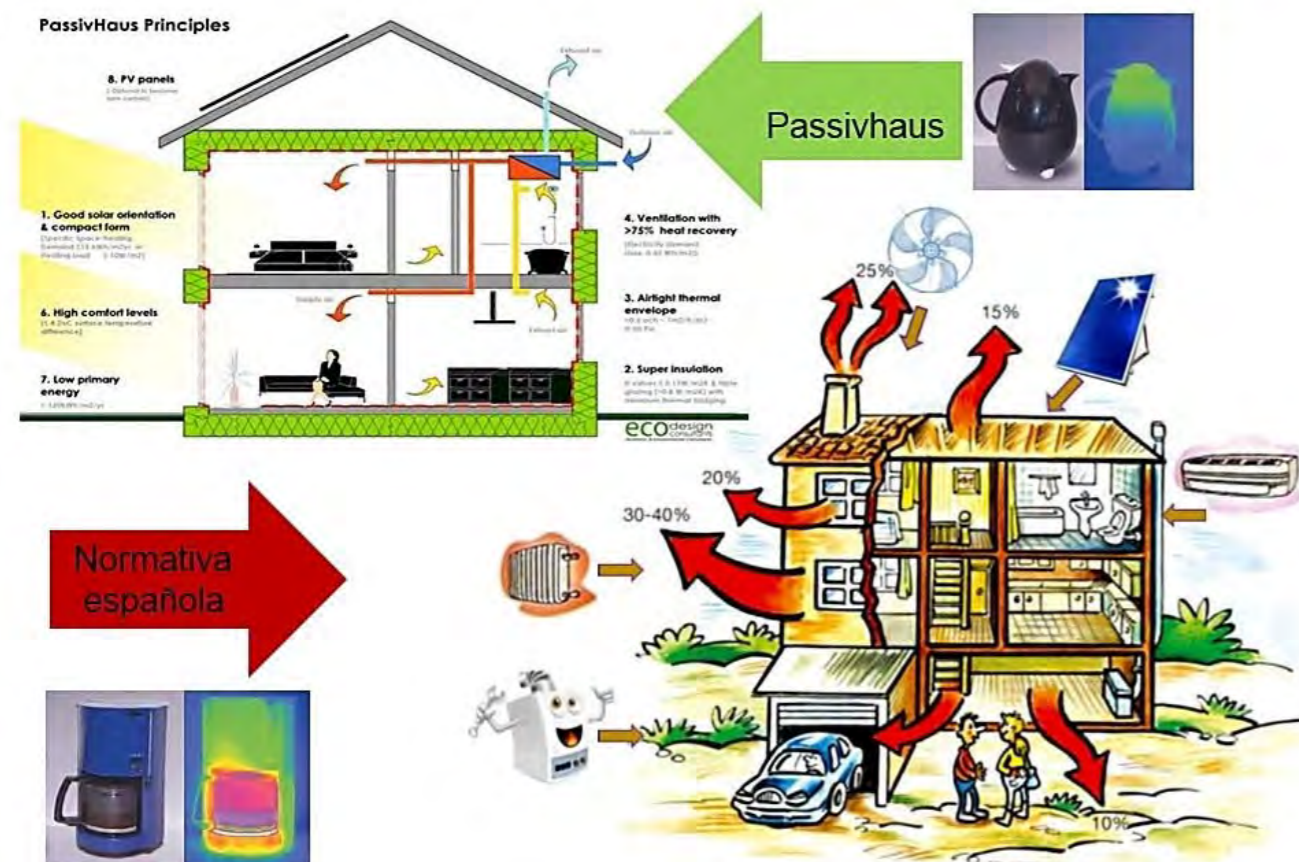
que prácticamente duplican los exigidos por la normativa española. La demanda energética, en este caso, no depende de la ubicación climática de la casa, exigiendo por tanto mucho más aislamiento en las zonas más frías.

¿CÓMO SE CONSIGUEN ALCANZAR ESTOS OBJETIVOS DE DEMANDA ENERGÉTICA TAN RESTRICTIVOS?

Cuando diseñamos un edificio con la normativa española, primero se imponen unos aislamientos mínimos en los cerramientos que dependen

Funcionamiento de una vivienda diseñada con la normativa española y con el estándar Passivhaus.

IPHA, IDAE y EUROSTAT.



de la ubicación del mismo. Posteriormente, se incluyen instalaciones que abastecen de energía a la vivienda: una caldera con unos radiadores para la calefacción y para producir ACS, un fancoil para la refrigeración, un ventilador que renueva el aire que entra en la vivienda a través de aberturas fijas en los marcos de las ventanas... Para terminar se añaden instalaciones que producen energías renovables, como paneles solares para producción de ACS, paneles fotovoltaicos, geotermia... hasta alcanzar los límites de demanda de energía no renovable establecidos por la normativa. Vamos mejorando el rendimiento de las instalaciones para disminuir el consumo energético necesario para mantener el confort en la vivienda.

Es decir, nuestra casa es como una cafetera eléctrica. Gastamos energía continuamente en generar el calor que pierde el recipiente.

El estándar passivhaus, en cambio, parte de un proceso de diseño y unos criterios completamente distintos. Diseñando y construyendo según los parámetros de este estándar se puede llegar a ahorrar hasta el 90% de la energía necesaria para climatizar nuestra casa.

