RESPUESTA A LA LAUDATIO PRONUNCIADA POR LA PROFESORA ÁNGELA SASTRE SANTOS

Magnífico y Excelentísimo Señor Rector de la Universidad Miguel Hernández de Elche, Ilustrísimas Autoridades, Profesora Ángela Sastre Santos, miembros del Equipo de Gobierno de la Universidad, Profesores y Personal Investigador y de Administración y Servicios, Alumnos, Señoras y Señores.

En primer lugar, pido me disculpen el “castellano boliviano” más o menos del siglo IXX con el que voy a dirigirme a ustedes. También pido su paciencia, porque nunca tuve la oportunidad de escribir, ni de presentar un discurso en español (castellano). Pero, sobre todo, nunca he pensado, ni soñado de este día. Les agradezco mucho, especialmente a la Profesora Ángela Sastre Santos, quien fue la originadora del inmenso honor que ustedes me han otorgado con este título honorífico y un agradecimiento al Profesor Fernando Fernández Lázaro por ser un editor excelente. Muchas gracias, de corazón. Ahora, Con su permiso, me voy a atrever a contarles una historieta muy corta:

Por mucho tiempo que piense en ello, no tengo manera de comprender la extraña y maravillosa secuencia de eventos que me han traído hasta aquí hoy día. Pero creo que todas tienen como denominador común las palabras:

DE VEZ EN CUANDO OCURRE QUE

De vez en cuando ocurre que hay un déspota dictador con la inteligencia de un gusano que decide deshacerse de una raza entera para mantener la preeminencia y la pureza de una raza aria

De vez en cuando ocurre que hay una pareja que se escapa al pueblito de Cochabamba, en Bolivia, donde se localizan y tienen dos hijos y una hija.

De vez en cuando ocurre que hay una “revolución” o guerra civil, ¡casi cada año!, en Bolivia. Algo que da motivo a la familia de mudarse a los Estado Unidos de Norte América.

De vez en cuando, a veces como un milagro, ocurre que hay la oportunidad de obtener el doctorado en química de la Universidad de California en Los Ángeles. La formación del doctorado se lleva a cabo en disciplinas distintas que incluyen la física y la ingeniería.

De vez en cuando ocurre que uno es reconocido por sus éxitos con un gran honor, siendo presentado por mi madrina la Profesora Ángela Sastre Santos, de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Profesora que es parte de mi familia científica con quien se hicieron trabajos de pesquisa muy importantes en el campo de los materiales orgánicos. Este Honoris Causa es una grandísima honra que se aprecia mucho y que es de enorme valor personal.

UN VISTAZO A LOS MATERIALES ORGÁNICOS

 Con mi ojo miope describo donde nos encontramos y tal vez adónde vamos con nuestra ciencia. Es solamente en la primera mitad del siglo XX que se estudia la química orgánica del estado sólido. Bueno, ya se conocía la aplicación de los rayos X para determinar la estructura de moléculas orgánicas, pero al mismo tiempo se ignoraba la estructura del estado sólido, el químico orgánico de ese entonces no se interesa en cómo se organizan las moléculas y la relación entre ellas, especialmente las distancias intermoleculares. En los años 60, el físico teórico William Little, de la Universidad de Stanford, publica su artículo sobre la posibilidad de observar superconductividad en un polímero orgánico1. Ese artículo fue una de mis inspiraciones más importantes. En ese tiempo era estudiante graduado haciendo pesquisas en la estereoquímica, pero de vez en cuando tenía sueños, tal vez fantasías, de la posibilidad de imitar con sólidos orgánicos propiedades tales como magnetismo, conductividad metálica, superconductividad, baterías, acumuladores, etc. que solamente se observaban en sólidos inorgánicos.

