

Manuel Ballester Boix ha publicado cinco libros y más de 100 artículos. Tiene registradas 16 patentes en Canadá, España y Estados Unidos. Entre sus numerosísimos premios y galardones citamos: el Premio Nacional de Investigación Técnica (1964), la Medalla del Centenario de la Société Chimique de France (1965), Medalla de la Universidad Técnica de Wrocław (Polonia 1979), Premio Príncipe de Asturias de la Investigación Científica y Tecnológica (1982) etc.

Con motivo del 1.º Aniversario del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, el Prof. M. BALLESTER pronunció una Conferencia sobre un tema apasionante: los paradójicos “Metales-orgánicos”. Me parece un acierto que este trabajo se incluya en “MATERIALES DE CONSTRUCCION”. Invito al lector a que lo lea detenidamente y —permítaseme decirlo— con imaginación. Entenderá la enorme posibilidad que se abre para el futuro de los materiales (incluidos los de construcción) con el desarrollo de lo que es una nueva rama de la química.

Sirvan estas líneas, como presentación de este trabajo, de personal homenaje por tantos años de labor científica, creativa y fructífera. Ahora, después de su reciente jubilación, todavía esperamos mucho del Prof. Ballester.

Tomás Vázquez

* * *

Metales orgánicos. Una perspectiva de nuevos materiales

MANUEL BALLESTER

RESUMEN

En el presente trabajo se explica en términos asequibles, al no especialista, lo que son los Metales Orgánicos (“plásticos conductores”). Estos nuevos materiales supondrán en un futuro próximo una verdadera revolución en numerosos ámbitos de la tecnología.

SUMMARY

This work explains with comprehensive terms for non specialists what the Organic Metals are (“conductive plastics”). Those new materials will be in the near future a true revolution on several technology fields.

En primer lugar, en nombre del Instituto de Química Orgánica Aplicada de Barcelona deseo expresar la más cordial felicitación a este Instituto hermano, tan reputado en una tecnología desarrollada sustancialmente sobre la base de una investigación auténticamente innovadora.

Cuando mi querido colega y amigo, el Dr. Tomás Vázquez, me invitó en nombre de este Instituto a presentar una conferencia en estos actos del cincuentenario, mi primera reacción fue de sorpresa. De sorpresa porque nuestras respectivas áreas de conocimiento se hallan aparentemente bastante alejadas entre sí.

Lo más cómodo para mi hubiera sido declinar amablemente tan lisonjera invitación, invocando

este contundente argumento que es el alejamiento temático. No obstante, como sucede a tantos investigadores de la ciencia y la tecnología, me siento irresistiblemente atraído por el reto de un difícil problema a resolver. Y así es como, en esta ocasión, he llegado a dirigirme a Vds.; al alto honor que ello representa.

Sin embargo, debo confesarles que, a pesar de la argumentación anterior, me siento reo del delito de osadía y temo ser incapaz de tender no sólo un nexo convincente entre el mundo de la construcción y el de la química orgánica, sino además aquel otro tan importante: alcanzar una auténtica comunicación con todos Vds.

Existe un elemento importante que facilita mi tarea: nuestro común esfuerzo para contribuir a que la vida en la sociedad humana sea más fecunda, más agradable, más segura y más eficaz a través del uso y la aplicación de los materiales actualmente disponibles y de aquellos otros objeto de nuestra constante búsqueda.

En efecto, cuando hablamos de materiales nos referimos de hecho a la química, puesto que ésta es, en parte, la ciencia de ellos, tanto de los que se hallan en la naturaleza como de aquellos resultantes de su transformación por el hombre; es decir, los materiales de artefacto, desde el más humilde, de uso doméstico, hasta los más sofisticados de la tecnología aeroespacial.