FUNCIONAMIENTO DE UN EDIFICIO PASSIVHAUS

La base de diseño y funcionamiento de casa Passivhaus es completamente distinta a la de una vivienda convencional. La

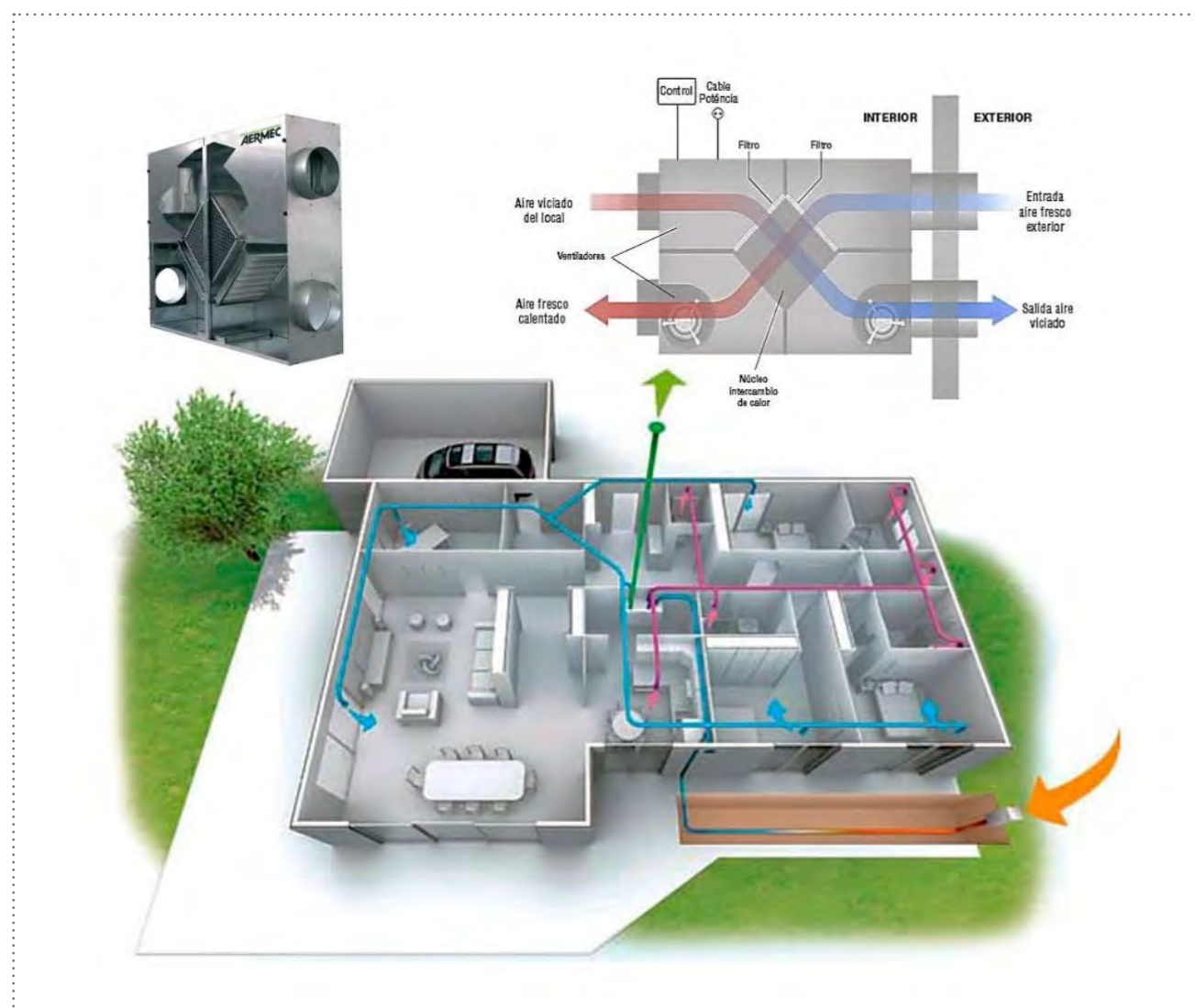
casa Passivhaus posee unos aislamientos térmicos tan buenos, que las pérdidas energéticas a través de ellos se compensan prácticamente solo a través de un diseño bioclimático adecuado y las cargas térmicas internas (que son el calor producido por los propios ocupantes, la luz y los electrodomésticos y que es transferido por el aire). Es decir, en vez de funcionar como una cafetera, funcionan con termo. Ya que, ¿cuál es mejor remedio para ahorrar energía?... No gastarla. Cumpliendo con todos sus criterios de diseño, la casa solo precisa de un recuperador de calor en el sistema de ventilación mecánica, (a veces con el apoyo puntual de una pequeña batería de agua a su entrada), para calefactar y refrigerar toda la vivienda, sin necesidad de incorporar ninguna otra instalación (ni radiadores, ni fancoils).

Como ya se ha comentado, estas viviendas tienen una demanda energética inferior a 15 kWh/m²año tanto en calefacción como en refrigeración, provenga o no la energía de fuentes renovables. Si además la climatización se realiza por el aire del sistema de ventilación con recuperación de calor, la carga

térmica puntual debe ser inferior a 10W/m². Se limita a esta cantidad para que pueda ser superada por el calor transferido por las cargas internas de la vivienda a una velocidad de aire determinada y que se encuentra limitada por la capacidad calorífica del aire.

