



**Academia de Ciencias Matemáticas,
Físico-Químicas y Naturales de Granada**

LOS COLORES DE LA CIENCIA Y LA CIENCIA DE LOS COLORES

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN
COMO ACADÉMICO CORRESPONDIENTE POR EL

ILMO. SR. D. LUIS LIZ MARZÁN

Granada, 2019

“La ciencia, casi desde sus orígenes, ha tenido un carácter verdaderamente internacional. Los prejuicios nacionales desaparecen completamente en la búsqueda del científico por la verdad”.

Irving Langmuir (1881-1957, Premio Nobel en Química 1932)

Dedicado a Charo, Pedro y Sofía, sin cuyo amor, paciencia y apoyo no habría podido desarrollarme como persona ni como científico.



**Academia de Ciencias Matemáticas,
Físico-Químicas y Naturales de Granada**

LOS COLORES DE LA CIENCIA Y LA CIENCIA DE LOS COLORES

**DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN
COMO ACADÉMICO CORRESPONDIENTE POR EL**

ILMO. SR. D. LUIS LIZ MARZÁN

Granada, 2019

LOS COLORES DE LA CIENCIA Y LA CIENCIA DE LOS COLORES

LUIS LIZ MARZAN

**Excelentísimo Sr. Presidente,
Excelentísimos e Ilustrísimos Sres. Académicos,
Señoras y Señores,**

Los colores de la ciencia

Recientemente se publicó en el diario ABC un reportaje sobre científicos de alto impacto en CIC biomaGUNE. Cuando lo mandé al grupo de mensajería que comparto con mis hermanos, uno de ellos respondió “Sí señor, saliendo en la prensa de todos los colores!” Aunque ya estaba yo madurando una idea para este discurso, esta observación me hizo reflexionar sobre la posible existencia de “colores de la ciencia”, de la misma forma que hablamos de “colores de la prensa”, con referencia a inclinaciones políticas. ¿Debería tener el signo político de un

gobierno una influencia en su forma de gestionar la ciencia? Diría que, para la mayoría de los que estamos presentes en esta sala, la respuesta es NO, es decir, la gestión de la ciencia debería estar en manos de un organismo que entienda bien la maquinaria que mueve la ciencia y que pueda tomar decisiones estratégicas, independientemente del “color” del gobierno de turno. Precisamente con esta idea se creó en España hace ya un par de años (tras un largo y lento proceso desde que se tomó la decisión) la Agencia Estatal de Investigación (AEI). La creación de la AEI ha dado lugar a algunos cambios en la forma de gestionar los fondos del Estado destinados a fomentar la investigación científica y tecnológica, que pueden ser más o menos acertados. Sin embargo, no podemos afirmar todavía que se haya alcanzado esa situación ideal, en la que la AEI tendría autonomía suficiente para decidir cuáles son los instrumentos más apropiados para la financiación de la ciencia y la tecnología. Aunque es una práctica habitual en los países más avanzados, de momento nuestra AEI no ha sido capaz de liberarse de su dependencia orgánica de un ministerio, esa dependencia con la que nació. Como consecuencia directa, los presupuestos de la AEI están dictados por dicho ministerio y las decisiones estratégicas siguen inevitablemente ligadas al color político del partido en el gobierno. Todavía queda pues un largo camino por recorrer, hasta que alcancemos una situación equiparable a la de los países que han demostrado la validez de un modelo en el que la ciencia y la investigación funcionan como motores de economía y no (como en su momento dijo un ministro

de Hacienda en España) como “un lujo del que se debe prescindir en tiempos de crisis”.

En este contexto, siguen existiendo muchas dificultades a la hora de desarrollar investigación científica de calidad en España. Dificultades económicas pero también de gestión y administración, así como de oportunidades para aquellos que intentan incorporarse al sistema de ciencia (universidades o centros de investigación) y que no encuentran los medios para desarrollar sus ideas y contribuir a la generación de conocimiento y (en algunos casos) de tecnología. Este es un problema que existe desde hace ya muchos años y que no ha hecho sino empeorar. Esto significa que los jóvenes científicos que quieren poner en marcha un programa de investigación independiente deben hacerlo en condiciones de precariedad y sin pretensiones. Afortunadamente, existen todavía en nuestra sociedad valores como el respeto y la amistad, los cuales podemos decir que nos han traído hoy a Granada. En contra de lo que podría parecer por el contexto, mi relación con la comunidad científica de Granada no ha sido tan intensa como la que he tenido con otros lugares de España, e incluso del resto del mundo. Sin embargo, Granada ocupa un lugar privilegiado en mi “corazoncito científico”, por razones fuertemente relacionadas con la amistad y el respeto. Esta historia empieza en 1995, cuando recién regresado de una intensa etapa postdoctoral en Holanda, intentaba establecer un grupo de investigación en la Universidad de Vigo, cuya actividad estaría centrada en la Química Coloidal. En una universidad de muy

reciente creación y con muy escasos recursos, fue imprescindible buscar la cooperación de otros profesores en Vigo, entre quienes quiero destacar a Pablo Hervés, Alejandro Fernández Nóvoa, y más adelante Jorge Pérez Juste, así como mis primeros estudiantes, Isabel Pastoriza Santos y Miguel Correa Duarte. Además del entorno cercano, se puede identificar como elemento esencial mi incorporación al Grupo Especializado de Coloides e Interfases (de la RSEQ y la RSEF). Diría que entré en ese grupo de la mano de la Profesora Jacqueline Forcada (UPV-EHU), quien muy pronto me presentó al grupo de Granada y sus “ramificaciones”, por ejemplo en Almería. Ya en esa época se forjó una amistad “de las buenas” con el Profesor Roque Hidalgo Álvarez. Aunque nunca ha tratado de airearlo mucho, el Profesor Hidalgo ha sido un referente de primera línea para varias generaciones de científicos de coloides en España. Su reconocimiento internacional y su entusiasmo difícilmente podrían pasar desapercibidos a quienes lo conocemos. Además de llevar a cabo investigación de primer nivel, Roque siempre ha destacado por su servicio a la comunidad, no solo promocionando a sus colegas más jóvenes, sino por ejemplo poniendo en marcha el primer programa de doctorado interuniversitario en coloides e interfaces, junto con el Profesor Miguel Cabrerizo Vílchez. Dicho programa de doctorado, tristemente liquidado por los vaivenes (colores) políticos, sirvió de punto de encuentro para diversas escuelas científicas y para varias generaciones de jóvenes entusiastas que siguen recordándolo con cariño. En mi caso personal, siempre he sentido un apoyo y un respeto que no era

habitual recibir de colegas ya establecidos y que además venía sin pretensión alguna de recibir algo a cambio. Por esto, siempre le estaré agradecido. Hoy mi agradecimiento se extiende a su esfuerzo en promocionar mi candidatura como miembro correspondiente de la Real Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada, un honor que me llena de satisfacción personal y que estrecha los lazos que me unen a esta tierra... “de lindas mujeres, de sangre y de sol”.