Puede decirse aproximadamente que hasta finales del siglo pasado los materiales de aplicación resultaban de transformaciones relativamente simples. Muchos de ellos se siguen usando extensamente en virtud de sus valiosas propiedades, en algunos aspectos incluso insuperadas. Desde luego, sería pretencioso que yo, y precisamente en este Instituto, versara ahora sobre la importancia y trascendencia que siguen teniendo clásicos como la piedra, el cemento, la cerámica, el vidrio, los metales, la madera, el papel, el cuero, las fibras naturales, el caucho y otros. Sin embargo, algunos de ellos han sido sustituidos ventajosamente, en proporción sustancial, por otros elaborados mediante múltiples y complicados procesos químicos.

Una de las principales revoluciones de nuestro siglo ha sido precisamente la introducción masiva y arrolladora de los materiales plásticos o resinas sintéticas, que por añadidura han posibilitado, y en muchos casos incluso logrado, nuevas aplicaciones inalcanzables anteriormente. Hoy día se fabrican vajillas de notable belleza con plásticos de melamina; se obtienen plásticos de gran transparencia que sustituyen el vidrio, incluso el de calidad óptica; con poliácetonitrilo y poliamidas se obtienen fibras textiles de calidad difícilmente superable, etc. Y desde luego, el hierro, el latón y otros materiales metálicos han sido reemplazados en gran proporción, en su uso cotidiano, por plásticos.

Debo puntualizar, sin embargo, que los plásticos no son cosa de hoy. Existen materiales naturales con sus características, empleados incluso hace miles de años. Por ejemplo, la mezcla de arcilla y pez, según el Libro del Exodo, salvó de ahogarse en el nilo a un eminentísimo descendiente de la Tribu de Leví.

Una de las propiedades actualmente perseguidas en la materia plástica con verdadero tesón, principalmente por la industria química mundial, es la conducción eléctrica, y si bien ésta se puede lograr mezclando físicamente plástico y polvo metálico, sin embargo, las investigaciones actuales se centran en plásticos de conducción intrínseca; es decir, conductores por sí mismos. Este es realmente un auténtico reto que se plantea a la química, a la física y a sus investigadores, por cuanto una propiedad asociada a los plásticos, y a la sustancia orgánica en general, es precisamente la antagónica; a saber, su capacidad aislante de la electricidad que, como es sabido, ha dado lugar a un mundo inestimable de aplicaciones prácticas.

A raíz de nuestra apertura de un nuevo campo de la Química, la Química Percloroorgánica, fui invitado a pronunciar en marzo de 1967, en el "Pentágono" de Washington, una conferencia. En

ella me referí, posiblemente por primera vez en química, a los “Metales Orgánicos”, y si bien se han publicado libros, e incluso ha aparecido recientemente una revista científica sobre ellos, sin embargo, el problema de los metales orgánicos de aplicación sigue sin resolverse.

Cuando se logren estos plásticos —y estoy convencido de que ello tendrá lugar durante los próximos diez años— el impacto que crearán será colosal. En efecto, no sólo la producción, la conducción, la acumulación y el consumo de la electricidad están totalmente supeditados a los metales, sino que, por añadidura, éstos constituyen el tipo de material con el que se fabrican componentes electrónicos de todas clases, como diodos, rectificadores, transistores, circuitos impresos, circuitos integrados, etc.; en fin, una enorme variedad de dispositivos de aplicación en informática, automatización industrial, transportes de superficie, navegación aeroespacial, etc., etc. Por añadidura, se presiente una plétora de aplicaciones para los plásticos conductores no surtidas por los metales actuales.

El conocimiento alcanzado en el estudio del estado sólido, concretamente del estado metálico, a través de la Física Cuántica, ha permitido la formulación de ciertos requerimientos esenciales referentes al movimiento de las cargas eléctricas en la materia en general. Ya desde mucho antes de tal formulación, se sabía que cualquier porción de materia está constituida por un número colosal de cargas eléctricas positivas y de cargas eléctricas negativas en igual proporción, que rinden la materia eléctricamente neutra.