“Al tener que calentar menos el aire, gastamos también menos energía”.

Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible?



Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor.

www.aitecnics.com, AERMEC, SIBER.

¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTAS VIVIENDAS?

1.- Edificios con un alto grado de aislamiento y un riguroso control de los puentes térmicos

Passivhaus no impone un determinado grado de aislamiento al diseñador ni le indica cómo debe ser la composición de sus cerramientos. Pero además del parámetro limitante final de demanda de 15 kWh/m²año, nos exige el cumplimiento de dos parámetros de diseño que condicionarán el aislamiento de la vivienda: que el aislamiento sea continuo en toda la casa, sin dejar elementos como pilares, frentes de forjados, alféizares... con menos aislamiento que el resto de la paredes (los denomi-

nados puentes térmicos), y que la temperatura interior de todas las superficies interiores de la vivienda sea superior a 17°C. De esta manera, además de reducir drásticamente el consumo de energía, evitamos dos cosas: que se produzcan condensaciones, y el efecto de pared fría. Se denomina efecto de pared fría a la sensación térmica de discomfort que nos produce estar en una habitación al lado de un elemento mucho más frío que el resto (por ejemplo, al lado de una cristallera). El confort térmico no solo se consigue calentando el aire y evitando los gradientes térmicos. También depende de la temperatura superficial de las paredes, que irradian frío o calor. De hecho, la normativa nos exige mantener lo que se denomina temperatura operativa que, de forma simplificada, puede resumirse como la media de la temperatura de las paredes y la temperatura del aire. Esta temperatura es la que regula la sensación de confort térmico. Por tanto, cuanto mayor es la temperatura de las paredes, podemos tener una menor temperatura del aire para conseguir la misma sensación de confort. Es decir, al tener que calentar menos el aire, gastamos también menos energía.

2.- Carpinterías de gran calidad

Al igual que a los cerramientos opacos, a las carpinterías se les exige que tengan una gran resistencia térmica (resistencia a transferir el calor a través de ellas). La diferencia de lo que exige la normativa española con respecto al Passivhaus es todavía mucho mayor que el caso de los cerramientos. Los valores de aislamiento triplican los requeridos por nuestra normativa, para cumplir con el requerimiento de evitar el citado efecto de pared fría. Para la construcción de estas viviendas, es habitual usar carpinterías de PVC con triple rotura de puente térmico o de madera y vidrios con doble cámara de aire, siendo alguno de ellos

“No solo disminuimos radicalmente nuestra hipoteca energética sino que aumentamos considerablemente nuestra calidad de vida”.

bajo emisivo. Atrás queda el uso del aluminio, ya que poco sentido tiene usar un material altamente conductor como aislante térmico de nuestra vivienda y cuyo precio además supera el de la carpintería de PVC.

3.- Riguroso control de las infiltraciones

Las infiltraciones en un edificio se definen como las entradas incontroladas de aire. Estas se producen a través de la caja de las persianas, de los encuentros de las carpinterías con la fachada, en los encuentros con pilares, forjados, soleras, cubiertas y entre los propios cerramientos entre sí. En España, solo se limitan las infiltraciones de las ventanas, y ni si quiera se controla la colocación de las mismas. Es decir, se limita la entrada de aire del propio elemento ensayado solo en un laboratorio, sin persiana y sin instalar en ningún cerramiento.

En las viviendas Passivhaus, se limita la infiltración de aire que se produce en toda la vivienda una vez terminada a 0,6 renov/h para una diferencia de presión de 50 Pa. Es decir, que a esa diferencia de presión (que nunca se produce de forma de natural, sino que se encuentra en torno a 1 Pa) se renueva el aire menos de 0,6 veces a la hora. Se mide de esa manera porque es la forma en que lo exige una normativa europea. ¿Y cómo se mide? Con lo que se denomina prueba de Blower-door. Se cierran todas las ventanas de la vivienda, se coloca en la puerta un ventilador que genera una depresión de 50 Pa y se mide cuánto aire

Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible?

entra. Esta prueba se ha realizado en viviendas del parque edificatorio español, dando como resultado en nuevas edificaciones 4 renov/h y en antiguas unas 10 renov/h. Esto equivaldría a tener, con una velocidad de viento normal, un hueco de 0,5m x 0,5m permanentemente abierto al exterior.

Para evitar las infiltraciones es indispensable un riguroso control de la obra. Deberán sellarse todos los encuentros de los elementos que envuelven el edificio con materiales específicos que no se degraden y absorban posibles dilataciones sin romper por cambios de temperatura.

4.- Aprovechamiento óptimo del soleamiento y factor de forma

En el diseño de casas Passivhaus, debemos tener especial cuidado con el factor de forma del edificio. El factor de forma relaciona el volumen encerrado por la vivienda y la superficie de cerramientos adyacentes al exterior. Un mal factor de forma hace que, para un mismo volumen interior habitable, haya mucha más superficie exterior por la que se producen pérdidas energéticas. Con un factor de forma, re-

sultado de un diseño inadecuado, es muy difícil conseguir limitar la demanda de calefacción y refrigeración por debajo de los 15kWh/m²año. Se aconseja para llegar al estándar un factor de forma por debajo de 0,6.