Permítanme añadir que, en mi opinión, la existencia de las Academias de Ciencias debe ser un reflejo del interés de la sociedad por el desarrollo de nuevo conocimiento y por la divulgación del mismo. Lamentablemente, a menudo nos encontramos con sociedades que viven a espaldas de los intelectuales y los científicos, así como de la sociedad de la que han surgido, hasta tal punto que el término “intelectual” ha adquirido un tono peyorativo que puede provocar más rechazo que respeto. Nos encontramos también con que la financiación de las actividades de las Academias está basada, en muy buena medida, en las contribuciones voluntarias de los propios académicos (investigadores, profesores universitarios, etc.), o que son las Academias las que tienen que recordar a los gobernantes que están ahí, dispuestas a ofrecer asesoramiento en aquellos temas que son de su incumbencia. Es por ello muy de agradecer la supervivencia de academias de carácter local, como instituciones que respetan y acogen a aquellos que, en la medida de nuestras posibilidades, intentamos generar nuevo

conocimiento, educar a jóvenes en la cultura de la observación y el reconocimiento de nuevos fenómenos o en el desarrollo de nuevas teorías, de nuevos materiales y de su traslación al sector productivo y al bienestar de la sociedad.

La ciencia de los colores

Aunque pueda sonar un poco extraño, buena parte de mi carrera científica ha estado ligada a estudiar, entender y buscar aplicaciones a los colores de ciertos tipos de materiales, o más bien de materiales de ciertas dimensiones. Efectivamente, mi trabajo y el de mis colaboradores se ha centrado en los llamados nanomateriales, es decir, aquellos donde los tamaños característicos son del orden de las millonésimas de milímetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). El estudio de los nanomateriales se suele denominar *nanociencia*, mientras que su aplicación práctica se conoce como *nanotecnología*. La nanociencia / nanotecnología se han convertido en un campo de estudio tremendamente amplio, que tiene repercusión no solo en la literatura científica, sino también en la literatura de ficción e incluso en la prensa diaria. Sin embargo, sigue siendo necesario explicar, especialmente en entrevistas o conferencias divulgativas, por qué los materiales y procesos que tienen lugar en la escala nanométrica (también conocida como nanoescala) resultan tan atractivos. Desde el punto de vista del público general, la nanotecnología sigue sonando a fabricación de máquinas en miniatura que podrían viajar a través del cuerpo

humano y reparar un órgano dañado,¹ a robots diminutos que pueden tomar sus propias decisiones,² o a supercomputadoras que se puedan llevar en el bolsillo³. Sin embargo, el concepto fundamental de la nanociencia reside en que cualquier tipo de material puede adquirir nuevas propiedades cuando se divide hasta el tamaño nanométrico, propiedades que son diferentes a las de los mismos materiales en estado macroscópico pero también a las de los átomos y las moléculas que los componen. Más aún, pequeñas variaciones en el tamaño nanométrico pueden dar lugar a grandes variaciones en las propiedades de los nanomateriales. Este comportamiento único da lugar a nuevos conceptos, que a su vez pueden encontrar aplicaciones (anteriormente impensables) en un amplio abanico de tecnologías, como pueden ser sensores diversos, diagnóstico clínico y medicina personalizada, láseres, supercomputación, telecomunicaciones, etc. En el contexto de este discurso, es importante destacar que en todos estos campos de aplicación se ha introducido ya el concepto de tecnologías ópticas o fotónicas, es decir, aquellas que están directamente relacionadas con la luz y los colores de los materiales empleados. Curiosamente, es fácil encontrar ejemplos de aplicación de nanopartículas como pigmentos decorativos desde tiempos ancestrales.⁴ Un

¹ Esta es la base de la película “Un Viaje Fantástico” y del libro con el mismo título de Isaac Asimov (Bantam 1966).

² Un libro que trata este tema con una aproximación tremendista es *Presa* (en inglés *Prey*) de Michael Crichton (Harper Collins, 2002).

³ En realidad, las supercomputadoras miniaturizadas se han hecho realidad en forma de teléfonos móviles a los que llamamos inteligentes, es decir, smartphones.

⁴ ¿Podemos llamarle nanotecnología aunque en su momento no se fuese consciente de ello? Probablemente sí, ya que en la industria es práctica habitual la aplicación de procesos “que funcionan”, aunque no se entienda por qué funcionan

ejemplo característico es la famosa copa de Licurgo, fabricada por los Romanos en el siglo IV y actualmente expuesta en el Museo Británico⁵ de Londres. A pesar de que existen muchas otras piezas similares, la copa de Licurgo llama especialmente la atención porque su color cambia dependiendo de la forma de iluminarla. De hecho, en el museo se exhibe en una estantería, con una lámpara colocada detrás, que se enciende y se apaga intermitentemente, de forma que el vidrio de la copa refleja un color verdoso cuando la lámpara está apagada, pero transmite color rojo intenso cuando está encendida. Esta gama de colores tan especial llamó la atención a los científicos del museo, hasta el punto de que decidieron analizar el vidrio, encontrando una pequeña cantidad de inclusiones de muy pequeño tamaño (unos 70 nm), compuestas por plata y oro, en una relación molar aproximada de 14 a 1. Precisamente es la presencia de estos nanocristales la que confiere a la copa de Licurgo esas propiedades ópticas tan especiales. Otros ejemplos clásicos de coloración causada por nano-pigmentos inorgánicos son las vidrieras de muchas catedrales e iglesias antiguas. La naturaleza inorgánica de los pigmentos les confiere estabilidad química⁶, de forma que los colores siguen brillando incluso muchos siglos después de su colocación, pero solamente se pueden ver desde el interior del templo, lo cual pone de manifiesto el pequeño tamaño de las partículas,

⁵ <http://www.thebritishmuseum.ac.uk/science/text/lycurgus/sr-lycurgus-p1-t.html>

⁶ Los pigmentos orgánicos se degradan lentamente al ser iluminados, por lo que en vidrios continuamente expuestos a la luz del sol deberían haberse degradado completamente hace mucho tiempo.

que se traduce en una capacidad muy grande para absorber luz de un determinado color, pero muy escasa para reflejar la luz que incide sobre ellas.

Sin embargo, no fue hasta 1857 que Michael Faraday presentó su célebre trabajo sobre el estudio sistemático de la preparación de “metales en condición excesivamente subdividida” y su relación con la luz (es decir, sus colores).⁷ A pesar de que el trabajo de Faraday pretendía encontrar métodos experimentales que le permitiesen comprobar la teoría ondulatoria de la luz, se puede decir que este es uno de los primeros trabajos considerados como pioneros de la nanociencia, y probablemente esta es la razón por la que este trabajo tardó más de 100 años en recibir el reconocimiento que merece. Es interesante tener en cuenta que la discusión que Faraday podía hacer en 1857 estaba necesariamente enmarcada en los conceptos aceptados en su época, incluyendo por ejemplo la existencia del “éter” como medio a través del cual unos objetos pueden interaccionar con otros. A pesar de esas limitaciones, la lectura del artículo revela la discusión conceptos que serían redescubiertos décadas más tarde, y que a menudo se pueden relacionar con la nanociencia o con la ciencia de coloides.

Aprovecho este contexto para comentar la relación entre coloides y nanomateriales, que claramente ha tenido una relevancia fundamental en el

⁷ M. Faraday, “Experimental relations of gold (and other metals) to light” *Philos. Trans. Royal Soc. London* **1857**, *147*, 145-181.

desarrollo de la nanociencia, ya que muchos conceptos son comunes a ambas disciplinas. Incluso la idea de “dimensión olvidada” que presentó Richard Feynman en su famosa conferencia “Queda mucho sitio en el fondo” en 1959,⁸ estaba ya presente en el libro publicado en 1917 por Wolfgang Ostwald, “El mundo de las dimensiones despreciadas”,⁹ considerado uno de los primeros tratados sobre la ciencia de coloides. Un concepto esencial, que probablemente no se discute suficientemente a la hora de definir o clasificar los nanomateriales, es el concepto de propiedades superficiales. La consecuencia más inmediata de reducir las dimensiones de un material es que la proporción de materia (átomos) que se encuentra en la superficie se hace cada vez mayor. Al alcanzar la nanoescala, dicha proporción se hace tan grande que son las propiedades de la superficie (y no las del interior) las que dominan el comportamiento del material, cambiando completamente las reglas de juego.