A pesar de ello, los átomos y las moléculas, individualmente, pueden poseer o no carga eléctrica neta. En caso de poseerla, tienen que hallarse en número igual al de las cargas de signo contrario para que el conjunto siga siendo neutro.

Los átomos y las moléculas cargadas eléctricamente son los llamados iones, por cuanto bajo el influjo de un campo eléctrico exterior, en ciertas condiciones, pueden “viajar”. Por ejemplo, la sal común o cloruro sódico, está formada por dos clases de átomos cargados eléctricamente: los iones sodio, positivos, y los iones cloruro, negativo. Ninguno de ellos puede moverse en el seno de la sal por estar “atrapados” en su red cristalina. Sin embargo, si disolvemos la sal en agua destruimos la red, y entonces sí que pueden. Bajo la influencia de un campo eléctrico exterior, las partículas positivas —los iones sodio— se mueven en un sentido, mientras que las negativas —los iones cloruro— lo hacen en sentido contrario.

En cambio, en general, las moléculas de la materia orgánica, como por ejemplo el azúcar, son eléctricamente neutras y, por consiguiente, no se desplazan bajo un campo eléctrico, ni siquiera en solución. Así pues, el azúcar no es una sustancia conductora de la electricidad, y lo mismo se puede decir de los plásticos.

En líneas muy generales, voy a referirme a continuación al movimiento de las cargas eléctricas en la materia sólida. En rigor, sería necesario que lo hiciera en términos fisicocúnticos, pero aparte de no ser éstos generalmente asequibles, ello resultaría sumamente aburrido para casi cualquier auditorio.

Así, pues, confiando en la benevolencia y comprensión de todos Vds., y no pretendiendo escandalizar a los ilustres colegas expertos conocedores aquí presentes, trataré de valerme de algunos símiles a fin de exponer llanamente ciertos fenómenos referentes a los átomos, las moléculas y los iones, recurriendo a conceptos del entorno macroscópico que nos es familiar.

En este punto, deseo invocar una noticia que leí hace unas semanas: Parece que se está introduciendo en España una red enormemente eficaz para atrapar pájaros; una red inventada por los japoneses que presenta un auténtico peligro para la ecología. Su malla no sólo tiene el tamaño adecuado sino que, por añadidura, sus hilos están embadurnados con un potente adhesivo que retiene los pájaros fuertemente en ella.

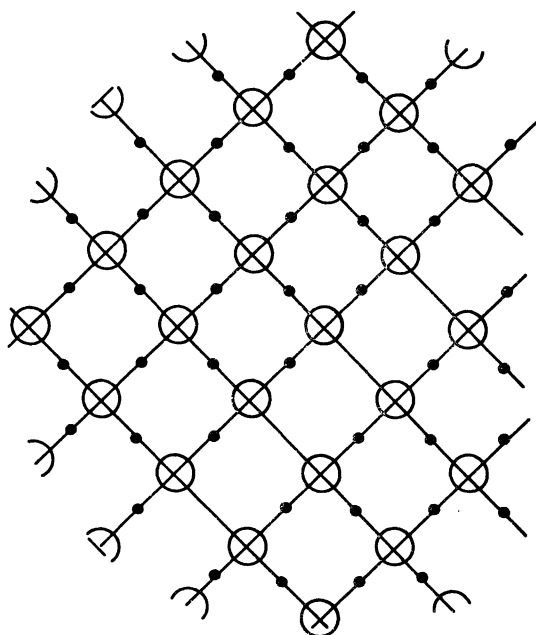
Pues bien, la materia orgánica en general, y los plásticos en particular, está constituida por redes irregulares, cuyos nudos son átomos con carga eléctrica positiva, y por electrones, con carga eléctrica negativa.