 En el segundo medio del siglo XX ya había unas cuantas publicaciones sobre compuestos orgánicos que conducían la electricidad, pero con baja conductividad y no como los metales. La comunicación principal y pionera se basaba en el perileno, una molécula que es un simple hidrocarburo aromático2. Lo que se necesitaba era diseñar y sintetizar moléculas que podrían producir un conductor superior a los sólidos basados en hidrocarburos aromáticos. Es así como se diseñó la molécula del TTF3 que debería ser un electrodo ánodo de una batería orgánica. Para eso, la molécula tenía que presentarse, en el estado sólido, como un conductor de electricidad y un donador de electrones. La pila nunca se desarrolló, pero la molécula de TTF fue el precursor del primer compuesto con propiedades de metal orgánico4.

Bueno, ¿cómo se define un metal orgánico? No es un material dúctil, ni maleable, pero sí muestra una conductividad elevada que aumenta al disminuir la temperatura y también muestra un lustre metálico. La conductividad no es tan alta como la del cobre, pero sí como la del mercurio, por ejemplo. En realidad, el metal orgánico existe como cristales muy pequeños y frágiles. Los metales orgánicos se consideraron como curiosidades académicas, pero han servido como el primer paso en el camino para el desarrollo de superconductores orgánicos y de la industria de materiales orgánicos que en el presente dominan como pantallas electrónicas de teléfonos portátiles y pantallas de televisión. La molécula de TTF, aún que es la madre de un campo entero de investigación, todavía no se ha jubilado, como se ha demostrado hace unos meses con la publicación en la revista *Nature* donde investigadores de Chicago han divulgado las propiedades metálicas de alta conductividad en un derivado polimérico del TTF, y el polímero es un donador de electrones5.

 La aventura de los metales orgánicos no ha sido la única materia en la que se hicieron pesquisas en mi grupo de investigaciones. Por ejemplo, una vez que se anunció el descubrimiento del balón de futbol de tamaño nanométrico, el fullereno, organicé una reunión del grupo y cambiamos la dirección de las investigaciones de metales, de semiconductores y de superconductores completamente a la ciencia de los fullerenos. El resultado fue que descubrimos las reglas de la química del fullereno C60 y de yapa la Madre Naturaleza, nos dio el derivado PCBM, que hasta hace corto tiempo fue el ingrediente más importante de las celdas fotovoltaicas orgánicas y ultimadamente ingrediente de las celdas fotovoltaicas hibridas de perovskitas. El PCBM, como molécula importante en fotovoltaicos orgánicos fue un descubrimiento de casualidad, porque la meta original de su diseño fue la preparación de un derivado de fullereno que fuera soluble en agua para investigar sus propiedades biológicas. Como la Profesora Ángela Sastre ya mencionó, últimamente, en colaboración con un grupo de la Universidad de California en San Francisco, se hicieron experimentos con un derivado del fullereno C60, soluble en agua, que mostraron que el derivado inhibe la función de una enzima importante para la producción *in vivo* del virus del Sida.

 Ahora se termina este muy breve paseo en el jardín de los materiales orgánicos, en el cual no se ha caminado en los senderos de los semiconductores, los superconductores, los polímeros conductores, los fotovoltaicos y los termoeléctricos.

Falta entonces hablar de las investigaciones sobre materiales de interés en la ingeniería estructural. En ese campo no se conocían solidos orgánicos que tuvieran la propiedad de autoreparación. En realidad, una vez más, fue un resultado de la casualidad. La meta de ese estudio era el diseño de materiales orgánicos ultraduros. La hipótesis en la que se basaba esta propuesta consistía en establecer un estado termodinámico de la más baja energía. Generalmente se logra ese estado por una serie de reacciones de equilibrio. O sea que se necesitan reacciones reversibles que últimamente terminan en un sólido cristalino con enlaces químicos covalentes en tres dimensiones, como por ejemplo en el diamante. Otro ejemplo, es la preparación de “MOFS” (metal organic frameworks o redes metal-orgánicas), complejos de metales de transición con ligandos orgánicos bivalentes y multivalentes. Los sólidos que se obtienen, en vez de ser amorfos, son cristalinos porque se producen por medio de procesos dinámicos (multitudes de reacciones de equilibrio). Ya se conocen varias reacciones orgánicas que son reversibles pero muy pocas de ellas son “limpias”, es decir que puede haber “accidentes” que resultan en productos indeseados. Otro límite que se necesitaba en esta propuesta era que las reacciones no podían ser catalizadas porque el catalizador no se hubiera podido separar del producto. Una clase de reacciones orgánicas que son reversibles a temperaturas accesibles son las reacciones electrocíclicas y una de las más investigadas es la de Diels-Alder. Es por eso que fue la reacción que hemos aplicado con mejor éxito.