En la actualidad, se cuentan por miles los artículos científicos publicados sobre la síntesis, modificación, propiedades, y organización de nanopartículas metálicas, usando una gran variedad de disolventes y otros sustratos, en buena parte basados en química coloidal. Todo este esfuerzo investigador no solo ha dado lugar a una amplia batería de procedimientos fiables para la preparación de dichas

⁸ R. Feynman, “There is plenty of room at the bottom. An invitation to enter a new field of physics”, Caltech, 29 de Diciembre de 1959. <http://calteches.library.caltech.edu/1976/1/1960Bottom.pdf>

⁹ C.W.W. Ostwald, “Die Welt der vernachlässigten Dimensionen: Eine Einführung in die Kolloidchemie”, John Wiley and Sons, 1917.

nanopartículas con casi cualquier geometría que podamos imaginar y dentro de un amplio intervalo de tamaños. Además de eso, contamos con un amplio conocimiento de muchas de las características fisicoquímicas que determinan el comportamiento característico de estos sistemas.

Aunque definitivamente no el único, uno de los aspectos más interesantes de las nanopartículas de metales se refiere, efectivamente, a que presentan colores muy diferentes a los de los metales macroscópicos. Por ejemplo, hemos visto que la presencia de oro y plata en la copa de Licurgo le aporta coloración verde o roja, completamente diferente a lo que llamaríamos colores “dorado” o “plateado”. Esta propiedad fue expresada de forma muy elegante por mi buen amigo Paul Mulvaney (profesor en la Universidad de Melbourne), en el título de un artículo publicado hace ya tiempo:¹⁰ “No todo lo que es oro brilla”, en evidente relación a la popular frase “No es oro todo lo que brilla”, pero con un significado muy diferente. Efectivamente, mientras que el oro macroscópico presenta una coloración amarilla muy brillante en su luz reflejada, la luz transmitida a través de una capa muy fina del mismo metal podría aparecer azulada. Este color azul característico cambia gradualmente hasta anaranjado, pasando por varios tonos de púrpura y rojo, a medida que subdividimos el metal en partículas con tamaños cada vez menores, hasta unos 3 nm. Pero además, si las partículas no son esféricas sino alargadas, por ejemplo, pueden adquirir tonos verdosos o azulados. Estos efectos se deben a

¹⁰ P. Mulvaney, “Not all that’s gold does glitter”, MRS Bull. Dec **2001**, 1009-1014

cambios en la frecuencia de las llamadas resonancias plasmónicas superficiales localizadas (en inglés, localized surface plasmon resonances, LSPR). Se podría decir que los electrones de conducción del metal oscilan en la partícula, con una frecuencia LSPR, en respuesta al campo eléctrico alternante de una radiación electromagnética incidente. A pesar de que este es un fenómeno que puede producirse en materiales de naturaleza diversa, solamente en los metales con electrones libres (Au, Ag, Cu, y los metales alcalinos) se observan resonancias plasmónicas en la parte visible del espectro electromagnético, de forma que presentan colores intensos como los de las vidrieras o la copa de Licurgo.

Es interesante destacar aquí que este fenómeno es de alguna manera paradójico, ya que las teorías que describen la interacción entre radiación y materia dicen que las ondas interactúan preferentemente con objetos de tamaño comparable a su longitud de onda, que para la luz visible sería el intervalo entre aproximadamente 400 y 700 nm, es decir, uno o dos órdenes de magnitud por encima de los tamaños de partícula que estamos considerando.¹¹ De esta observación surge una definición de la “Nanoplasmonica”¹² como la ciencia que estudia el control del flujo de la luz por medio de objetos con tamaños significativamente menores que la longitud de onda.

¹¹ Por ejemplo, el radar utiliza ondas de radio, con longitudes de onda del orden de metros a kilómetros, para detectar objetos de gran tamaño, como aviones u otros vehículos.

¹² H. Atwater, “The promise of plasmonics”, Scientific American, Abril 2007.

La fuerte dependencia de los efectos plasmónicos con el tamaño de las nanopartículas nos deja otros efectos francamente interesantes, que además expanden enormemente las posibilidades de aplicación práctica de estos materiales. Por ejemplo, cuando las nanopartículas presentan anisotropía de forma (por ejemplo, partículas alargadas en una dirección, como elipsoides o cilindros), se pueden generar resonancias plasmónicas a frecuencias diferentes, por la oscilación de los electrones en las direcciones transversal o longitudinal, respecto a la dimensión más larga de la partícula. Aunque este es un tema que podría dar para un tratado completo, baste indicar aquí para el ejemplo de los (nano)cilindros que la frecuencia de la llamada resonancia transversal suele tener valores relativamente constantes, pero la resonancia longitudinal puede variar en cientos de nanómetros, en función de la magnitud de la anisotropía, es decir de la relación entre la longitud y la anchura (conocida como “relación de aspecto”) de las partículas.. Por lo tanto, desviaciones incluso muy pequeñas de la geometría esférica pueden dar lugar a sorprendentes cambios de color. Además, una u otra resonancia (color) se puede seleccionar simplemente colocando un polarizador entre la luz incidente y las partículas.

Pero no son solamente importantes las propiedades de las nanopartículas individuales, sino que también el entorno en el que se encuentran dispersas afecta notablemente a sus propiedades ópticas. A este respecto se ha demostrado que, tanto el índice de refracción del medio (disolvente) como la distancia de separación

entre nanopartículas metálicas, influyen en la absorción y dispersión de luz,¹³ ofreciendo así un amplio abanico de oportunidades para diversas aplicaciones prácticas.

Síntesis coloidal de nanopartículas metálicas

Desde un punto de vista químico, el crecimiento de cristales metálicos en la nanoescala supone un reto apasionante, y se podría decir que los resultados que se han conseguido son sorprendentemente buenos.¹⁴ No se trata solamente de conseguir que el tamaño de los metales se mantenga en la escala nanométrica, sino que idealmente todas las partículas deberían ser idénticas en forma y tamaño, para que todas respondan de la misma manera frente a la luz incidente.

Aquí entra en juego otra vez la relación entre la nanociencia y la ciencia de coloides, ya que ésta nos ofrece un gran volumen de información, que incluye los modelos de crecimiento y estabilización de partículas en disolución desarrollados anteriormente para otros materiales. Lamentablemente, no se puede decir que exista un método general de síntesis, ya que son muchos los parámetros experimentales que afectan a los procesos implicados en el crecimiento cristalino. Se necesita por tanto una combinación exquisita de dichos parámetros para controlar simultáneamente la composición, el tamaño y – en particular – la

¹³ L.M. Liz-Marzán, "Tailoring Surface Plasmons through the Morphology and Assembly of Metal Nanoparticles", *Langmuir* **2006**, 22, 32-41.