El tamaño de los electrones es muchísimo menor que el de las mallas de la red y, por consiguiente, como sucede con los insectos que pasan libremente por la red japonesa, no serían atrapados de no existir ciertas fuerzas fisicocuánticas que los retienen fuertemente. Los electrones así retenidos constituyen los llamados “electrones de valencia”, y confieren coherencia y fortaleza a la propia red.

Esas fuerzas son causadas concretamente por los “orbitales moleculares”, una especie de “pozos” de naturaleza energética en los cuales los electrones se hallan —y de los cuales es muy difícil escapar—, que explican la imposibilidad del movimiento eléctrico en la materia orgánica, y concretamente en los plásticos, bajo la influencia de un campo eléctrico aplicado; es decir, su carácter aislante de la electricidad.

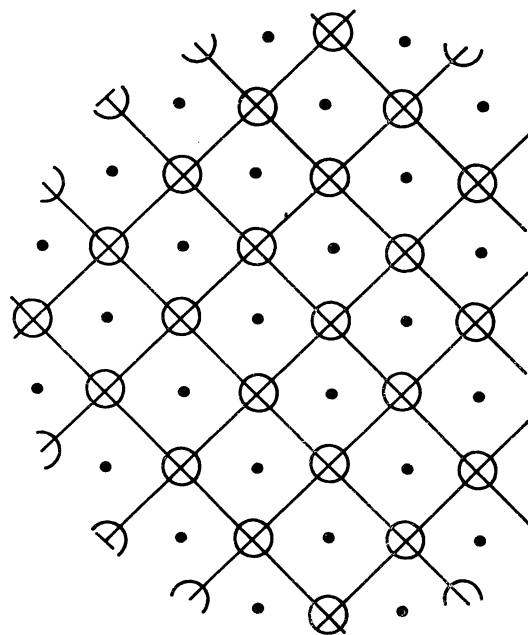
¿Cómo se podría convertir la materia plástica en un material conductor? Para poder contestar a esta pregunta es necesario conocer ciertos aspectos del movimiento de las cargas eléctricas en el seno de los metales.

La movilidad de los electrones en los metales es debida, en parte, a que su conjunto de orbitales electrónicos, que forman las llamadas “bandas de conducción” y “bandas de valencia”, no están como en la materia orgánica localizados puntualmente en redes de átomos. No existen “pozos” en sus redes. Insistiendo en la analogía de la red japonesa, no existe un potente adhesivo en sus hilos, de manera que los electrones forman en los metales una nube o enjambre que se mueve libremente bajo el influjo de fuerzas eléctricas exteriores.



• ELECTRONES
○ ATOMOS FIJOS (POSITIVOS)
MATERIA ORGANICA

Fig. 1



• ELECTRONES
○ ATOMOS FIJOS (POSITIVOS)
METAL
CONDUCTOR

Fig. 2

Sin embargo, todo electrón tiende a ubicarse en las proximidades de las cargas eléctricas positivas; es decir, cerca de los átomos de la red, por atracción electrostática, y si uno de ellos se aleja o escapa, la carga eléctrica positiva que deja atrae a otro electrón, y así sucesivamente en cadena, generándose de hecho una sucesión de movimientos de cargas positivas —llamadas “hoyos”— en sentido opuesto al de los electrones, sin que ello implique movimiento de átomos alguno. Este fenómeno, que he descrito de modo muy general y rudimentario, es esencial en el proceso de conducción eléctrica en el seno de los semimetales, como el Silicio y el Germanio, por ejemplo.

En suma, la conducción de la electricidad en el seno de los metales y semimetales se produce directa o indirectamente por obra y gracia de los electrones.