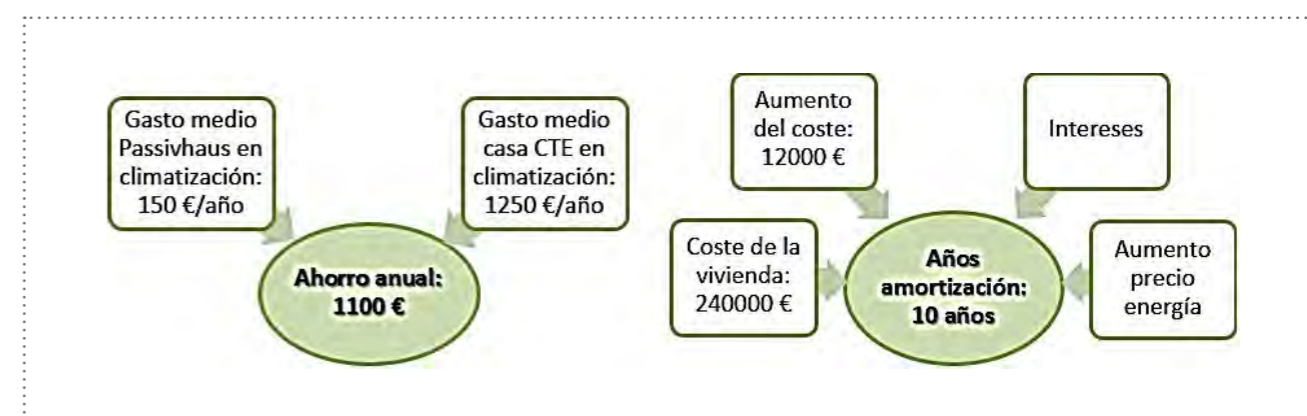
Importante también en el diseño de la casa es la ubicación de huecos y elementos para aprovechar el calor cedido por el sol en invierno y evitarlo en verano. También puede combinarse con la utilización de superficies captadoras y almacenadoras de calor y aleros que eviten el sobrecalentamiento en verano.

5.- Sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor de la ventilación

Con los aislamientos que estamos obligados a instalar en nuestras viviendas desde el año 2013, las cargas térmicas de la ventilación de las viviendas suponen ya el 45% del total de la carga térmica de la misma. Adoptando los aislamientos adecuados para una vivienda Passivhaus, este porcentaje asciende en España en

“En España, solo se limitan las infiltraciones de las ventanas, y ni si quiera se controla la colocación de las mismas”.

www.halifaxglass.co.uk



Costes y amortización de la construcción de una vivienda Passivhaus respecto a una vivienda convencional.

Imagen cedida por la autora.

torno al 80%. Por tanto, pasa a ser el sistema de mayor influencia en el consumo energético de las mismas.

En la actualidad, el sistema de ventilación que se usa en nuestro país para una vivienda consiste en dejar aperturas ocultas en las carpinterías, por las que se introduce aire directamente desde el exterior las 24 horas del día. Este aire es introducido a través de un ventilador que genera una depresión en la vivienda.

En las viviendas Passivhaus, para evitar el gasto de tener que climatizar constantemente este aire exterior, se opta por un sistema de ventilación mecánica con recuperación de calor. En este sistema, el aire entra por un solo conducto por lo que la envolvente y las carpinterías pasan a ser completamente estancas. Ese aire exterior es pasado a través de un filtro para eliminar todo tipo de partículas contaminantes o alérgicas y, posteriormente, a través de un ventilador de impulsión se introduce en un recuperador de calor. En el recuperador de calor,

el aire que se introduce se precalienta antes de ser impulsado al interior de la vivienda, con el aire que se extrae del interior de la misma, a través de un ventilador de extracción, y que ya está climatizado. Ambas corrientes de aire no se mezclan, sino que pasan por el interior del recuperador de calor a través de placas altamente conductoras que favorecen la cesión de calor de un fluido a otro. En la actualidad, existen recuperadores de calor con eficiencias de hasta el 94%. Quiere decir que, si el aire exterior se encuentra a 2°C, entra en la vivienda a 20°C al precalentarse con el aire interior que se expulsa a 21°C. Ese precalentamiento es completamente gratuito.

CUÁNTO CUESTA UNA PASSIVHAUS

Sería muy osado establecer un porcentaje de coste adicional de una casa Passivhaus/nZEB respecto de una casa convencional, ya que depende de la tipología de cerramientos, acabados, volumetría, de si es un piso o una unifamiliar... Pero, en base a la experiencia de proyectos ya construidos, se puede dar como cifra orientativa que el aumento de coste medio es de un 10%. Este porcentaje es tan bajo debido a que, aunque hay que aumentar el aislamiento, sellar los encuentros, mejorar las ventanas e incluir un recuperador de calor, por otra parte, no necesitamos un sistema de calefacción ni

Edificios de consumo de energía casi nula: ¿Es posible?

refrigeración convencional. Además, la normativa española, al instalar un recuperador de calor, ya no obliga a la instalación de paneles solares. Por otra parte, el abastecimiento de ACS puede hacerse a través de un aerotermo que al mismo tiempo caliente o enfríe el agua de las baterías de apoyo del recuperador.

Según puede observarse en la figura, la amortización de esta inversión, puede recuperarse fácilmente a los 10 años, gracias al ahorro anual de gasto de energía que se produce.

¿ESTAMOS PREPARADOS EN ESPAÑA PARA CONSTRUIR Y VIVIR ESTAS CASAS?