¹⁴ L.M. Liz-Marzán, "Nanometals. Formation and color", *Materials Today*, Feb **2004**, 26-31.

geometría de los nanocristales obtenidos. El método utilizado por Faraday para obtener “un hermoso fluido color rubí” consistía en reducir una disolución de una sal de oro con fósforo blanco que, según el mismo Faraday, tenía como efecto reducir parte del oro para formar “partículas extremadamente finas”. Encontró asimismo que pequeñas variaciones en la concentración de sal de oro o en el pH de la disolución podían variar la naturaleza del producto y dar lugar a dispersiones con color más cercano al violeta. A pesar de las limitaciones técnicas del año 1857, las observaciones presentadas por Faraday llaman la atención porque coinciden en buena medida con las que podríamos discutir en la actualidad, sobre la base de medidas de gran precisión con espectrofotómetros y microscopios electrónicos, para caracterizar los materiales obtenidos. Curiosamente, el origen de la Ciencia de Coloides suele fijarse en los años 1860 (la década posterior al trabajo de Faraday), sobre la base de los trabajos de Thomas Graham, quien estableció las características generales de este “nuevo estado de la materia”. Según la Enciclopedia Británica,¹⁵ un coloide es “cualquier sustancia formada por partículas sustancialmente más grandes que átomos o moléculas ordinarias pero demasiado pequeñas para ser visibles al ojo sin ayuda; en un sentido más amplio, cualquier sustancia, incluidas capas delgadas y fibras, que posean al menos una dimensión en este intervalo general de tamaños, que cubre aproximadamente 10^{-7} a 10^{-3} cm. Los sistemas coloidales pueden existir como dispersiones de una sustancia en otra

¹⁵ <https://www.britannica.com/science/colloid>

– por ejemplo, partículas de humo en aire – o como materiales individuales, tales como la goma o la membrana de una célula biológica”.¹⁶ Dentro de este nuevo marco científico, los coloides de oro siguieron jugando un papel muy importante, principalmente a causa de sus propiedades ópticas. Por poner un ejemplo, el Premio Nobel en Química de 1925 fue concedido a Richard Zsigmondy, “por su demostración de la naturaleza heterogénea de las soluciones coloidales y por los métodos usados por él, los cuales se han hecho fundamentales en la química coloidal moderna”.¹⁷ Entre las contribuciones de Zsigmondy se encuentra la determinación del mecanismo que proporciona el color rojo de los llamados “vidrios de rubí y arándano” (utilizando partículas de oro y plata), así como la invención del *ultramicroscopio*, que permitía visualizar la luz reflejada por partículas coloidales individuales, lo cual Zsigmondy demostró, una vez más, con la ayuda de partículas de oro de distintos tamaños.

El oro presenta uno de los potenciales de reducción más elevados, el cual confiere al metal una estabilidad química excepcional. Por esta razón, la reducción de sales de oro en disolución es un proceso muy favorable y se puede conseguir utilizando una gran variedad de sustancias como agentes reductores. Precisamente por esta razón, y dado el interés de las nanopartículas de oro para múltiples aplicaciones, los métodos de preparación publicados en la bibliografía científica se cuentan por

¹⁶ Nótese la similitud con la definición de nanomateriales que ofrece la Comisión Europea.

https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/nanomaterials/es/index.htm#1

¹⁷ <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1925/summary/>

miles. De entre todos estos métodos, el más popular sigue siendo el que desarrollaron John Tukevich y sus colaboradores en la década de 1950.¹⁸ En este método se utiliza citrato sódico para reducir ácido tetracloroáurico (HAuCl₄) en agua a ebullición,^{8,9} dando como resultado la formación de nanopartículas esféricas de oro de tamaño regular (que puede variar entre 10 y 20 nm, en función de las condiciones), que proporcionan al coloide un color rojo intenso, semejante al de un buen vino tinto, tras unos 10 minutos de ebullición.¹⁹ La belleza de este método radica en su sencillez y reproducibilidad, que han permitido llevar a cabo una enorme cantidad y variedad de experimentos para trasladar las propiedades plasmónicas a muchas aplicaciones prácticas, algunas de las cuales describiré brevemente en la siguiente sección. Existen otros métodos muy populares para la preparación de nanopartículas esféricas de oro, entre los que destaca el conocido como método de Brust-Schiffrin,²⁰ en los que el citrato se sustituye por un reductor fuerte, como el borohidruro de sodio, dando lugar a una reducción mucho más rápida y menores tamaños de partícula. Con estos métodos se puedan obtener partículas con funcionalidad química adaptada a la aplicación deseada. Existen también diversos ejemplos de reducción de sales metálicas en disolventes orgánicos, que incluyen por ejemplo etanol y polioles de cadena más larga o N,N-

¹⁸ J. Turkevich, P.C. Stevenson, J. Hillier, "A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold", *Discuss. Faraday. Soc.* **1951**, *11*, 55–75.

¹⁹ Para una demostración visual del proceso ver: <https://www.youtube.com/watch?v=urmi99jQSZY>

²⁰ M. Brust, M. Walker, D. Bethell, D.J. Schiffrin, R. Whyman, "Synthesis of Thiol-derivatised Gold Nanoparticles in a Two-phase Liquid-Liquid System", *Chem. Commun.* **1994**, 801–802.

dimetilformamida (DMF), habitualmente mediante reacciones de solvólisis a temperaturas elevadas.²¹ La mayor parte de estos métodos se han aplicado a la preparación de nanopartículas de plata de diversas morfologías, como nanohilos o nanoplacas, utilizando polímeros nitrogenados (p.ej. polivinilpirrolidona, PVP) como agentes protectores. Se ha discutido mucho acerca del papel que juegan dichos polímeros en la formación de nanopartículas con una geometría determinada, a menudo sobre la base de su adsorción preferente sobre ciertas caras cristalinas. Este es, sin embargo, uno de los aspectos que todavía debemos investigar en mayor profundidad, quizás echando mano de métodos que son de uso común en la química de superficies o la electroquímica, así como métodos computacionales que podrían aportar información muy importante, como ya se ha demostrado en algunos casos.²²

Volviendo a nuestro tema central, es decir, la ciencia de los colores, debemos recordar que son precisamente las desviaciones de la geometría esférica las que más afectan a la respuesta óptica de los nanometales. Por esta razón, se han desarrollado numerosos métodos para sintetizar nanopartículas anisométricas²³ en disolución (nanobastones, nanohilos, nanodiscos, nanoprismas,...).²⁴ De nuevo,

²¹ I. Pastoriza-Santos, L.M. Liz-Marzán, "N,N-dimethylformamide as a reaction medium for metal nanoparticle synthesis", *Adv. Funct. Mater.*, **2009**, *19*, 679-688.

²² N. Almora-Barrios, G. Novell-Leruth, P. Whiting, L.M. Liz-Marzán, N. López, "Theoretical description of the role of halides, silver, and surfactants on the structure of gold nanorods", *Nano Lett.* **2014**, *14*, 871-875

²³ Con dimensiones diferentes en las distintas direcciones del espacio.