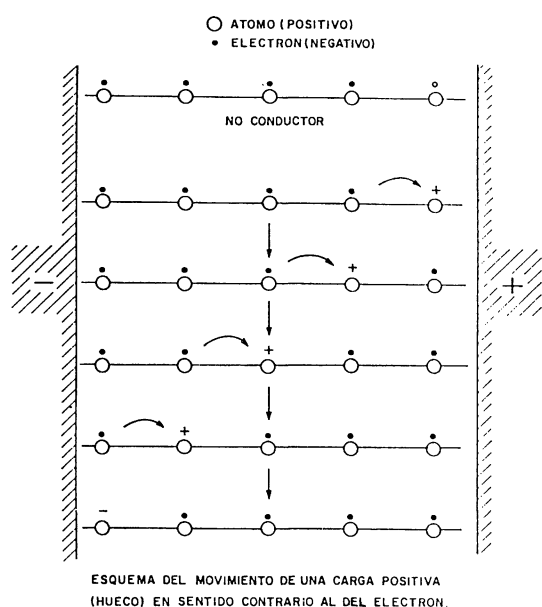


Fig. 3

ejemplo. Estas moléculas poseen formas variadas: lineal, arborescente, globular, etc., soliendo predominar las alargadas, siendo su dimensión máxima de unos 10 Å. Por lo tanto, en un milímetro, en fila rectilínea, cabrían unos diez millones en un milímetro.

Las moléculas constituyentes de los plásticos industriales son gigantescas comparadas con las demás; pueden tener una longitud unas mil veces superior, e incluso mayor. Son pues “rascacielos del microcosmos”. Por consiguiente, en ellas la nube de deslocalización electrónica sería también enorme. Sin embargo, las macromoléculas con gran deslocalización electrónica son una rareza.

De perder una macromolécula de esa clase un electrón por alguna razón, se produciría un movimiento general de los electrones hacia el vacío creado; es decir, hacia la carga eléctrica positiva que aparecería en su lugar, como he indicado hace un momento. Por consiguiente se causaría una corriente en el interior de la macromolécula, como el movimiento de los electrones en un metal. No obstante, para que un plástico se comporte macroscópicamente como un metal es necesario que los electrones puedan saltar de una macromolécula a otra; es decir, que se produzcan “transferencias electrónicas intermoleculares”.

La introducción de una extensa deslocalización electrónica en una macromolécula es una cuestión de síntesis organoquímica a la que no voy a referirme. Se halla en los “polímeros PP”,

Dicho esto, es razonable suponer que para que un plástico sea conductor es condición necesaria el promover de alguna forma la movilización de los electrones; la desaparición de los profundos “pozos energéticos” que los fijan.

Un fenómeno bien conocido en Química Orgánica es la llamada “deslocalización electrónica” o también “resonancia electrónica”. Los electrones implicados en tal fenómeno —que desde luego no son todos los presentes— no están ubicados en puntos concretos de las redes atómicas de las moléculas, sino que se extienden ampliamente por ellas en lo que se podrían considerar “lagos energéticos”. Estos son los orbitales moleculares “poliatómicos” que, como su nombre indica, se asientan en cada molécula sobre muchos átomos.

Por otro lado, es sabido que las moléculas orgánicas están formadas principalmente por átomos de carbono y de hidrógeno, con algún otro elemento, como el oxígeno y el nitrógeno, por

obtenidos por primera vez en Barcelona hace ya bastantes años. También se ha realizado en los EE.UU., partiendo, por ejemplo, de una importante sustancia industrial, en otro tiempo muy popular: el acetileno, que da el “*poliacetileno*” o PA.

Sin embargo, una extensa deslocalización electrónica no es suficiente para alcanzar la conducción eléctrica. En una macromolécula pueden existir diez mil electrones deslocalizados, y a pesar de ello, a pesar de un número tan elevado de “portadores” de la electricidad, ser incapaz de causar corriente eléctrica alguna.

Es necesario cumplir otros requisitos; uno de ellos es la “ocupación electrónica parcial” de los orbitales moleculares. En efecto, cada orbital molecular, cada “laguna energética”, retiene un máximo de dos electrones. Pues bien, si cada orbital está “lleno”, es decir, que contiene dos electrones —como sucede en la materia orgánica en general—, entonces *no puede* existir movimiento de electrones en la macromolécula ni, por consiguiente, conducción eléctrica.