La principal diferencia en la construcción de una vivienda Passivhaus/nZEB es el gran esfuerzo y horas de trabajo que hay que emplear en el diseño del edificio y un aumento del control de la obra. Es difícil convertir el proyecto de una vivienda convencional en una vivienda Passivhaus/nZEB. Como siempre digo, se trata

de una forma de pensar, una forma de diseñar y una forma de construir. Una vivienda solo será Passivhaus/nZEB si, desde el momento de su concepción, se ha pensado para ello. Los "apaños" no tienen cabida en este estándar constructivo. A nivel de proyecto se precisa desarrollar completamente los detalles constructivos de todos los diferentes encuentros del edificio, así como el cálculo por elementos finitos de todos los puentes térmicos. Se precisa realizar simulaciones dinámicas de su comportamiento térmico con programas específicos distintos a los que nos obligan nuestras normativas que, todo sea dicho, tienen varias deficiencias de cálculo.

A nivel de obra, deben revisarse todos los encuentros y el sellado de todos los elementos, así como la realización de pruebas de estanqueidad.

Estas casas pueden construirse perfectamente en España con la tecnología disponible, aun-



que es necesario ampliar el conocimiento y concienciación de los técnicos. Pero sobre todo, para ello es necesario que la sociedad demande estas construcciones y no se conforme con la compra de viviendas que, para el año 2020, serán completamente obsoletas.

Pero no solo el ahorro energético es un factor clave para querer vivir en una Passivhaus, más importante todavía es el aumento que se consigue en el confort térmico y en la calidad de aire interior. Se trata de casas donde no existen gradientes térmicos ni paredes frías, ni corrientes de aire molestas. En el caso, además, de vivir en una ciudad con grandes cantidades de contaminación o de poseer alergias, se obtiene una calidad de aire que no se consigue con nuestras viviendas ya que, para ventilar, introducimos las 24 horas del día aire exterior con el sistema actual de ventilación contaminado con elementos alergénicos. En las viviendas Passivhaus, el aire de la ventilación no entra por aberturas ocultas en las carpinterías, sino por un conducto que posee un filtro que elimina todos estos componentes. Es decir, no solo disminuimos radicalmente nuestra hipoteca energética sino que aumentamos considerablemente nuestra calidad de vida.

Beatriz Rodríguez

Centro Universitario de la Defensa
Universidad de Zaragoza

Socia Plataforma Edificación Passivhaus

REFERENCIAS

- Micheel Wassouf. "De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos". GG. ISBN: 9788425224522. 2015 (1ª edición, 2ª tirada).
- Plataforma Edificación Passivhaus, Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid. "Guía del estándar Passivhaus, edificios de consumo energético casi nulo". M-37.033-2011.
- Buildings Performance Institute Europe (BPIE). "Principles for Nearly Zero-Energy Buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements". ISBN: 9789491143021. 2011.
- Rodríguez B., Domínguez J., Pérez J.M., Coz J.J. "Review of international regulations governing the thermal insulation requirements of residential building and the harmonization of envelope energy". RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS. Vol 34, 78-90. 2014.
- Rodríguez B., Domínguez J., Pérez J.M., Coz J.J. "Quantitative analysis of the divergence in energy losses allowed through building envelopes". RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS. Vol 49, 1000-1008. 2015.



Construyendo...

*...el Espacio Europeo
de Educación Superior*



¡Matricúlate!

ciencias.unizar.es/web

Grado en Biotecnología
Grado en Física
Grado en Geología
Grado en Matemáticas
Grado en Óptica y Optometría
Grado en Química

GRADOS

Máster en Biología Molecular y Celular
Máster en Física y Tecnologías Físicas
Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones
**Máster en Modelización e Investigación Matemática,
Estadística y Computación**
Máster en Investigación Química
Máster en Química Industrial
Máster en Química Molecular y Catálisis Homogénea
**Máster en Nanotecnología Medioambiental
(ENVIRONNANO)**
**Máster en Materiales Nanoestructurados para
Aplicaciones Nanotecnológicas (NANOMAT)**
Máster Erasmus Mundus en Ingeniería de Membranas

MÁSTERES





UNA NUEVA POLÍTICA EDUCATIVA

“Nuestra legislación apenas dura una o dos legislaturas sin que se produzcan cambios significativos. La comparación internacional no nos deja en los puestos de honor en cuanto a formación de nuestros jóvenes”.

POR ANA ISABEL ELDUQUE

La necesidad de una política educativa consensuada en España, a la luz de los resultados de las elecciones de diciembre, parece todavía más difícil de lograr que antes de los comicios. Esta circunstancia se aprecia claramente en la falta de capacidad de los dirigentes de los partidos para alcanzar los acuerdos necesarios, pero también del análisis de los programas electorales con los que concurrieron a los comicios.*

El único acuerdo que parecía existir durante la legislatura anterior fue que todo el arco parlamentario, excepto el Partido Popular, se comprometió a derogar la LOMCE, también llamada Ley Wert, y buscar una nueva norma acordada por una mayoría de partidos y contando con la colaboración de miembros de la comunidad educativa, a saber, profesores, personal no docente, representantes de AMPAs y organizaciones empresariales del mundo de la

Educación. Ahí se acababa el acuerdo, pero además, este pacto no fue firmado por la tercera y cuarta fuerzas parlamentarias, dada su ausencia en la legislatura anterior. Por tanto, ni a este hecho podremos atenernos.