²⁴ M. Grzelczak, J. Pérez-Juste, P. Mulvaney, L.M. Liz-Marzán, "Shape Control in Gold Nanoparticle Synthesis", *Chem. Soc. Rev.* **2008**, *37*, 1783-1791

los aspectos fisicoquímicos implicados en estos procesos son apasionantes y requieren el estudio de gran número de parámetros. Si nos fijamos en la estructura cristalina del oro (como metal representativo), nos encontramos una red cúbica centrada en las caras, en la cual parece difícil dirigir el crecimiento en una dirección específica, condición necesaria para generar anisotropía. Sin embargo, las evidencias experimentales demuestran que esta condición se puede cumplir con resultados excelentes, no solo en cuanto a la gran uniformidad en la forma y el tamaño de las nanopartículas crecidas en una dispersión coloidal, como a la facilidad con la que se puede variar la geometría en función de los parámetros escogidos (concentraciones de diversos reactivos químicos, pH, temperatura, etc.). Los métodos más extendidos toman como base la teoría de nucleación y crecimiento en coloides,²⁵ e intentan separar estas dos partes del proceso en eventos independientes, de forma que en primer lugar se reduce el metal en nanopartículas muy pequeñas, las cuales se usan a continuación como semillas en un proceso de crecimiento más fácil de controlar. Esta separación de los procesos de nucleación y crecimiento permite modular independientemente los parámetros que afectan a cada paso, obteniendo un mayor grado de control sobre el producto final.²⁶ La misma idea se puede aplicar para modificar la geometría *a posteriori*, e incluso

²⁵ V.K. LaMer, R.H. Dinegar, "Theory, Production and Mechanism of Formation of Monodispersed Hydrosols", *J. Am. Chem. Soc.* **1950**, *72*, 4847–4854

²⁶ L. Scarabelli, A. Sánchez-Iglesias, J. Pérez-Juste, L.M. Liz-Marzán, "A "tips 'n tricks" Practical Guide to the Synthesis of Gold Nanorods", *J. Phys. Chem. Lett.* **2015**, *6*, 4270-4279

modular la composición de las nanopartículas, por ejemplo creciendo plata sobre nanocristales de oro previamente formados. De esta forma, obtenemos herramientas químicas que nos permiten variar a voluntad la respuesta óptica de las nanopartículas, en función de las propiedades necesarias para aplicaciones concretas.

Algunas aplicaciones biomédicas de la nanoplasmonica

La aplicación de la nanotecnología en medicina se suele denominar “nanomedicina” y es uno de los ámbitos en los que se espera que las propiedades excepcionales de estos nuevos materiales y su pequeño tamaño puedan traer técnicas revolucionarias a los hospitales e incluso a la llamada medicina personalizada. A este respecto, se puede decir que el “nanodiagnóstico” es probablemente el campo en el que se pueden obtener soluciones concretas a más corto plazo. El objetivo principal del nanodiagnóstico es la identificación de enfermedades en sus etapas iniciales, cuando su desarrollo es todavía muy limitado, mediante la utilización de nanodispositivos o directamente de nanopartículas. De esta forma se podría tener una capacidad de respuesta más rápida, que ofrezca mejores oportunidades para una terapia eficaz y una recuperación completa.

Las propiedades ópticas de los nanometales (es decir, la nanoplasmonica) ofrecen múltiples posibilidades para diseñar métodos de diagnóstico muy sensibles y al mismo tiempo muy sencillos.²⁷ Un ejemplo característico, que se puede considerar como una de los primeros productos comerciales basados en nanotecnología son los tests de embarazo tradicionales, en los cuales el color rojo característico de test positivo, se debe a la retención selectiva de nanopartículas de oro unidas a anticuerpos que reconocen específicamente a la hormona del embarazo (gonadotropina coriónica humana o GCH). Durante las últimas décadas se han logrado progresos espectaculares en este campo, basados en el control extremadamente preciso que se ha alcanzado en la fabricación y manipulación de nanopartículas con tamaños, geometrías y química superficial perfectamente definidas. Otros métodos de diagnóstico hacen uso del fenómeno de LSPR de una forma diferente. Por ejemplo, se han desarrollado detectores de ADN basados en los cambios de color producidos cuando se agregan nanopartículas de oro marcadas con cadenas de ADN complementarias a la que se intenta reconocer, de forma que un simple cambio en la disolución de color rojo a azul indicaría la presencia de un biomarcador que permite el diagnóstico específico de una enfermedad concreta. Estos biosensores presentan la ventaja de que el sistema experimental es muy sencillo, ya que simplemente se mide la transmisión de luz (se observa el color de

²⁷ B. Sepúlveda, P.C. Angelomé, L.M. Lechuga, L.M. Liz-Marzán, "LSPR-based nanobiosensors", *Nano Today* **2009**, *4*, 244-251

una disolución), y además permiten llevar la miniaturización hasta niveles extremos.

Otra técnica basada en la interacción de nanopartículas metálicas con la luz, es la dispersión Raman aumentada en superficie (surface enhanced Raman scattering, SERS). En esta técnica, el campo eléctrico generado al excitar la resonancia plasmónica en las nanopartículas provoca un aumento de la intensidad de dispersión Raman de moléculas adsorbidas a su superficie, en muchos órdenes de magnitud. De esta forma se obtiene un aumento espectacular de la sensibilidad, que permite detectar cantidades extremadamente pequeñas de gran variedad de sustancias, llegando incluso a la detección de una única molécula. Se han demostrado múltiples formas de usar esta técnica para biodetección y diagnóstico,²⁸ como por ejemplo la detección de defectos puntuales en ADN o el reconocimiento de priones dañados, que son precursores de distintas enfermedades neurodegenerativas. A pesar de los sorprendentes avances que se han logrado en laboratorios de todo el mundo, todavía es necesario continuar su desarrollo para poder llevarla de forma rutinaria a los hospitales.

Además de servir como elementos para el diagnóstico, las nanopartículas plasmónicas pueden usarse también como agentes terapéuticos. Una de las técnicas que se están explorando ya de cara a su uso en humanos es la llamada terapia por

²⁸ R.A. Alvarez-Puebla, L.M. Liz-Marzán, "SERS-based diagnosis and biodetection", *Small* **2010**, *6*, 604-610.

fototerapia.²⁹ Esta técnica se basa en el calentamiento local que se produce cuando las nanopartículas se irradian con luz del color correspondiente a su resonancia plasmónica específica. La idea consiste en inyectar las nanopartículas de forma que se unan selectivamente a tejidos dañados, tumores o células cancerosas aisladas, y a continuación inducir su calentamiento por irradiación con luz infrarroja (que puede penetrar hasta zonas más profundas del cuerpo y además evitar daños en el tejido sano). El calentamiento provoca la destrucción de las células tumorales por hipertermia, sin afectar a las células o tejidos sanos que las rodean. La utilización de esta tecnología para el tratamiento del cáncer evitaría los graves problemas de efectos secundarios de los actuales tratamientos de quimio o radioterapia.

Consideraciones finales

La profesión de científico es difícilmente comparable a alguna otra. Paul Ehrlich (1854-1915) decía que “*El éxito en investigación requiere cuatro Gs: Glück, Geduld, Geschick und Geld (suerte, paciencia, habilidad y dinero)*”. Llama la atención que Ehrlich incluya entre los requisitos la suerte, algo que aparentemente se escapa del conocimiento científico. Y sin embargo, para los que nos dedicamos a esto, no queda otro remedio que estar de acuerdo. Es cierto que sin las otras Gs (y algunos requisitos más) es difícil alcanzar el éxito en la labor de investigación. En mi opinión, la habilidad se refiere no solo a las capacidades técnicas, sino