Empleando nuevamente un símil de la vida cotidiana, nada riguroso pero decididamente gráfico, los electrones en un sistema deslocalizado pero “lleno” se encuentran como los coches en la Castellana en un momento de saturación: simplemente, no se mueven, están embotellados. Obviamente, tampoco hay circulación de electrones si no los hay; es decir, cuando los orbitales moleculares están “vacíos”, como en la propia Castellana en un día de agosto, en la madrugada.

En cambio, si los orbitales moleculares están ocupados sólo parcialmente por electrones, entonces éstos sí podrán desplazarse, creando corrientes eléctricas.

¿Cómo es posible “vaciar” parcialmente los orbitales llenos de un plástico? Nosotros, desde hace más de un decenio, nos ocupamos precisamente de “fabricar” moléculas pequeñas “vacías parcialmente”, cosa realmente insólita, de la cual hablaremos más adelante.

Veamos, no obstante, lo que han realizado otros investigadores en tal sentido:

Como ya he indicado, el *poliacetileno* es un plástico con extensa deslocalización electrónica, pero que, sin embargo, no cumple la condición de ocupación parcial. Posee una pequeña conductividad eléctrica atribuible a la pérdida incontrolable de algún electrón.

Sin embargo, puede provocarse la pérdida de electrones mediante un proceso químico o electroquímico llamado “oxidación” que, como es sabido, no es necesariamente una reacción con el oxígeno.

Ese proceso de oxidación del plástico se denomina “dopado”, anglicismo que significa muchas cosas, pero que en este caso quiere decir “estimulación de algo con algo”, más o menos. Con él, el poliacetileno se vuelve conductor de la electricidad, acercándose incluso a la conductividad de los metales, descubrimiento realizado en la Universidad de Pensilvania por A.G. MacDiarmid y colaboradores en 1977. Un “dopante” valioso es el pentafluoruro de arsénico, que extrae electrones deslocalizados del poliacetileno y que, por consiguiente, carga positivamente sus macromoléculas; es decir, las convierte en macroiones positivos.

El gran inconveniente que presentan esos plásticos conductores de la electricidad es su corta vida, su sensibilidad ambiental, que impide su aplicación práctica. En efecto, el proceso de dopado confiere al plástico un carácter: el de “radical libre”.

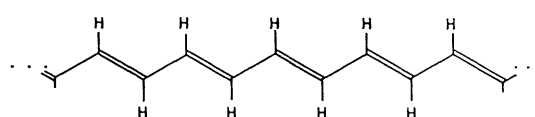


Fig. 4.—Poliacetileno (PA).
IBM: Th. Clarke, G. B. Street.
XEROX: H. Gibson, Ch. Duke.
UNIV. DE PENNSILVANIA: A. Heger, A. G.
MacDiarmid.

Es sabido que los radicales libres en general son especies químicas de gran reaccionabilidad e inestabilidad. Por ejemplo, no resisten el oxígeno del aire. Y en efecto, el poliacetileno dopado es sensible al oxígeno y a la humedad del aire. Por añadidura, el proceso de dopado empeora las características mecánicas del plástico, que se vuelve rígido y frágil. Sin embargo, si bien el poliacetileno carece actualmente de valor práctico, en cambio sí tiene un extraordinario valor teórico, y está indicando caminos a seguir para la consecución de plásticos conductores de aplicación.

Otro plástico con deslocalización electrónica es el *poliparafenileno* o PPP, polímero aislante de la electricidad cuyas moléculas son largas cadenas, formadas por anillos de benceno alineados. En 1979, R. H. Baughman, R. R. Chance, D. M. Ivory, L. Shacklette y otros, de la Allied Chemical, encontraron que el PPP podía doparse también con pentafluoruro de arsénico, logrando así obtener conductividades eléctricas elevadas.