Mi carrera de químico empezó con el azufre (compuestos orgánicos de azufre) y, antes de jubilarme, terminó con el azufre y en manera análoga mis primeros proyectos tenían como meta una batería orgánica y el último proyecto pre-jubilación fue una batería de litio con un poli(disulfuro) como cátodo. Como se puede ver en la diapositiva, la capacidad es más o menos la misma que la de las pilas de litio comerciales, pero el voltaje queda solamente a mitad. Por el hecho que la pila es más liviana que las que están en uso corrientemente, se puede concluir que usando dos pilas conectadas en serie sería equivalente a una batería de litio de uso diario.

En suma, lo que se ha presentado es un paisaje muy abreviado de las aventuras de una persona a quien la naturaleza le ha dado una cornucopia de regalos. Y encima de eso, la mayoría de nuestros descubrimientos fueron descubrimientos por casualidad. Lo más importante que no se debe ignorar es el papel de los estudiantes de todo grado, incluyendo los postgraduados, y la interacción humana entre el equipo de investigación y el “jefe”. Es por eso que tengo una deuda gigante con mi equipo científico de cincuenta años. Pero la deuda incalculable de cualquier manera se la debo a mi esposa, Linda, cuyo apoyo COMPLETO, sin duda, ha sido el componente más profundamente esencial para el éxito de mi carrera, matrimonio y vida. En fin, no hubiera habido el éxito del que se hablaba más arriba sin consideración de la importancia de investigaciones multidisciplinarias que se encuentran al centro de TODOS los resultados en las ciencias de materiales orgánicos. También se puede concluir que mi vida académica pasó en círculos de compuestos de azufre y de compuestos orgánicos para baterías. Me siento muy afortunado con tantas dádivas que culminaron en el honoris causa de hoy.

Finalmente tengo unos pensamientos que me han traído hasta este punto que quiero compartir con los incipientes doctorados de la ciencia de los materiales orgánicos:

1. Deben ser soñadores, pero los sueños deben de estar basados en una buena formación de las ciencias fundamentales y los sueños deben ser realizables de una manera simple y lógica.
2. Deben ser despiertos y observadores con perspicacia para aventajarse de los obsequios que la naturaleza les da y que deben ser arrancados de una penumbra.
3. Y finalmente, deben ser jugadores de azar o hay que asumir riesgos. Es que no se puede saber de antemano cual será el resultado de un proyecto que tiene muy poco precedente. De mi punto de vista, dada la excepción de la física teorica, los proyectos que dan cierta satisfacción son los cuales que dan resultados predichos y los proyectos que dan más regocijo son los que dan resultados inesperados.

Muchísimas gracias por su atención.

1. Little, W.A. *Sci. Amer.* **1965,** *212*, 2.

2. Akamatu, H.; Inokuchi, H.; Matsunaga, Y. *Nature* **1954**, *173*, 168.

3. 1,3-Bisdithiole Chloride. Wudl, F.; Smith, G. M.; Hufnagel, E. J. *Chem.* *Commun.***1970**,1453–1454. Hunig, S.; Kiesslich, G.; Scheutzow, D.; Zahradnik, R.; Carsky, P. *Int. J. Sulfur Chem.,* *Part C* **1971**, 109. Para método de síntesis, ver: Prinzbach, H.; Berger, H.; Luttringhaus, A. *Angew. Chem., Int. Ed.* *Engl*. **1965**, *4*, 435.

4. Ferraris, J.; Cowan, D. O.; Walatka Jr., V.; Perlstein, J. H. *J. Am. Chem. Soc.* **1973**, *95*, 948.

5. Intrinsic glassy-metallic transport in an amorphous coordination polymer. Anderson, J. S. *et al*. *Nature* **2022**, doi.org/10.1038/s41586-022-05261-4