²⁹ <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01679470>; <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00848042>

también a la capacidad de formular preguntas relevantes e hipótesis coherentes junto con dichas preguntas. La labor investigadora no es compatible con las prisas y por eso es imprescindible contar con una buena dosis de paciencia para poder desarrollar el método científico con precisión. Se debe notar aquí que en la actualidad existe una presión creciente sobre los científicos, no solo para obtener resultados lo antes posible, sino además para que se publiquen en revistas de “muy alto impacto” e idealmente para que esos nuevos conocimientos se trasladen al sector productivo a muy corto plazo. En mi opinión corremos el riesgo de perder la paciencia y forzar prácticas no solo inexactas sino incluso no éticas. En cuanto al dinero, es obvio que la investigación es una actividad que requiere recursos de todo tipo, infraestructuras, equipamiento moderno, materiales fungibles y personal de apoyo. Dado que no existen recursos financieros ilimitados, es necesaria una selección de propuestas en convocatorias competitivas, que añaden también presión sobre los científicos para adaptarse a las temáticas de dichas convocatorias, cada vez más orientadas a lo que se conoce como “investigación aplicada”. Aunque reconozcamos que el objetivo último de la investigación es su retorno a la sociedad, no solo en forma de conocimiento que nos enriquezca sino también de productos que mejoren la calidad de vida, debe tenerse en cuenta que la mayor parte de los grandes descubrimientos no han surgido de una búsqueda dirigida, sino más bien de resultados inesperados que surgen durante el trabajo científico. Sería relevante recordar aquí una frase de Irving Langmuir (1881-1957, Premio Nobel en Química

1932): “En el caso del director de investigación Willis R. Whitney, cuyo estilo era dar a investigadores con talento tanta libertad como fuese posible, se puede definir “serendipia” como el arte de sacar provecho de hallazgos inesperados. Cuando haces las cosas de esa forma obtienes resultados inesperados. Entonces haces algo diferente y obtienes resultados inesperados en otra línea, y lo haces en una tercera línea y entonces de repente ves que una de esas líneas tiene algo que ver con la otra. Entonces haces un descubrimiento que nunca habrías hecho yendo por un camino directo”. ¿Es serendipia lo que Ehrlich llama suerte? Quizás, de hecho es también célebre la frase de Pasteur, “La suerte solo favorece a la mente preparada”, que apunta en la misma dirección.

Esta reflexión nos devuelve a la pregunta inicial sobre la existencia de ciencia de distintos colores. Es obvio que distintas orientaciones políticas favorecen en mayor o menor medida la orientación de la ciencia hacia las aplicaciones prácticas. Sin embargo, independientemente del “color” del gobernante, es imprescindible que se mantenga la capacidad de que *investigadores con talento* puedan explorar libremente en las direcciones que su experiencia (o incluso su intuición) les indiquen, de forma que puedan encontrarse con observaciones inesperadas, como las que permitieron el descubrimiento de la penicilina (probablemente todavía uno de los pocos medicamentos que realmente curan), los rayos-X (una de las técnicas de diagnóstico más empleadas) y muchos otros productos que consideramos esenciales para nuestra vida diaria.

Un ejemplo de descubrimiento inesperado en mi laboratorio de CIC biomaGUNE es una placa de vidrio o plástico, cubierto por nanopartículas que absorben luz en la zona espectral del infrarrojo cercano, que como hemos visto más arriba permiten localmente cuando se irradian con un láser adecuado. La interacción de investigadores con distinta formación (el químico Juan José Giner Casares y la bióloga Malou Henriksen-Lacey) permitieron encontrar una aplicación para dichas placas que permite mejorar el cultivo de células adherentes, como las que se usan para producción de algunos fármacos. Simplemente iluminando con el láser apropiado, las células adheridas a la superficie se separan y se pueden recuperar con vida y sin perder sus funciones.³⁰ Juanjo y Malou explican la importancia de saber escuchar a científicos con distinta formación e incluso con distintos orígenes, en un artículo publicado por la revista Science,³¹ donde por ejemplo dicen “*Los científicos de materiales tienden a enfocarse en la caracterización del material usado en el experimento, mientras que los biólogos quieren sobre todo investigar cómo el material afecta a las células*”. Uno de los méritos de la Nanotecnología es haber juntado a científicos provenientes de distintas disciplinas, de forma que su trabajo conjunto permita avances en el conocimiento que acaben revirtiendo en la sociedad. A pesar de que existen voces críticas sobre el retraso en las prometidas aplicaciones (la revolución de la Nanotecnología), el progreso continúa y más

³⁰ J.J. Giner-Casares, M. Henriksen-Lacey, I. García, L.M. Liz-Marzán, “Plasmonic Surfaces for Cell Growth and Near-Infrared Light Triggered Retrieval”, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55*, 974-978

³¹ M. Henriksen-Lacey, J.J. Giner-Casares, “Nice to know you”, *Science* **2015**, *349*, 1254

pronto que tarde podremos ver sistemas combinados de diagnóstico y terapia integrados en microchips implantables, que permitan la administración programada de fármacos con un tratamiento personalizado, y que al mismo tiempo podrán medir los parámetros vitales del paciente y transmitir información directamente a su médico. Ya existen chips subcutáneos para medir de forma continua parámetros cruciales como el pulso, la temperatura y la glucosa, nanopartículas que pueden reconocer, detectar y atacar selectivamente células cancerosas en tejidos localizados cerca de la piel, así como nanosensores que permiten detectar en fluidos biológicos cantidades extremadamente bajas de moléculas que revelan la existencia de cáncer u otras enfermedades. Se están fabricando actualmente dispositivos llamados “laboratorio-en-un-chip” y se ha pasado a la etapa de ensayo clínico para nanopartículas que realizan una liberación controlada de fármacos. Sin embargo, los largos procesos de aprobación en los sectores médicos y farmacéuticos pueden significar que los beneficios para la salud sólo podrán apreciarse a largo plazo. Aunque todavía es necesario llevar a cabo una gran cantidad de investigación y desarrollo, no cabe duda de que la Nanotecnología seguirá sorprendiéndonos con avances que redundarán en una mejora de la calidad de vida de nuestra envejecida sociedad y que ayudará a resolver los problemas causados por las principales enfermedades (cáncer, desórdenes neurodegenerativos y enfermedades cardiovasculares).

Agradecimientos

Debo reiterar mi sincero agradecimiento a los miembros de Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada por contar conmigo como uno de sus miembros correspondientes. Es este un honor inesperado, que reitera la importancia de la suerte de haber encontrado en mi camino a gente como el Profesor Roque Hidalgo Álvarez, de quienes he podido aprender la importancia de la generosidad y la amistad.

Un elemento importante en mi selección como nuevo Académico ha sido el volumen, calidad y repercusión de los trabajos científicos en los que he participado durante mi carrera hasta la fecha. Es evidente que este no ha sido un trabajo individual y que no habría sido posible sin la participación de una larga lista de colaboradores, tanto en los laboratorios por los que he pasado en distintas etapas, como en otros laboratorios del mundo en los que he encontrado mentes brillantes y entusiasmo por abordar de forma conjunta problemas complejos y de gran interés. Por los grupos de investigación que he dirigido han pasado más de 80 investigadores (doctorandos y postdoctorales), así como casi 100 visitantes. Muchos de estos estupendos profesionales han encontrado ya puestos en universidades y centros de investigación de todo el mundo, otros trabajan en empresas y otros han encontrado destinos profesionales, a veces sin relación aparente con la ciencia. A todos ellos debo no solo su participación en proyectos

científicos, sino una gran riqueza de vivencias y experiencias personales, todos han aportado a que sea la persona que hoy se encuentra aquí diciendo estas palabras.

No puedo tampoco olvidarme de mis profesores, en particular de mi director de tesis, el Profesor Arturo López Quintela, quien forjó mis primeros pasos como investigador en la Universidad de Santiago de Compostela, y el Profesor Albert Philipse, quien me dio libertad para seguir un tema de investigación diferente al inicialmente planteado para mi etapa postdoctoral en la Universidad de Utrecht.