Otro plástico aislante, dopable con pentafluoruro de arsénico, es el *sulfuro de poliparafenileno* o PPS, obtenido por la Allied Chemical y por la IBM. Sus macromoléculas son parecidas a las del PPP, pero entre sus anillos de benceno se intercalan átomos de azufre. Este plástico es especialmente interesante porque, después del dopado, resulta termoplástico, procesable industrialmente y relativamente barato, aunque su conductividad eléctrica no sea tan elevada como la del poliacetileno o del poliparafenileno dopados.

Otro plástico conductor es el llamado *polipirrol* o PPY, investigado por B. Smith, Th. Clarke y otros científicos de la IBM, en cuyo proceso de obtención —electroquímico— se produce directa y simultáneamente el dopado. Su conductividad llega a ser también muy elevada.

Como ya he indicado, el gran inconveniente de esos plásticos es su rápida alteración ambiental debida al carácter radicalario.

Hace bastantes años, empecé a desarrollar, con ayuda de numerosos colaboradores, en su mayoría estudiantes de doctorado, unas investigaciones que han conducido, entre otros resultados, al descubrimiento de los *Radicales Libres Inertes*. Mientras que los radicales libres a secas, descubiertos en el umbral del presente siglo por el ruso-americano M. Gomberg, suelen ser, como ya he apuntado, especies enormemente sensibles y de existencia fugacísima, de incluso millonésimas de segundo; en cambio, nuestros radicales libres inertes poseen una vida, hallada

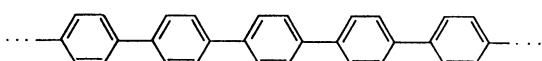


Fig. 5.—Poliparafenileno (PPP).
ALLIED CHEMICAL: R. H. Baughman, R. R. Chance, D. M. Ivory, G. G. Miller, L. W. Shacklette.

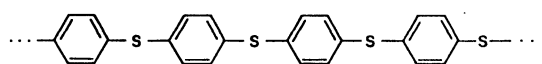


Fig. 6.—Sulfuro de poliparafenileno (PPS).
ALLIED CHEMICAL: R. H. Baughman, R. R. Chance, D. M. Ivory, L. W. Shacklette.
IBM: Th. Clarke, B. Street.

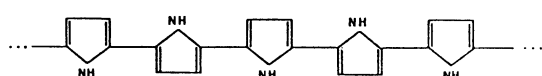


Fig. 7.—Polipirrol (PPY).
IBM: T. C. Clarke, G. B. Street.

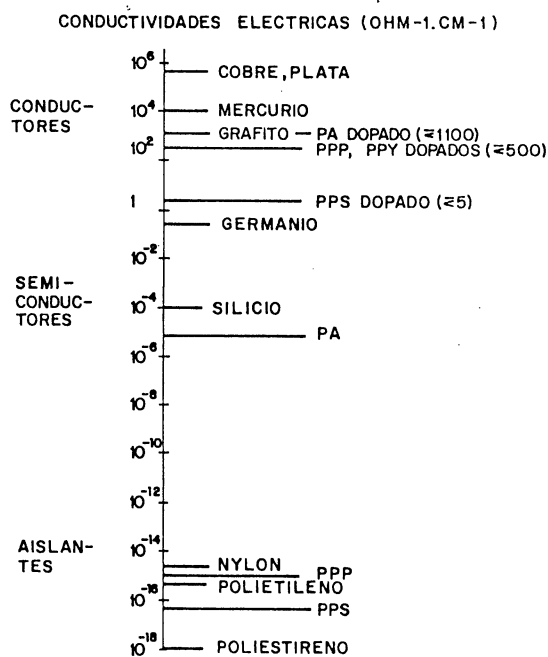


Fig. 8

por extrapolación, del orden de cien años. Además, presentan una enorme resistencia frente a los agentes químicos de mayor agresividad, e incluso resisten temperaturas de unos 300° sin descomponerse. Por lo tanto, a pesar de su carácter radicalario, son *más estables que la inmensa mayoría de sustancias orgánicas normales*. Desde luego, poseen algunas propiedades realmente insólitas e incluso únicas, pero sólo interesa destacar aquí una: poseen orbitales moleculares ocupados *parcialmente* por electrones.