Para comprobar la dificultad del acuerdo, voy a analizar las propuestas de los principales partidos según las posibles coaliciones.

La posible coalición de centro derecha, formada por el Partido Popular y Ciudadanos, presenta una serie de propuestas, según la temática, que muestran su cercanía ideológica, pero también unas diferencias importantes. Analizaremos primero las que les asemeja.

En ambos partidos se muestra claramente la idea de la necesidad de evaluación del sistema. Esta propuesta es coherente con las bases ideológicas liberales de ambas formaciones, en las que la evaluación y la libre competen-

cia son valores en sí mismos. C's añade, como novedoso, la recompensa a los alumnos más esforzados, sin que esto quede definido en qué podría consistir. Este tipo de recompensa, en forma de creación de grupos de alumnos aventajados, se practica en EE.UU. y es similar a lo que la Comunidad de Madrid implantó para el caso del Bachillerato. Ambas formaciones pretenden iniciar la enseñanza en lenguas extranjeras desde la Educación Infantil y también coinciden en apoyar la introducción de la enseñanza y uso de las nuevas tecnologías entre alumnos, profesores y centros. Aunque no está especificado como tal en el programa de C's tan claramente como en el del PP, ambas formaciones quieren garantizar el español como lengua vehicular para todos los que así lo elijan.

Pero también se aprecian unas diferencias notables que no se adivinan fáciles de solventar. La primera es la posición de C's ante la implantación de LOMCE, de la cual nada se ha afirmado.

C's habla de un Plan Nacional de Educación consensuado, tarea que se antoja imposible de lograr si atendemos a la historia de la política educativa desde 1977. C's también plantea unos objeti-

vos para el profesorado más ambiciosos, con nuevos planes formativos y de carrera profesional, con mayores exigencias en el conocimiento de la lengua inglesa y planes de formación y recompensa del profesorado. A la luz de lo llevado a la práctica por el PP durante los anteriores cuatros años, propuestas de esta índole no han debido ser consideradas por los populares como adecuadas, a pesar de haberlo podido hacer gracias a la mayoría parlamentaria de la que han disfrutado.

Otro punto que presenta una clara discrepancia es la autonomía de los centros. Para el PP, según lo acontecido desde 2011, la única autonomía posible era la referida a la implantación de la enseñanza de Religión. En cambio, C's propone una mayor capacidad decisoria para los centros en gestión de personal, algo que choca de lleno con la política de control estricto de la tasa de reposición llevada a cabo desde el Ministerio de Hacienda y que ha afectado al número de docentes que han podido acceder al Sistema Educativo público en todos sus niveles.

C's también señala que su ideal es una educación pública y laica, lo cual no coincide con la defensa a ultranza de los populares de la educación concertada y la libertad de elección de centro de los padres. Si se permite a organizaciones particulares entrar a formar parte del sistema educativo, a través de la educación privada y concertada, hay que tener en cuenta que el plazo de desarrollo de dicha actividad es largo y exige una seguridad jurídica. Por tanto, es imprescindible definir en qué modo se permite la participación no estatal en el sistema educativo, privada o concertada, y qué cuantía. C's no lo define en su programa.

“El único acuerdo que parecía existir durante la legislatura anterior fue que todo el arco parlamentario, excepto el Partido Popular, se comprometió a derogar la LOMCE”.

* Una versión reducida de este artículo fue publicada por Heraldo de Aragón (25 de enero de 2016, pag. 17).



Una nueva política educativa

Finalmente también surge una importante diferencia en el asunto de la enseñanza religiosa. El PP ha manifestado claramente su voluntad de permitir que aquellos centros que así lo soliciten puedan implantar la enseñanza de la Religión como asignatura curricular no obligatoria. C's, por su parte, propone la impartición de una asignatura obligatoria de Historia de las Religiones, impartida por profesores funcionarios no seleccionados por la Conferencia Episcopal y poniendo énfasis en los aspectos histórico-culturales y sociales de las religiones. No son propuestas comparables de ninguna manera.

Como última hay que señalar que ni el PP ni C's proponen ninguna cifra de gasto para la financiación del sistema educativo público.

En el cuadro anexo se resumen por materias las principales propuestas del PP y de C's comentadas en los párrafos anteriores.

En el bloque de partidos de izquierdas también aparecen coincidencias y diferencias significativas. Nuevamente comenzaremos por las coincidencias.

La principal, y comentada al inicio del artículo, es la voluntad de las tres grandes formaciones, PSOE, Podemos e IU, de paralizar y derogar la LOMCE. Otra gran coincidencia es la voluntad de hacer la educación gratuita desde los 0 hasta los 18 años, es decir, desde la Educación Maternal hasta la Universidad. Así como en el bloque de centro derecha se apreciaba una tendencia a la evaluación, en el bloque de centro izquierda la tendencia a una formación más individualizada, con especial atención en los alumnos que presentan carencias y dificultades. También es coincidente con la ideología de carácter progresista esta tendencia hacia valores como solidaridad y fraternidad que estas formaciones profesan.

Pero a partir de aquí ya comienzan a aparecer notables diferencias o, al menos, ausencias de definición.