Muchos otros han influido en mi desarrollo como científico y como persona, entre quienes quiero también destacar a Manuel Martín Lomas, máximo responsable de mi incorporación a CIC biomaGUNE como Director Científico y de quien he aprendido buena parte de lo que sé sobre la historia reciente de la química en España.

Por último, debo referirme a mi familia, especialmente a Charo, que me ha acompañado durante todo este recorrido como científico, ha sufrido ausencias y largas jornadas de trabajo, me ha acompañado en viajes por todo el mundo y ha sabido mantener la alegría en todo momento. Pedro y Sofía son lo mejor que me ha pasado en la vida y también debo agradecer su capacidad de adaptación a los cambios provocados por esta profesión.

**Contestación al discurso de Ingreso en la Academia de Ciencias
Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada del
Ilmo. Sr. D. Luis Liz Marzán**

Ilmo. Sr D. Roque Hidalgo Álvarez

"La educación es la clave para conseguir el cambio en una sociedad. El mundo no puede cambiar si no cambia sus dioses, sus valores. Si queremos lograr algo, debemos quitar valor al dinero, que es lo que mueve la actual sociedad".

José Luis Sampedro

Luis Liz Marzán es Profesor de Investigación Ikerbasque y desde 2012 es el Director científico del Centro de Investigación Cooperativa en Biomateriales, CIC biomaGUNE.

Aprovechemos esta oportunidad para conocer qué hace y cómo funciona Ikerbasque, la Fundación Vasca para la Ciencia. El Gobierno vasco la creó en 2007.

Fue una feliz conjunción de las Consejerías de Educación e Industria la que dio lugar a esa Fundación. Su principal objetivo es ayudar a desarrollar la investigación mediante la atracción y recuperación de investigadores excelentes. Los CIC están ligados, desde su creación, a la Consejería de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco. Recordemos que según la Real Academia Española (RAE), excelente significa, entre otras cosas, “que sobresale por sus óptimas cualidades”.

El País Vasco tiene una población de 2.164.311 habitantes y una extensión de 7.234 km², la provincia de Málaga tiene una superficie de 7.308 km² y 1.629.000 habitantes, aproximadamente.

La misión de Ikerbasque es reforzar la ciencia en el País Vasco en cooperación con los centros de investigación y universidades comprometidos con la excelencia. Su lema es, “El conocimiento es la unidad básica para generar bienestar”. Cuenta con 149 Profesores de Investigación (Research Professors) de los cuales 125 son hombres y 24 son mujeres. Esos profesores y profesoras provienen de 30 países diferentes. La principal área de conocimiento es la ciencia experimental. Casi el 50% de esos profesores tiene menos de 50 años. Los Profesores de Investigación deben tener amplia experiencia investigadora y capacidad de liderazgo. A cambio se les ofrece un espacio y una organización concebidas para sacar de cada investigador lo mejor de si mismo y donde el mérito y la capacidad de trabajo son lo único que importa. Ikerbasque cuenta además con los Investigadores Asociados (Research Associates) y los investigadores postdoctorales (Research Fellows). Los Investigadores Asociados, son investigadores que habiendo sido investigadores postdoctorales han demostrado madurez, independencia intelectual y capacidad de liderazgo y deben ser agentes activos en la mejora de la comunidad científica del País Vasco. En la actualidad hay 10 asociados de 5 países diferentes con predominio de los hombres, 7, frente a las mujeres, 3. También aquí el área predominante es la ciencia experimental. Por

último, en la plantilla Ikerbasque hay investigadores postdoctorales (Research Fellows) que son jóvenes investigadores con una carrera científica prometedora y experiencia internacional. Con ellos se pretende crear una cantera de talento científico que lidere el futuro de la investigación científica en el País Vasco. Hay 62 de 12 países diferentes y 39 hombres por 23 mujeres, el 90% tiene menos de 45 años.

Los investigadores Ikerbasque en 2018 publicaron 1.160 artículos indexados que recibieron más de 28.000 citas de otros investigadores y 877 personas trabajaron en grupos de investigación liderados por investigadores Ikerbasque. Por último, 9 de sus investigadores han logrado ayudas del Consejo Europeo de Investigación, las conocidas “ERC grants”. Desde la creación de Ikerbasque sus investigadores han publicado más de 6.400 artículos que han recibido más de 100.000 citas.

El CIC biomaGUNE se encuentra en Donostia-San Sebastián y fue oficialmente inaugurado en 2006, integrándose en la red de centros CIC. Su objetivo es promover la investigación y la innovación tecnológica al nivel más alto con objeto de crear un nuevo sector de negocio basado en las biociencias. Esta red de centros tiene como misión contribuir al desarrollo económico y social del país mediante la generación de conocimiento y acelerar el proceso que conduce a la innovación tecnológica. Aceptaremos como definición que innovar es producir y poner en práctica con incidencia social y/o económica nuevo conocimiento; por tanto, se trata de la capacidad para generar y aplicar conocimiento que incremente la productividad, la eficiencia o la efectividad de una comunidad u organización, permitiéndole alcanzar sus objetivos o incrementar su bienestar. El concepto se refiere tanto a las usualmente reconocidas como “innovaciones tecnológicas”, como a aquellas otras de índole social e institucional, todas representando diversas formas de generación y uso del conocimiento. La innovación es necesariamente un hecho socioeconómico que tiene como paso previo el de la investigación que es la

creación de alguna idea científica, o teoría o concepto o artefacto, que en sí mismo puede no producir ningún efecto socioeconómico importante.

El CIC biomaGUNE ha desarrollado un programa de investigación ubicado en la interfase entre la Química, la Biología y la Física y presta especial atención tanto a las propiedades a escala molecular como a las aplicaciones de las nanoestructuras biológicas. Estas líneas de investigación incluyen la síntesis y caracterización de nanopartículas biofuncionales, estudios sobre autoensamblaje molecular, técnicas de nanofabricación mediante nanodispositivos, bioconjugación de superficies y estudio de procesos interfaciales, investigación sobre aspectos básicos del diseño de interfaces y la producción biológica. Así como la obtención de patrones relevantes a escala nanométrica para estudios de interacción proteína-superficie y célula-superficie. Este conocimiento básico debería llevar, a la larga, a mejorar la capacidad de intervenir en diferentes etapas de una enfermedad mediante el desarrollo de métodos de diagnóstico temprano, tratamientos terapéuticos "inteligentes", y la activación de mecanismos de autocuración.

Es en este contexto en el que el profesor Luis Liz Marzán desarrolla su investigación en el Laboratorio de Bionanoplasmónica. Este laboratorio se dedica a la síntesis, ensamblaje y aplicaciones de varios tipos de nanopartículas con funcionalidades específicas, en particular nanopartículas metálicas con propiedades ópticas novedosas (plasmónicas). Por medio de técnicas de química coloidal, el grupo liderado por Luis Liz Marzán es capaz de diseñar varios coloides de nanopartículas compuestas y multifuncionales, que combinan propiedades ópticas y magnéticas en partículas individuales o agregadas. Uno de los temas centrales de su grupo es el desarrollo de plataformas que se pueden usar para la detección ultrasensible basada en una variante mejorada de la Espectroscopía Raman por el contacto de las moléculas a estudiar con ciertas superficies (SERS). Y lo que se pretende es la incorporación de dichos sustratos nanoestructurados en dispositivos para la implementación de técnicas de detección y diagnóstico.