Ya he indicado que la plena ocupación de un orbital se alcanza con dos electrones. Pues bien, los radicales libres poseen un electrón solitario por orbital. Así, pues, la ocupación en ellos es del 50 %.

Recientemente, con Isabel Pascual, hemos sintetizado una especie química insólita, una molécula excepcional; un híbrido de radical libre inerte y de ion positivo estable; es decir, un radical-ion estable, con una ocupación electrónica de sólo un 25 %. Con ayuda de este híbrido hemos conseguido dos importantes resultados; uno, la demostración de la presencia de transferencias electrónicas entre dos de tales moléculas híbridas, y el otro, la existencia de un rápido desplazamiento de la carga eléctrica positiva de punta a punta en ellas.

Evidentemente, el descubrimiento de este último fenómeno fundamental es especialmente importante en relación con la conducción de la electricidad en el seno de la materia orgánica. El mundo científico se ha hecho eco del fenómeno, habiendo sido publicado recientemente en el "Journal of the American Chemical Society". Por ciertas razones, un tanto latebrosas para los no versados en electrónica molecular, lo hemos denominado "intercambio spin-carga".

Con base a 1) los polímeros PP, mencionados anteriormente; 2) los radicales libres inertes; 3) el intercambio spin-carga intramolecular en radicales-iones; y 4) las transferencias electrónicas intermoleculares en radicales-iones, resultados todos ellos logrados en España, estamos intentando la síntesis de los primeros plásticos conductores de la electricidad perfectamente estables y, por ello, de aplicación práctica. En otros términos: 1) macromoléculas perfectamente estables con máxima deslocalización electrónica; 2) ocupación electrónica parcial estable en macroorbitales moleculares; 3) dopado molecular interno estable para el establecimiento de conductividad a nivel molecular; y 4) conexión electrónica entre macromoléculas.

El advenimiento de los "plásticos conductores" causará sin duda un enorme impacto en la Electrónica industrial, concretamente en los campos de la conducción eléctrica, comunicaciones, ordenadores, sistemas dirigibles, sistemas robóticos industriales, conversión de la energía solar, almacenamiento de la energía eléctrica, electrofotografía, sistemas electrónicos autorreparables, etc., alcanzando dispositivos concretos tales como diodos, transistores, transductores, sensores, etc., que por ser de naturaleza orgánica podrán ser más económicos y fabricarse a medida de las necesidades, como sucede con los plásticos en general.

Cabe la posibilidad de metales orgánicos solubles para tintas y pinturas; la obtención de hilos plásticos que conduzcan sólo axialmente (anisotrópicos), con lo que se minimizaría el empleo de recubrimientos aislantes; etc., etc. Quedarán abiertos pues múltiples caminos, incluso para la imaginación y la especulación tecnológica.

Como ya he apuntado anteriormente, en 1967 esboqué el enfoque anterior a fin de alcanzar los metales orgánicos. Pero para delinear acertadamente un camino hacia ellos era necesario crear una base científica idónea, y esto, que suele ser tarea larga y penosa, se ha demorado terriblemente a causa de las penosas circunstancias y vicisitudes que la investigación de nuestro país ha sufrido. Sin embargo, nuestros planes siguen conservando sorprendentemente cierta frescura por una importante razón: Se apoyan sobre una ciencia en gran parte autóctona, lo cual nos confiere cierta ventaja y también una fundada esperanza.

Muchas gracias por la atención que me han dispensado.