Una importante es la posición ante la Educación Concertada. IU propone su supresión paulatina. La historia nos dice que el PSOE no es partidario de su supresión, aunque tampoco



MATERIA	PP	C's
LOMCE	Continuar su implantación	Plan Nacional de Educación consensuado
Educación Concertada	Defensa y apoyo	---
Libertad de elección de centro	Apoyo	---
Evaluación alumnos	Reválidas	Recompensa a los más esforzados
Formación y evaluación del profesorado	---	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación y reconocimiento del profesorado Nuevos planes de estudios específicos para docentes Aumento de las exigencias formativas Exigencia de conocimiento de inglés
Evaluación de los centros educativos	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación y clasificación de los centros Libertad de elección de centro 	Autonomía en gestión de personal y en oferta de asignaturas optativas
Idiomas	<ul style="list-style-type: none"> Potenciar enseñanza de idiomas Primera lengua extranjera desde Educación Infantil 	Potenciar la enseñanza de inglés
Bilingüismo	<ul style="list-style-type: none"> Garantizar la educación en castellano Bilingüismo integrador 	---
Valores cívicos	---	Formación en valores cívicos y constitucionales
Religión	Religión curricular	Asignatura obligatoria de Historia de las Religiones
Nuevas tecnologías	Aumentar la implantación y la conectividad del aula	---
Dotación presupuestaria	---	---
Escolarización	---	---
Otros	Refuerzo de las enseñanzas artísticas y musicales	Educación pública y laica

de su fomento. Y de Podemos, de momento, no tenemos noticia. Es, como ya he dicho antes, una cuestión lo suficientemente importante como para requerir de todos los partidos una posición, una decisión y un respeto a la misma.

Tampoco está claro qué nivel de autonomía tienen los centros educativos. IU propone que el desarrollo curricular sea, en parte, una com-

petencia del centro. Podemos pide una reducción de las ratios, lo cual dependerá de la capacidad del propio centro y el PSOE apenas aporta nada en este aspecto.

La formación del profesorado es también un punto complejo. El PSOE propone una etapa de formación de los docentes, remunerada pero evaluable, de un modo análogo al que hacen

los médicos para obtener su especialidad a través de sus años de MIR. También Podemos indica la necesidad de un Plan de Formación del Profesorado, pero sin mayor detalle, mientras que IU no propone nada específico. Podemos por su parte apuesta por reducir la carga lectiva del profesorado para que puedan dedicar ese tiempo a formación y preparación de otras actividades, siendo responsabilidad del sistema el dotar con nuevo personal las necesidades que se generen, tanto por este motivo como por otros, fundamentalmente la reducción de ratios.

La enseñanza de la Religión tampoco es un punto común. Mientras que para el PSOE su tratamiento actual, ni obligatoria ni curricular, parece suficiente, IU propone la prohibición de enseñanzas religiosas de cualquier tipo.

En cuanto a la cuestión económica, tanto el PSOE como IU proponen aumentar el gasto educativo hasta el 7% del PIB, pero en distintos plazos temporales (2020 para IU y 8 años para el PSOE). Podemos no cuantifica el gasto. Otras medidas económicas son del tipo de la propuesta por el PSOE sobre ayudas directas, como las becas de comedor, a familias en situación económica grave, desahuciados, y la de Podemos sobre la gratuidad de los libros de texto y la creación de un banco de libros.

En cuanto a valores, solo IU hace una llamada específica para que la educación tenga un carácter laico, integrador, intercultural, no sexista y ecológico. Estos valores, seguramente compartidos por otros muchos partidos, no son definidos de forma tan clara.

En el análisis anterior he pretendido mostrar no solo las diferencias que existen entre las distintas formaciones políticas según su ideología, sino también que aquellas más afines no son fácilmente asimilables. Tampoco es deseable que la mayor parte de las propuestas sean generalizaciones muy poco especificadas, pero esto pertenece casi a la idiosincrasia de los propios programas electorales y su indefinición sistemática.

MATERIA	PSOE	PODEMOS	IU
LOMCE	Derogación	Derogación	Derogación
Educación Concertada	---	---	Supresión progresiva
Libertad de elección de centro	---	---	---
Evaluación alumnos	Formación orientada a capacidades y competencias	Atención individualizada	Educación específica para los más necesitados
Formación y evaluación del profesorado	Implantación del "MIR" para acceso a la carrera docente	<ul style="list-style-type: none"> Plan de formación de profesorado Reducción de la carga lectiva Dotación de profesorado según las necesidades docentes 	---
Evaluación de los centros educativos	---	Disminución de las ratios	Autonomía en el desarrollo curricular
Idiomas	---	Plan de Aprendizaje de Lenguas Extranjeras	---
Bilingüismo	---	---	---
Valores cívicos	---	---	---
Religión	No curricular	No curricular	Exclusión de las enseñanzas religiosas
Nuevas tecnologías	---	---	---
Dotación presupuestaria	Aumento del gasto hasta el 7% del PIB en 8 años	---	Aumento del gasto hasta el 7% del PIB en 2020
Escolarización	Pública de 0 a 18 años	Pública gratuita desde los 0 años	Pública y gratuita hasta la universidad
Otros	Ayudas económicas directas a familias desahuciadas	Gratuidad de los libros de textos y creación de bancos de libros	<ul style="list-style-type: none"> Modalidades formativas específicas y prácticas remuneradas desde los 16 años Curriculum laico, intercultural y ecológico

Pero el hecho importante que hay que señalar por encima de todo es que no se percibe la posibilidad a corto plazo de alcanzar una propuesta común entre la mayor parte de las formaciones políticas. Las diferencias son de un gran calado como para ser obviadas. Las propuestas solo podrían conver-

“No se percibe la posibilidad a corto plazo de alcanzar una propuesta común entre la mayor parte de las formaciones políticas”.



ger si fueran exclusivamente enunciados carentes de contenido, pero esto tampoco es lo que más interesa a los españoles.