En el discurso del nuevo Académico correspondiente ha quedado claro que la nanociencia le debe mucho a la ciencia coloidal clásica. En nuestro país se viene trabajando desde hace décadas en coloides, por ejemplo, en la Universidad Central de Madrid, María Antonia Zorraquino Zorraquino, que pertenecía al Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza defendió en 1930 su Tesis doctoral titulada “Investigaciones sobre estabilidad y carga eléctrica de los coloides”. Antes de 1936 en la Universidad de Zaragoza había tres doctoras. En la cultura científica de entonces no era necesario explicar qué eran los coloides.

Luis Liz Marzán nació en Lugo en 1965, es el segundo de tres hermanos varones y en su familia no fue necesario explicar qué es la cultura del esfuerzo porque cada día se practicaba.

A pesar de tener una vocación científica, siempre le gustó la literatura. Cuando terminó el bachillerato no tenía una idea clara de qué quería estudiar. Finalmente, sabiendo que la carrera de Veterinaria se implantaría en el campus de Lugo, se matriculó en el primer curso de Química con la idea de cambiarse al año siguiente y convalidar varias asignaturas. Sin embargo, su contacto con la química (y la física) en el contexto universitario, le llevó a continuar la carrera de Química y a elegir la especialidad de Química Física. Durante el último curso, ya en el campus de Santiago de Compostela, conoció a quien sería su director de tesis, Arturo López Quintela. Arturo le abrió la mente a materias que se salían del programa de estudios habitual. Así, realizó una “tesina de licenciatura” relacionada con la simulación de fenómenos convectivos en microemulsiones, para más adelante enfocar su tesis doctoral al estudio experimental de microemulsiones como medio de reacción para la síntesis de “partículas magnéticas ultrafinas”. Nació así la que con todo mérito podemos llamar la “escuela gallega de coloides”, que quedaría reforzada cuando Luis se marchó a la Universidad de Utrecht a trabajar bajo la dirección de Albert Philipse en el Laboratorio Van ’t Hoff, el mismo

laboratorio donde Theo Overbeek y Evert Verwey en 1948 habían desarrollado la teoría de la estabilidad coloidal. Sin olvidar los trabajos realizados en la Unión Soviética por Boris Derjaguin y el gran Lev Landau en 1941 y que hoy conocemos como teoría DLVO. La Escuela gallega iba a la búsqueda de la potente Escuela holandesa de coloides.

Salir de Santiago de Compostela le supuso a nuestro académico renunciar a una plaza de Ayudante a cambio de tener nuevos horizontes y vivir nuevas experiencias personales y profesionales. Justo en ese momento se casó con Charo, su compañera y apoyo imprescindible, quien ya en ese momento demostró una gran capacidad para aceptar las “peculiaridades” inherentes a compartir la vida con un científico inquieto.

El azar y una conversación durante un congreso con Paul Mulvaney (de la Universidad de Melbourne), lo llevó a orientar su trabajo hacia algo que nadie en Utrecht investigaba, esto es, la síntesis de coloides metálicos y el análisis de sus propiedades plasmónicas. A pesar de los escasos medios disponibles para estudiar este tipo de materiales, consiguió publicar varios trabajos que tuvieron un significativo impacto. La cultura del esfuerzo aprendida en su entorno familiar y su inagotable curiosidad científica le permitieron volver (no sin dificultades por venir desde fuera) a la universidad española como Ayudante, primero a la Universidad de Santiago y luego trasladándose a la Universidad de Vigo de reciente creación. La razón del traslado fue en este caso la búsqueda de un ambiente que le permitiese mayor libertad a la hora de decidir sus temas de investigación, a pesar de que al comienzo los medios fuesen muy escasos. En esta etapa consiguió una beca para ir a trabajar durante 3 meses a la Universidad de Melbourne, junto con Paul Mulvaney, el mismo que le había ayudado a descubrir un mundo fascinante en los coloides plasmónicos. Esta colaboración dio lugar al descubrimiento de un método para depositar capas de óxido de silicio sobre partículas coloidales de oro y plata. Este trabajo no solo tuvo una repercusión

enorme en el campo sino que generó múltiples ideas que permitieron continuar la fructífera colaboración con Mulvaney a pesar de encontrarse en las antípodas.

La ciencia es una de las actividades más sociales que un ser humano puede realizar: se trabaja en equipo, lo descubierto tiene verdadero sentido sólo cuando se comunica a los demás, se discuten y confrontan ideas dentro de redes que te permiten descubrir cada día la importancia del método científico frente al pensamiento mágico y el adoctrinamiento ideológico, se trabaja dentro de un ecosistema social repleto de tensiones y conflictos y donde sólo la racionalidad permite encontrar soluciones validas para que las diferencias no sean tan grandes que el ecosistema social termine por destruirse, se aprende a valorar el trabajo de los demás y a trabajar detrás del escenario, a reconocer el mérito de todos los contribuyentes que con el pago de impuestos financian nuestros salarios y las infraestructuras que necesitamos. En definitiva estimula el sentido de pertenencia a la única raza que existe, la humana.

Luis Liz Marzán creó un buen equipo de investigación en la Universidad de Vigo y a la vez supo ser padre de un hijo y una hija que él considera su mayor logro. Por si todo esto fuera poco obtuvo una de las primeras cátedras en Química por habilitación a nivel estatal. A principios de 2006 ya era un científico con un gran reconocimiento internacional, que se convertiría en el primer editor español de una revista de la American Chemical Society, uno de los primeros en conseguir una “ERC Advanced Grant”, director de un numeroso grupo de investigación, padre de dos hijos estupendos y con una casa cerca del mar que le permitía practicar su afición a la natación. Tanto a nivel personal como profesional era difícil ver que las cosas pudiesen ir mejor. Pero de nuevo el azar y un seminario suyo en el CIC biomaGUNE le abrieron un nuevo horizonte. Desde Donostia-San Sebastián le ofrecieron convertirse en el Director científico de ese centro. En la Universidad de Vigo no se mostró gran interés en evitar su marcha y en su casa se decidió que sería una buena oportunidad para todos. Como resultado, ya son más de 6 años los que

él y su familia llevan en Donostia-San Sebastián. Durante su trayectoria científica nuestro académico correspondiente ha logrado el reconocimiento de la comunidad científica internacional e incluso de la española, sí también de la comunidad científica española. Algunos de los premios que ha logrado son los siguientes: Premio von Humboldt a la investigación en 2009, Premio de Química Física de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ-2009), Premio DuPont de las Ciencias (2010), Premio Burdinola (2011), Premio Rhodia de la Sociedad Europea de Ciencia de Coloides e Interfases (2013), Medalla de la RSEQ (2014), Premio Jaume I a la investigación básica (2015), Premio Darsh Wasan en Ciencia de Coloides e Interfases (2017), Medalla Blaise Pascal de la Academia Europea de Ciencias (2107), y el Premio Nacional “Enrique Moles” en Ciencia y Tecnología Químicas (2018). Desde 2014 hasta 2018 ha sido considerado por el “Institute for Scientific Information” (ISI) investigador altamente citado en Química y Ciencia de materiales, al tener 95 artículos con esa consideración.

Ha sido Editor sénior de la revista *Langmuir* desde 2009 hasta 2016, Coeditor jefe de la revista de acceso libre *ACS Omega* desde 2016 a 2018 y ahora es Editor asociado de *ACS Nano* y miembro del Consejo de editores de *Science*, entre otras revistas de impacto.

Pensando en el mañana tranquiliza saber que nuestro sistema de ciencia y tecnología, que nuestra sociedad, cuenta con investigadores de la talla humana y científica de Luis Liz Marzán que todos los días demuestra ser útil a su pueblo y a su país, que por suerte para todos nosotros es también el nuestro.