Desde hace muchos años estamos viendo cómo nuestro sistema educativo alcanza pocos logros formativos para los recursos que moviliza. Que nuestra legislación apenas dura una o dos legislaturas sin que se produzcan cambios significativos. La comparación internacional no nos deja en los puestos de honor en cuanto a formación de nuestros jóvenes. El fracaso escolar es demasiado elevado como para no ser tenido en cuenta. Seguimos mirando al norte de Europa y a Extremo Oriente como paradigmas de modelos educativos exitosos en cuanto a formación. Y seguimos anhelando ese Pacto Escolar tan pretendido por todos, como realmente poco buscado.

El sistema educativo debe tener objetivos, recursos, modos de funcionamiento y sistemas de evaluación claros, acordados y respetados. Veamos algunos de estos aspectos.

“La lengua vehicular no puede ser única. Si se quiere que esas comunidades sean bilingües, la escuela también”.

Las leyes educativas, del rango de Ley Orgánica, deben tener un respaldo parlamentario mucho más amplio que las que han existido hasta la fecha. Que un grupo político disponga durante cuatro años de una mayoría parlamentaria no significa que tenga derecho a imponer al resto su criterio. Hay que recordar que nunca un partido ha tenido más del 50% de los votos, aunque en varias ocasiones sí se hayan dado mayorías parlamentarias. La aplicación de una mayoría de 176 diputados es claramente insuficiente. Además, la educación es competencia de las comunidades autónomas. La no participación en la ley general de grupos políticos gobernantes en determinadas autonomías es ya el primer germen del fracaso. Hay que definir de una vez quiénes son los

agentes que participan en el sistema educativo. Ya he comentado anteriormente que la educación no pública debe dejar de ser objeto de discordia. Está claro que en España existen agentes que quieren desarrollar su actividad en el mundo educativo. Que esta participación sea de forma exclusivamente privada o disfrute de algún apoyo público, la llamada educación concertada, debe definirse y respetarse por todos. Su uso como arma de confrontación es un factor desestabilizador que no ayuda a que los ciudadanos tengan una valoración correcta del sistema educativo que tenemos. El ruido siempre entorpece la comunicación.

También hay que llegar a un acuerdo en lo que afecta al importe general de gasto que el país debe aplicar a la educación. Pero, al igual que con lo que atañe a las mayorías para aprobar la ley, la participación de las comunidades autónomas es básica y vital. En sus presupuestos, la partida dedicada a educación es una de las más importantes. El Estado Central y las comunidades deben acordar dotaciones presupuestarias plurianuales que garanticen el mantenimiento de un sistema educativo de calidad.

También es muy importante definir la autonomía que tienen los centros, en cuestiones de desarrollo curricular, adecuación a su entorno social y económico, puesta en marcha de iniciativas, fijación del personal docente y apoyo a su carrera profesional, fomento de la participación de todos los agentes de la comunidad educativa y otros muchos aspectos. Poco aparece en los programas comentados sobre cómo hacer que la escuela sea un elemento importante en la comunidad en la que está inmersa.

Otro factor clave a consensuar es el referido a la lengua vehicular. No podemos seguir permitiendo que según sea la lengua elegida por los progenitores del alumno, así será la clase de Historia y de Geografía. En las comunidades bilingües, el uso de ambas lenguas es cada vez más frecuente y ello exige un esfuerzo por los

ciudadanos que participan de ello, pero también es una fuente de riqueza. Pues en la escuela deberá ser lo mismo. La lengua vehicular no puede ser única. Si se quiere que esas comunidades sean bilingües, la escuela también. Pero la igualdad de ambos idiomas es una relación biunívoca. El resultado negativo se producirá tanto si hay una mayoría que opta por una lengua, como si se consagra el derecho a crear islas escolares de la lengua minoritaria.

La enseñanza religiosa es otro aspecto que debe ser acordado. Todos tenemos un criterio al respecto, pero hace falta superar la cuestión de una vez y para siempre. Atender a nuestro entorno próximo, a aquel que pretendemos emular, es una buena política que permite avanzar en la dirección más compartida. En el breve espacio de unos años se comprueba que las excepcionalidades pretendidas por unos pocos son argumentos totalmente vacíos y claramente innecesarios.

Se ha dado mucha importancia a la enseñanza de lenguas extranjeras, especialmente inglés, y a las nuevas tecnologías. Creo que se les dedica demasiado tiempo ya que la necesidad de las mismas es tan obvia que no precisa justificación. Solo es cuestión de dotar de los recursos humanos y económicos suficientes para alcanzar los objetivos. Nadie los pone en duda. Centrémonos en lo realmente importante.

Hay muchas cuestiones más pero, como ya he dicho varias veces, se trata de un trabajo que hay que hacer entre muchos. Esto es solo una aportación personal.

Ana Isabel Elduque
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza