

# EL LABORATORIO DE INVESTIGACIONES BIOQUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA Y LOS INICIOS DE LA CIENCIA DE COLOIDES E INTERFASES EN ESPAÑA: UN EJEMPLO DE CIENCIA PERIFÉRICA, 1918-1936

The Biochemical Research Laboratory of the Zaragoza University and the beginnings of the Colloid and Interface Science in Spain: an example of peripheral science, 1918-1936

ROQUE HIDALGO ÁLVAREZ

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

ORCID: 0000-0003-0309-0710

## **Resumen**

En este artículo se presenta una aproximación histórica a los inicios de la Ciencia de Coloides e Interfases en España. El pionero en la investigación del dominio coloidal fue Antonio de Gregorio Rocasolano, catedrático de Química General, y fundador del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas de la Universidad de Zaragoza en 1918. Los trabajos pioneros realizados por Rocasolano con soles de plata y oro sintetizados en su propio laboratorio y el uso del ultramicroscopio para seguir los procesos de agregación coloidal convirtieron al Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas en un centro de investigación capaz de obtener interesantes resultados científico-técnicos que han llegado hasta hoy en día. Es un ejemplo de investigación de calidad realizada en la periferia de la ciencia española. Para ello el profesor Rocasolano se rodeó de jóvenes y brillantes investigadores como Juan Martín Sauras, Jesús Camón Cano, María Antonia Zorraquino Zorraquino y José María Albareda Herrera, estableciendo sólidas relaciones de colaboración con prestigiosos investigadores extranjeros como Richard Adolf Zsigmondy y Heinrich Jakob Bechhold.

En noviembre de 1936 Rocasolano aceptó ser el presidente de la Comisión Depuradora del Personal Universitario (Comisión A). Esta Comisión depuró al menos al 40% del profesorado universitario español. Esa actividad represiva del profesor Rocasolano opacó su brillante carrera científica que es desconocida por la gran mayoría de los científicos españoles.

## **Abstract**

This article presents a historical approach to the beginnings of Colloid and Interface Science in Spain. The pioneer in the colloidal domain research was Antonio de Gregorio Rocasolano, professor of General Chemistry, and founder of the Biochemical Research Laboratory of the University of

*Recibido: 07/09/2022 – Aceptado: 15/09/2023*  
*<https://doi.org/10.47101/llull.2023.46.92.Hidalgo>*

Zaragoza in 1918. The pioneering work carried out by Rocasolano with silver and gold sols synthesized in his own laboratory and the use of the ultramicroscope to follow the colloidal aggregation processes turned the Biochemical Research Laboratory into a research center capable of obtaining interesting scientific-technical results that have remained valid to the present day. It is an example of high-quality research carried out in the periphery of Spanish science. To this end, Professor Rocasolano surrounded himself with brilliant young researchers such as Juan Martín Sauras, Jesús Camón Cano, María Antonia Zorraquino Zorraquino and José María Albareda Herrera, establishing solid collaborative relationships with prestigious foreign researchers such as Richard Adolf Zsigmondy and Heinrich Jakob Bechhold.

In November 1936 Rocasolano agreed to be the president of the Purging Committee of the University staff (Committee A). This Committee purged at least 40% of the Spanish university teaching staff. This repressive activity of Professor Rocasolano overshadowed his brilliant scientific career, which is unknown to the vast majority of Spanish scientists.

*Palabras claves:* Antonio de Gregorio Rocasolano, Escuela Química de Zaragoza, Ciencia de Coloides e Interfases; Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza, Ciencia periférica.

*Key words:* Antonio de Gregorio Rocasolano, Chemical School of Zaragoza, Colloid and Interface Science; Academy of Exact, Physicochemical and Natural Sciences of Zaragoza, Peripheral science.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), el límite entre dos fases se denomina superficie o interfase, términos que a menudo son utilizados como sinónimos, aunque interfase se prefiere para referirse al límite entre dos fases condensadas, o bien cuando las dos fases son denominadas explícitamente, por ejemplo, interfase sólido/gas. El término coloidal se refiere a un estado de subdivisión donde las moléculas o partículas dispersas en un medio tienen, al menos, una dimensión comprendida entre 1 nm y 1  $\mu\text{m}$ , aproximadamente; o cuando en el sistema se encuentren discontinuidades con distancias de ese orden. Un sistema coloidal no tiene por qué ser discreto, estructuras formadas por redes continuas, p. ej., sólidos porosos, geles y espumas, también lo son<sup>1</sup>. Una dispersión coloidal es un sistema en que partículas de tamaño coloidal, de cualquier naturaleza (sólidas, líquidas o gases) están dispersas en una fase continua de diferente composición o estado. El término coloide es un sinónimo breve de sistema coloidal [EVERETT, 1972]. Fue propuesto en 1861 por Thomas Graham, utilizando una palabra griega ( $\kappa\omicron\lambda\lambda\alpha$ ) que se podría traducir por *cola* [GRAHAM, 1861]. Eran sustancias de apariencia no cristalina y que, una vez disueltas, no atravesaban membranas que, como es el caso de la membrana celular, se sabía que eran habitualmente permeables a soluciones salinas. Sin embargo, seguramente el primer trabajo científico sobre coloides fue el realizado por el investigador inglés Michael Faraday entre 1856 y 57, quien sintetizó soles de oro que todavía hoy permanecen estables y pueden ser

---

1. Las fibras con dos dimensiones y las películas delgadas con solo una dimensión dentro del dominio coloidal se consideran también coloides.

observados en el Museo Británico de Ciencia en Londres [FARADAY, 1857]<sup>2</sup>. Unos años antes Francesco Selmi había ya preparado algunas dispersiones coloidales de cloruro de plata, azul de Prusia y sulfuros e identificado su apariencia al microscopio como pequeños glóbulos esféricos dispersos<sup>3</sup>.

Los sistemas coloidales tienen muchas propiedades especiales, algunas de las cuales nos son muy familiares. Por ejemplo, bajo determinadas condiciones los coloides pueden flocular o coagularse; la leche forma mantequilla cuando se bate y yogurt o queso en presencia del ácido láctico generado por ciertas bacterias o levaduras. También los virus y las bacterias constituyen un importante grupo de sistemas coloidales. Los bancos de arena o los deltas se forman en la desembocadura de los ríos por la agregación de los finos limos que son arrastrados por el agua del río cuando se encuentra con el agua salada de los mares u océanos.

Las condiciones bajo las cuales se forman las dispersiones coloidales son igualmente importantes. Lavarse con un jabón produce una dispersión coloidal con la suciedad, del mismo modo que muchos procesos culinarios se diseñan para producir productos coloidales como lo es la mayonesa.

En los seres vivos también los fenómenos coloidales juegan un papel vital en materiales tales como las membranas de las células, el plasma celular, la sangre, los huesos, dientes y músculos. La formación de  $\beta$ -amiloides, íntimamente relacionada con la enfermedad neurodegenerativa de Alzheimer, es un proceso de agregación coloidal de péptidos en el cerebro.

Otros importantes fenómenos coloidales tienen que ver con la influencia de la materia orgánica en la fertilización y acondicionamiento del suelo, el cual es otro importante sistema coloidal. A lo largo de las eras geológicas los procesos coloidales han dado lugar a sustancias coloidales como las calizas y las areniscas porosas (cuyos intersticios fueron rellenados por el petróleo mediante un proceso coloidal); las arcillas que están formadas por láminas de tamaño coloidal y los ópalo naturales que deben su iridiscencia a nanoesferas de sílice densamente compactadas. Las ágatas y otros minerales fueron formados mediante procesos coloidales, y un material tan importante como el carbón es también coloidal.

Hay constancia de que en las civilizaciones mesopotámicas y del antiguo Egipto se utilizaron los sistemas y procesos coloidales. Desde muy antiguo los coloides han estado íntimamente relacionados con la fabricación de ladrillos, la alfarería, la preparación de argamasas y morteros y más tarde con el cemento; en el tintado y curtido de la piel, en la purificación del agua y también en la preparación de tintas y pigmentos.

---

2. Faraday hizo tres observaciones clave: primera, un haz de luz era dispersado cuando atravesaba el líquido (efecto Tyndall), segunda, el color cambiaba cuando se añadía una sal y además se producía la sedimentación de las partículas y tercera, la adición de gelatina al sol de oro protegía a éste de la acción de la sal. Faraday sugirió que el tamaño de partícula determinaba tanto el color como la sedimentación y que las partículas podrían estar encerradas en *sobres* de agua o (en el caso de añadir gelatina) en *sobres* de esa *sustancia animal*. Estas especulaciones se anticipaban a muchas de las ideas que han formado la base de desarrollos posteriores.

3. Curley, Robert (ed.) (2023) *Francesco Selmi*. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Francesco-Selmi> [Consulta: 31/08/2023].

Hoy en día los coloides juegan un papel muy relevante y su importancia industrial y económica se puede resumir en los siguientes puntos:

- 1º) En la preparación de dispersiones coloidales para usos diversos como son el caso de las pinturas, las tintas, los productos farmacéuticos y cosméticos, los alimentos, los barros de perforación de los pozos petrolíferos, los colorantes, los adhesivos y pegamentos, las espumas, los productos agrícolas, algunas pruebas de inmunodiagnóstico y sistemas de liberación de fármacos o genes.
- 2º) En el uso de dispersiones coloidales como paso previo en los procesos de fabricación de cerámicas, cementos y yesos, papel y soportes para catalizadores.
- 3º) En la utilización de fenómenos coloidales incluyendo: la detergencia, los fenómenos capilares que son determinantes en el mojado de las superficies, la extracción del petróleo de las rocas sedimentarias, la retención de humedad y nutrientes en el suelo, en el recubrimiento de superficies, la flotación de minerales, la adsorción de impurezas en el refinado del azúcar, en la recuperación de disolventes y la deposición electroforética de pinturas.
- 4º) Por último, también en la destrucción de dispersiones coloidales no deseadas como sucede en la purificación del agua, el aclarado de vinos y cervezas, en la recogida y tratamiento de aguas residuales, la rotura de emulsiones de petróleo, el secado de fangos y la dispersión de aerosoles y nieblas [HIDALGO ÁLVAREZ, 2012].

Tal vez el primer manual dedicado específicamente al estudio de los coloides fue el publicado en 1917 por Wolfgang Ostwald, titulado *An Introduction to Theoretical and Applied Colloid Chemistry. "The World of Neglected Dimensions"* [OSTWALD, 1917]. En este libro se plantea la existencia de una nueva rama de la Química, denominada Química coloidal que, en opinión del autor, era una ciencia diferenciada e independiente del resto de las demás ciencias y que, además, destacaba por sus innumerables aplicaciones científicas y tecnológicas<sup>4</sup>. Se debe recordar que el concepto de coloide surgió durante la realización de experimentos de difusión (diálisis) y se les denominó así a aquellas sustancias que, o no difundían, o lo hacían muy lentamente. Ostwald llegó a la conclusión de que el tamaño de la fase dispersa era el mejor criterio para definir los límites del dominio coloidal, llegando a la conclusión de que éstos estaban entre 1 nm y 100 nm, siendo el límite superior un orden de magnitud inferior a lo hoy considerado por la IUPAC. Se definía así este dominio como perteneciente al mundo mesoscópico, es decir, intermedio entre lo microscópico y lo macroscópico. Según la autorizada opinión de este autor, *los coloides forman, junto con las suspensiones gruesas y las disoluciones moleculares, el grupo de los sistemas dispersos, diferenciándose de ambas sólo en su grado de dispersión*. Dentro de los sistemas dispersos existe, lógicamente, un principio de continuidad, pudiéndose pasar de unos a otros variando el grado de dispersión. Ya entonces quedó bien establecido que el estado coloidal es un estado universalmente posible de la materia y que para preparar coloides no sólo se puede utilizar la energía mecánica sino también la energía química, la eléctrica, el calor y la luz.

4. En el libro de Wolfgang Ostwald se recogen algunas de las conferencias que este conocido químico alemán impartió durante 1913 y 1914 en diversas Universidades de Canadá y Estados Unidos.

Son ocho las combinaciones que se pueden hacer entre los tres principales estados de agregación de la materia en sistemas con una fase dispersa y un medio de dispersión. Los aerosoles, las emulsiones, las espumas y las dispersiones coloidales son ejemplos bien conocidos de estas combinaciones. Ya en 1917 Ostwald planteaba un estudio sistemático de las que él llamó, *propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas y fisicoquímicas de las disoluciones coloidales y cómo éstas cambiaban con el grado de dispersión*. Por otra parte, este campo científico está definido por el tamaño de una dimensión y no por el tipo de material; de modo que la ciencia coloidal incluye materiales inorgánicos, orgánicos y biomateriales. Por lo tanto, está en la base de muchas disciplinas como la biomedicina y la nanotecnología y, según Möhwald, *la ciencia coloidal tiene un brillante futuro como ciencia posibilitadora* [MÖHWALD, 2010]. Se ha pretendido también insertar a la ciencia de coloides e interfases dentro de un espacio más amplio como parte de la Físicoquímica de superficies y sistemas dispersos [TORAL, 1973].

La Historia de la Ciencia de Coloides e Interfases, como ciencia propia, está por hacer y algunos autores como Ernest Hauser, que han intentado escribirla, afirman que esta no puede ser clasificada simplemente como Química ni como una rama de la Química Física, aunque su desarrollo científico haya ido paralelo al de la Química Física y estuviera fuertemente influenciado por el proceso industrializador experimentado en Gran Bretaña, Estados Unidos, Alemania y Francia durante el siglo XIX [HAUSER, 1955]. Trabajos históricos posteriores, sin embargo, se han limitado a la parte química de esta ciencia y resultan insuficientes [CHANG, 2016 p. 1-12]. Otros más recientes, aunque con la misma limitación, prefieren relacionar el desarrollo histórico de la Química con los cambios culturales que ésta provoca en la sociedad [MORRIS, 2022].

La Ciencia de Coloides e Interfases, sin embargo, es una ciencia transversal y multidisciplinar que se define como el punto de encuentro de las ciencias básicas, es decir, la Física, la Química, la Matemática y la Biología con la Tecnología<sup>5</sup>. Ese carácter multidisciplinar es el que dificulta la construcción de una Historia integral de esa ciencia. Por ejemplo, fueron los experimentos realizados por Jean Baptiste Perrin en 1908 y Theodor Svedberg en 1912 con sistemas coloidales los que permitieron determinar el origen físico del movimiento caótico de los granos de polen suspendidos en líquidos que el botánico escocés Robert Brown había observado al microscopio en 1827, lo que desde entonces se denomina movimiento browniano. Fue Albert Einstein quien en 1905 explicó teóricamente ese movimiento y resolvió el conflicto existente entre las altas velocidades de las partículas, calculadas mediante el principio de equipartición de la energía, y sus pequeños desplazamientos cuadráticos medios; confirmando la naturaleza atómico-molecular de la materia y sentando las bases de la Matemática pura de los procesos estocásticos o al azar. Esta teoría sería ampliada por Marian von

---

5. Desde la concesión a Pierre Gilles de Gennes del premio Nobel de Física en 1991 y su discurso titulado *Soft Matter* se viene utilizando, sobre todo por los físicos, el calificativo de *materia blanda* al referirse a los fluidos complejos que son sistemas de naturaleza coloidal. De este modo se facilita la comprensión y se evita la necesidad de explicar el significado de la palabra coloide.

Smoluchowski en 1906 y por Paul Langevin en 1908 [SANTAMARÍA, 2013]. Volveremos sobre este trascendental paradigma científico más adelante. Este era el contexto histórico científico en el que se inició la Ciencia de Coloides e Interfases en España.

Los coloides como objeto historiable están íntimamente unidos al surgimiento de *research schools*, tanto en Europa como en Estados Unidos, desde mediados del siglo XIX, y son un ejemplo del papel esencial jugado por los laboratorios creados específicamente para la docencia y la investigación en algunas universidades [SERVOS, 1993]. El caso español, como vamos a describir a continuación, es un ejemplo más de esa desconocida historia científica común.

Como hipótesis de trabajo se plantea que los trabajos en Química coloidal que describe sucintamente José Luis Cebollada en su artículo sobre Antonio de Gregorio Rocasolano y la Escuela Química de Zaragoza podrían estar en el origen de la Ciencia de Coloides e Interfases en España [CEBOLLADA, 1988]. Dada la notoriedad del profesor Rocasolano como político al servicio del régimen dictatorial impuesto después de 1939 en España, pensábamos que su trayectoria como científico podía haber quedado opacada por su labor política como presidente de la Comisión Depuradora del Profesorado Universitario (Comisión A) que se estableció en Zaragoza en noviembre de 1936 y que se estima participó en la depuración de más del 40% de los docentes universitarios españoles [BALDÓ, 2011].

En concordancia con las dos hipótesis planteadas, los principales objetivos de este trabajo son, por una parte, conocer en detalle los trabajos de Química coloidal realizados por el profesor Rocasolano y, por otra, determinar las posibilidades que este tuvo de crear una *research school* en la periferia de la ciencia española.

## 2. LA ESCUELA DE QUÍMICA Y LA ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICO-QUÍMICAS Y NATURALES DE ZARAGOZA

La historia reciente de la Escuela Química de Zaragoza se conoce bastante bien [CEBOLLADA, 1988, PEIRÓ ARROYO, 2010]. Los tres miembros más destacados de esa Escuela en el primer tercio del siglo XX fueron: Paulino Savirón y Caravantes (1865-1947), catedrático de Química Inorgánica (tuvo la Química Analítica acumulada durante 26 años); Gonzalo Calamita Álvarez (1871-1946), catedrático de Química Orgánica y Antonio de Gregorio Rocasolano (1871-1941), catedrático de Química General. Los tres catedráticos se formaron, como era característico de esa Escuela, en un ambiente químico muy aplicado y vinculado con la actividad socioeconómica de diferentes empresas del sector agrario, como las fábricas de harinas, azucareras y alcoholeras; y de materiales de construcción, como las cementeras. Se dejó notar, desde un principio, la influencia que la Sociedad Económica Aragonesa de Amigos del País ejerció sobre las diferentes Escuelas de Agricultura Experimental, Botánica y Química que se fundaron en Zaragoza desde 1777. Tras la hecatombe que supuso el sitio de la ciudad por parte de las tropas napoleónicas, la Universidad de Zaragoza inició un lento proceso de recuperación que terminó a mediados del siglo XIX y que permitió ya en 1870 restablecer los estudios de Físico-Químicas tanto de licenciados como de doctores. La vitalidad investigadora de los profesores de la Universidad de Zaragoza le llevó a editar en 1924

una revista titulada *Universidad. Revista de cultura y vida universitaria*, de cuyo Consejo de Redacción formaba parte Rocasolano [PEIRÓ ARROYO, 2010].

Otro ejemplo más de esa vitalidad y del compromiso de los profesores universitarios zaragozanos con su entorno socioeconómico fue la fundación el 28 de mayo de 1916 de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza, siendo el matemático Zoel García de Galdeano y Yanguas su primer presidente. Era objeto de esta Academia:

- 1º. El cultivo, adelantamiento y propagación de las Ciencias y sus aplicaciones y
- 2º. Evacuar las consultas que el Gobierno, las Autoridades provinciales y locales y los particulares le dirijan acerca de cualquier asunto de carácter científico y de su competencia [GARCÍA DE GALDEANO Y YANGUAS, 1916].

Ese mismo año se publicaba el primer tomo de la *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, apareciendo periódicamente los 20 primeros números hasta el año 1936<sup>6</sup>. En este primer periodo se publicaron 4 números extraordinarios en 1921, 1922, 1926 y 1931 sobre diversos temas de carácter regional (Porvenir industrial de Aragón, Curso de conferencias sobre la ciudad de Zaragoza, Curso de conferencias sobre el subsuelo de Aragón y sus riquezas, y Curso de conferencias sobre un Congreso Internacional de los Pirineos auspiciado por la Academia). La mayor parte de los resultados obtenidos por el profesor Rocasolano y sus estudiantes de doctorado sobre coloides serían publicados en esta revista. En 1946 se reanudó su publicación, adaptando el título a la reestructuración de las secciones, publicación que continua hasta el momento a razón de un número por año [ELIPE, 2016].

Entre los académicos correspondientes extranjeros de la Academia se encontraba en la Sección de Exactas desde 1923 Albert Einstein, Premio Nobel de Física en 1921 *por sus servicios a la Física Teórica, y especialmente por su descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico*<sup>7</sup>; mientras que, en la Sección de Físico-Químicas se encontraban los siguientes: desde 1919 Charles Henry y Jean Baptiste Perrin, este último, Premio Nobel de Física en 1926 *por su trabajo sobre la estructura discontinua de la materia, y especialmente por su descubrimiento del equilibrio de sedimentación*<sup>8</sup>; desde 1921 Paul Sabatier, Premio Nobel de Química en 1912 *por su método de hidrogenación de compuestos orgánicos en la presencia de metales finamente dispersados y gracias al cual la Química Orgánica ha avanzado mucho en los últimos años*<sup>9</sup>; desde 1922 Richard Zsigmondy, Premio Nobel de Química en 1925 *por su demostración de la naturaleza heterogénea de las dispersiones coloidales y por los métodos que utilizó, ya que desde entonces se han vuelto*

---

6. La *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza* se encuentran disponibles en libre acceso. Los protectores de la Academia fueron desde 1919 hasta 1936: El Casino de Zaragoza, el Casino Mercantil, el Canal Imperial de Aragón, la División Hidrográfica de Zaragoza y el Consejo de Agricultura y Ganadería de Zaragoza.

7. The Nobel Prize in Physics 1921 [en red] *Albert Einstein-Facts*. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/einstein/facts/> [Consulta: 15/08/2022].

8. The Nobel Prize in Physics 1926 [en red] *Jean Baptiste Perrin-Facts*. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1926/perrin/facts/> [Consulta: 15/08/2022].

9. The Nobel Prize in Chemistry 1912 [en red] *Paul Sabatier-Facts*. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1912/sabatier/facts/> [Consulta: 17/08/2022].

*fundamentales en la química coloidal moderna*<sup>10</sup>, y, desde 1925, Heinrich Jakob Bechhold, catedrático de Química coloidal aplicada a la Medicina de la Universidad Técnica de Darmstadt. Como queda demostrado, el grado de internacionalización de la Academia de Ciencias era muy elevado y permitió que la Escuela de Química de Zaragoza contara con muy buenos contactos y colaborara con algunos de los mejores investigadores europeos.

Durante esos años la Universidad de Zaragoza se estaba preparando para ser la líder en la enseñanza e investigación en la Ciencia de Coloides e Interfases en España. Probablemente el proyecto de Rocasolano era más ambicioso pues estaba construyendo un polo científico-técnico periférico al margen de la Universidad Central de Madrid, alejado de la influencia de la Institución Libre de Enseñanza (ILE)<sup>11</sup> [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1940]. La intención de Rocasolano de convertir a su Laboratorio en destino de dos pensionados profesores de enseñanza secundaria y la negativa de la JAE a tal iniciativa, por ser contrario a sus fines, puso de manifiesto lo difícil que resultaba el desarrollo de la ciencia en la periferia y daría lugar a todo tipo de malentendidos y coartadas para perseguir a los miembros de la ILE después de 1939 [FERNÁNDEZ TERÁN, 2014].

A iniciativa de la Universidad de Zaragoza en 1914 se inició el proyecto de construcción de una Residencia Universitaria que fue inaugurada por el rey Alfonso XIII el 26 de febrero de 1926 [PEIRÓ ARROYO, 2010]. Esta Residencia, a diferencia de la de Madrid, no contaría con el apoyo económico directo de la JAE, aunque su primer director Miguel Allué Salvador fue pensionado por la JAE para ampliar estudios sobre *instituciones escolares* en el Reino Unido [MARTÍNEZ DEL CAMPO, 2010]. Esta descentralización científico-técnica estuvo siempre en contra de la estrategia de la JAE de centralizar los escasos recursos disponibles en Madrid. Una situación semejante se vivió en la República Francesa y la dicotomía París (centro)-provincias (periferia): Nancy, Grenoble, Toulouse, Lyon y Bordeaux, estuvo siempre presente en la construcción del sistema francés de ciencia e investigación-desarrollo-innovación [NYE, 1986]. En el caso español, además del debate organizativo y financiero del sistema de ciencia, se estaba gestando un enfrentamiento entre científicos de afiliación política conservadora y liberal que tendría funestas consecuencias para la Ciencia en España años después [OTERO CARVAJAL Y LÓPEZ SÁNCHEZ, 2012, p. 137-152].

### 3. ANTONIO DE GREGORIO ROCASOLANO Y SU EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

La biografía de Antonio de Gregorio Rocasolano es bien conocida gracias a los trabajos publicados hace ya décadas [TOMELO LACRUÉ, 1941 y 1962]. Rocasolano nació en Zaragoza el 11 de abril de 1873 y murió en la misma ciudad el 25 de abril de 1941. Allí cursó el bachi-

10. The Nobel Prize in Chemistry 1925 [en red] *Richard Zsigmondy-Facts*. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1925/zsigmondy/facts/> [Consulta: 17/08/2022].

11. La Institución Libre de Enseñanza se organizó como una corporación privada mediante una sociedad anónima en 1876. Los fundadores, catedráticos de universidad en su mayoría, defendían la libertad de cátedra y se negaron a ajustar sus enseñanzas a cualquier dogma oficial en materia religiosa, política o moral. Tras el triunfo de los golpistas en 1939 fue prohibida y declarada ilegal.



llerato y los estudios universitarios de Ciencias Físico-Químicas, licenciándose en 1892. Durante esa época trabajó también en el Seminario diocesano de Sigüenza como profesor de Geometría, de Historia Natural y de Química. En 1897 se doctoró en Química en Madrid, y recién doctorado fue nombrado profesor auxiliar de la Facultad de Química de Zaragoza<sup>12</sup>.

Siguió las tendencias marcadas por Bruno Solano Torres en la Universidad de Zaragoza, donde la química agrícola era centro de atención, y dedicó sus primeros trabajos a la química del pan y al aprovechamiento del trigo. Más tarde, tras su formación parisina, incluyó entre sus intereses a la fermentación alcohólica y la producción de vinos, temas que abandonó posteriormente.

La jubilación de José Ramón Luanco, catedrático de Química General de la Universidad de Barcelona, dejó vacante la cátedra que, tras la correspondiente oposición, ganó Rocasolano. Nombrado en junio de 1902, quiso regresar a Zaragoza, lo que consiguió por permuta con Simón Vila Vendrell, titular de la del mismo nombre en la Universidad de Zaragoza, de modo que desde los primeros días de 1903 quedó instalado en su ciudad natal, en la cátedra que había sido de Bruno Solano Torres, a quien consideraba su maestro. En el verano de 1913 obtuvo una pensión de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE) para realizar una estancia en París y mejorar sus estudios sobre la alimentación del nitrógeno de las plantas por vía bacteriana<sup>13</sup>. Tal y como han destacado diferentes autores, la JAE constituyó, desde su creación en 1907, la vía más rápida y fructífera que España tuvo de converger con Europa tras siglos de aislamiento y decadencia [GONZÁLEZ REDONDO Y FERNÁNDEZ TERÁN, 2002].

Rocasolano tuvo influencia directa en el desarrollo de la investigación química y bioquímica en Zaragoza, en cuya Universidad fue vicerrector desde 1921 y rector desde 1929 hasta 1931. Miembro de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza, y presidente de la sección de Físico-Químicas; y vicepresidente desde 1918 y presidente desde 1922 hasta 1932 de la Academia [ELIPE, 2016]. Era miembro de varias sociedades científicas, entre ellas de la *Kolloid Gesellschaft*. Fue nombrado *doctor honoris causa* por la Universidad de Toulouse en 1929.

En la trayectoria científica del profesor Rocasolano el año 1918 fue decisivo pues creó el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas a partir de sus estudios sobre la materia en estado coloidal. Los temas que más le interesaron fueron:

- a) El movimiento browniano
- b) La estabilidad de los coloides
- c) El poder catalítico de los coloides
- d) Las propiedades farmacológicas de algunos coloides (plata)

---

12. SANTESMASES, María Jesús [en red], “Antonio de Gregorio Rocasolano” (Real Academia de la Historia), <https://dbe.rah.es/biografias/16367/antonio-de-gregorio-rocasolano> [Consulta: 17/07/2022].

13. “Antonio de Gregorio Rocasolano pensionado en el extranjero (1913)”. Archivo JAE. (Madrid), Expediente JAE/74-863. <http://archivojae2.edaddeplata.org/ficha/personas/5333/> [Consulta: 17/08/2022].

a) *El movimiento browniano*

En 1917 Rocasolano ya había realizado estudios experimentales muy cuidadosos del movimiento browniano de materias albuminoideas en agua destilada [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1917b]. Las trayectorias de la albúmina y globulina de huevo se obtuvieron con un ultramicroscopio y una placa fotográfica muy sensible, empleando largos tiempos de exposición. Los experimentos fueron repetidos con plata coloidal y la velocidad media del movimiento browniano así obtenida coincidía con la obtenida teóricamente por Marian von Smoluchowski [VON SMOLUCHOWSKI, 1906 y 1916]. Sus experimentos proporcionaron velocidades de difusión que siempre intentó explicar en base a la teoría de Einstein del movimiento browniano. Según la ecuación que hoy se conoce como de Einstein-Smoluchowski, el coeficiente de difusión traslacional,  $D$ , para esferas viene dado por la siguiente ecuación:

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta a}$$

Siendo  $k_B$  la constante de Boltzmann,  $T$  la temperatura absoluta,  $a$  el radio de la esfera y  $\eta$  la viscosidad del fluido. Según los datos de Rocasolano las *micelas* de ovoglobulina eran más grandes que las de ovoalbúmina al tener una velocidad browniana de 0,52  $\mu\text{m/s}$  frente a 0,56  $\mu\text{m/s}$ . La realidad es que las masas moleculares de ambas proteínas hoy se saben que están muy próximas; 45 kDa para la ovoalbúmina y entre 36 y 45 kDa para la ovoglobulina. Intentó incluso medir el efecto de la temperatura sobre el movimiento browniano traslacional, repitiendo los experimentos con ovoalbúmina a 40 °C en vez de a 12 °C. La velocidad media fue ahora de 0.66  $\mu\text{m/s}$  frente al valor anterior de 0,56  $\mu\text{m/s}$ , lo que estaba de acuerdo cualitativamente con la ecuación anterior, el coeficiente de difusión traslacional era proporcional a la temperatura y la velocidad también. Para seguir las trayectorias de las partículas llegó incluso a utilizar un cinematógrafo. El objetivo último era obtener el radio de la ovoalbúmina y ovoglobulina, obteniendo, respectivamente, 3.793 y 5.2 nm. Aunque Rocasolano creyó que los valores obtenidos no eran los reales, hoy se considera que el radio hidrodinámico equivalente de estas proteínas está alrededor de 3 nm.

Para ver la difusión rotacional llegó incluso a sustituir el ocular del ultramicroscopio por un microscopio completo y así creyó ver que la *micela* no giraba de un modo continuo, sino en periodos que se repetían a intervalos irregulares. Sus estudios sobre el movimiento browniano en la materia viva, organismos unicelulares, resultaron los más valiosos y fueron realizados con la levadura del vino, una variedad de *Saccharomyces ellipsoideus*. En la literatura de la época había resultados contradictorios sobre la existencia o no de movimientos brownianos en el protoplasma de las células [MAYER Y SCHAEFFER, 1908 y GAÏDUKOV, 1906]. De no existir, eso implicaba que el protoplasma era un gel y de existir implicaría que la célula moría cuando esos movimientos cesaban. Rocasolano introdujo diferentes mejoras ópticas en su dispositivo y pudo observar que el movimiento de los componentes del protoplasma era más lento que el observado con las proteínas del huevo, como consecuencia del confinamiento que imponía la membrana celular y era aún más lento conforme se utilizaban células más

viejas. La conclusión parecía clara, la vida celular necesitaba del movimiento browniano y una estrecha relación existía entre las dispersiones coloidales y la materia viva [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1917b]. Hasta la década de 1920 se consideró que los coloides explicaban la naturaleza de la vida celular. En esa década se desató la polémica sobre la fiabilidad de una teoría que supuestamente estaba sujeta a leyes físicas especiales, y su aceptación decayó. Sin embargo, su relación con la química de proteínas tuvo consecuencias directas en el desarrollo de las investigaciones sobre éstas, pues condujeron en la Universidad de Uppsala (Suecia) al diseño de la ultracentrífuga por Theodor Svedberg en la segunda década del siglo, cuando estudiaba las propiedades fisicoquímicas de los coloides que éstas formaban, y a la invención del aparato de electroforesis por su discípulo, Arne Tiselius, a finales de la década de 1930. Antonio de Gregorio Rocasolano participó activamente en la difusión de la teoría del coloide en la Universidad de Zaragoza y estuvo en contacto con sus principales defensores en el extranjero y escribió trabajos sobre ello en solitario y en colaboración. También publicó un libro sobre *Éléments de Chimie Physique Colloïdale* en París en 1920, que se cita en una Historia de la Bioquímica [FLORKIN, 1972]. Formó parte de la comitiva que acudió a recibir a Albert Einstein en su visita a Zaragoza en marzo de 1923 y durante una mañana le acompañó a visitar su laboratorio. Su interés por el famoso científico alemán se debía, como ya se ha mencionado, a que había basado sus investigaciones sobre coloides en la teoría de Einstein sobre el movimiento browniano [GLICK, 2005].

El profesor Rocasolano estuvo siempre informado de esos avances e intentó aplicarlos en su laboratorio de investigación. Él pensó, al principio de sus investigaciones, como muchos otros científicos de la época, que las proteínas eran micelas coloidales<sup>14</sup>.

En 1921 Rocasolano impartió un ciclo de conferencias en el paraninfo de la Universidad de Valencia sobre los coloides en la Biología. Su llegada a la ciudad fue noticia de primera página en el *Diario de Valencia*, periódico conservador y católico.

Como se observa, la Química de proteínas ayudó al desarrollo de la ciencia coloidal mediante el diseño de la ultracentrífugadora y un aparato de electroforesis en la Universidad de Uppsala (Suecia). Lo que no está tan claro es si la Química coloidal ayudó al desarrollo, sobre todo en España, de la Bioquímica [CATALÀ-GORGUES Y PERETÓ, 2021].

La relación entre coloides y proteínas sigue siendo objeto de estudio. Hace tres años Anna Stradner y Peter Schurtenberger publicaron, en la revista *Soft Matter* de la *Royal Society of Chemistry*, un muy interesante artículo sobre exactamente este tema [STRADNER Y SCHURTENBERGER, 2020].

#### b) *La estabilidad de los coloides*

La calidad de sus resultados de investigación en Química coloidal le llevaría a participar en diferentes congresos celebrados en Toulouse, Montpellier y Göttingen. En concreto sus

---

14. El profesor Rocasolano denominó micela a las proteínas que formaban la fase dispersa de sus sistemas coloidales, pues entonces se creía que las proteínas eran coloides y no macromoléculas como después Arne Tiselius demostró.

resultados sobre el poder catalítico de algunos coloides metálicos fueron presentados a la *Académie des Sciences de Paris* y publicados en los *Comptes Rendus* en 1920 y 1921 [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1920c y 1921a y b]. Utilizó sistemas sencillos como el agua oxigenada y coloides de platino y paladio [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1920a]. Analizó la influencia del calor, estabilizadores, campo eléctrico, viscosidad y porcentaje de agua sobre la capacidad de los coloides para acelerar reacciones. Algunos de esos resultados, en concreto, las variaciones con la temperatura del poder catalítico de los coloides de platino y paladio, los publicó en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química* en 1920. Su principal conclusión fue que, a diferencia de los catalizadores orgánicos, los inorgánicos no pierden su actividad cuando se llega a temperatura próxima a la de ebullición del agua [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1920b].

En el primer número de la *Revista de la Academia de Ciencias*, Rocasolano publicaba un artículo titulado *Sensibilidad de los coloides reversibles a las acciones iónicas* [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1916].

Las colaboraciones que el profesor Rocasolano estableció con grupos del antiguo imperio austrohúngaro y alemán le permitieron, por un lado, sintetizar distintos tipos de coloides, en general metálicos y, por otro, disponer de un ultramicroscopio con el que seguir procesos de agregación que eran imposibles de ver a simple vista pues no mostraban agregaciones aparentes. El uso del ultramicroscopio le permitió trabajar en condiciones experimentales de baja concentración de coloide y de electrolito, y comprobar que las partículas coloidales dejaban de moverse de forma browniana mucho antes de que los cúmulos se pudieran ver a simple vista [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1925]. Algunos de los efectos observados en los procesos de agregación de coloides metálicos, como los cambios de color de las dispersiones de plata y oro, los interpretó como debidos al cambio en el tamaño de las partículas, pero, al no disponer de ninguna técnica que le permitiera medir el tamaño de partícula, sus explicaciones de estos fenómenos cromáticos fueron siempre muy especulativas. En algún momento pensó en depositar los cúmulos en placas y usar técnicas interferométricas para determinar el tamaño de las partículas, pero nunca lo llevó a cabo.

También la construcción de un dispositivo de medida de la movilidad electroforética le permitió relacionar estabilidad coloidal con carga eléctrica de los coloides.

Le interesó principalmente estudiar el comportamiento de dispersiones muy diluidas formadas por coloides reversibles (albúminas de diferentes orígenes) en presencia de sales muy diluidas. Le prestó especial atención como agentes coagulantes al calentamiento y enfriamiento de las muestras, a la variación del medio de dispersión (añadiendo etanol al agua), a la presencia de coloides con cargas eléctricas opuestas (heteroagregación), y a diferentes sales (sulfato cálcico, sulfato amónico, ácido acético + cloruro sódico, cloruro de bario, cloruro de amonio, cloruro mercuríco).

También utilizó coloides irreversibles, en su mayoría metálicos, como la plata, el oro, el platino, ferrocianuro de cobre y el trisulfuro de arsénico.

Muy interesante fue el hecho de utilizar coloides protectores (gelatina, por ejemplo) para proteger a coloides irreversibles (coloides metálicos obtenidos por el método de Bredig<sup>15</sup>) que sintetizados por Rocasolano en noviembre de 1913, permanecían coloidalmente estables todavía en 1916.

Volviendo al artículo de Rocasolano publicado en la *Revista de la Academia de Ciencias* en 1916, de título *Sensibilidad de los coloides reversibles a las acciones iónicas*. El autor quiso dejar claro que todas las precipitaciones que se producen con separación de la fase dispersa del medio de dispersión en los sistemas coloidales son coagulaciones, es decir, la transformación de un *sol* en *gel*.

Hay algunos elementos que merecen ser destacados: 1º) Él disponía ya de un ultramicroscopio, lo cual le permitió trabajar con dispersiones coloidales muy diluidas y concentraciones muy bajas de sal. 2º) La coagulación le interesaba por su importancia desde el punto de vista biológico, pues cuando el plasma celular coagula, muere la célula. 3º) Se trataba de rebatir que los coloides reversibles eran muy poco sensibles a las *acciones iónicas*. Se utilizaba el criterio de Hardy para distinguir a los sistemas coloidales reversibles e irreversibles según que el coágulo fuera soluble o no en el medio de dispersión. Usó albúmina de origen vegetal como coloide reversible y coloides metálicos (plata) como coloide irreversible. A continuación, se muestran dos conjuntos de imágenes. En la imagen nº 1 se incluye al conjunto de fotografías numeradas de la 1 a la 6 y en la imagen nº 2 a las numeradas desde la 7 a la 12.

1º. Calentamiento. La fotografía nº 1 se refiere a una suspensión diluida de albúmina vegetal que fue desecada en una estufa hasta 110 °C, después de haberla calentado durante algún tiempo a 65 °C. Según Rocasolano, esta coagulación se debía a la disociación de un compuesto de adsorción (se refiere al compuesto formado mediante adsorción por las micelas y su medio). La nº 2 muestra la coagulación incompleta de una suspensión de albúmina muy diluida calentada muy lentamente hasta 100 °C sin llegar a la desecación. Se observan partículas alineadas que Rocasolano interpretaba como un paso previo para la formación de redes.

2º. Cambio en el medio de dispersión (nº 3). En esta foto se muestra el efecto causado por la adición de etanol a una suspensión acuosa de gelatina.

3º. La adición de disoluciones iónica (nº 4, 5 y 6). En este caso se mezclaban dispersiones coloidales y disoluciones electrolíticas. Las nº 4 y 5 muestran la coagulación de ovoalbúmina poco concentrada por la adición de sulfato amónico y la misma proteína coagulada por ácido acético y cloruro de sal, respectivamente. En este caso, la coagulación se explicaba por la formación de un compuesto de adsorción. El diferente papel jugado por cationes y aniones y el intercambio iónico es discutido por Rocasolano en relación con la carga eléctrica de la micela. En todo momento se intenta conectar los resultados obtenidos con casos de interés en Biolo-

---

15. Un método de condensación para preparar coloides de metales es el llamado *Arco de Bredig*. Consiste en hacer saltar un arco entre dos varillas del metal, sumergidas en el medio de dispersión; por ejemplo, agua. Los metales primero se vaporizan en el arco, después se condensan en el agua fría y forman partículas de tamaño coloidal. Para que el coloide no se coagule, se añade una sustancia estabilizadora.

gía y Medicina, como la coagulación de la sangre y la interacción de las toxinas con las células. En realidad, él intentaba averiguar por qué la actividad bioquímica de las dispersiones coloidales depende de la cantidad de iones presentes en el medio. En esos años se pensaba que los coloides podían explicar la naturaleza de la vida y la muerte celular [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1917b]. E incluso algunos, como Rocasolano, como se ha mencionado anteriormente, llegaron a creer que las proteínas eran micelas coloidales. Por ejemplo, la inyección de disoluciones coloidales metálicas libres de iones eran precipitadas instantáneamente por el plasma sanguíneo, sin embargo, las isotónicas con cloruro sódico no se coagulaban y podían realizar las acciones catalíticas correspondientes.

Con sus experimentos, parece que el profesor Rocasolano iba buscando lo que hoy se denomina concentración crítica de coagulación. Con gran intuición, él interpretó que la presencia de los iones afectaba al movimiento de las partículas, dejando de moverse libremente según un movimiento browniano y tendiendo a la adhesión mutua, formando cúmulos.

En la n.º 6 se muestra un experimento realizado con disoluciones diluidas de ovoalbúmina y de sulfato amónico sin que se produzca coagulación aparente. Sin embargo, el ultramicroscopio permitía ver los cúmulos formados y adheridos a la pared de la célula.

Se repitieron los experimentos a baja concentración de coloides y sales, con el fin de confirmar que las partículas dejaban de moverse de forma browniana mucho antes de que, a simple vista, se observara ningún enturbiamiento de la dispersión coloidal (ver, n.º 7, con albúmina vegetal; n.º 8, depositados sobre una placa; n.º 9, con ovoalbúmina coagulada con cloruro mercúrico (agregados con estructura cristalina); n.º 10, ovoalbúmina coagulada con ácido acético con muy diferente morfología de los agregados en comparación con los mostrados en la n.º 5; n.º 11, coagulación por dilución en agua fría de una globulina (edestina); n.º 12 igual que en el experimento anterior, pero enfriando más lentamente se observan formas cristalinas.

En conclusión, los experimentos realizados por el profesor Rocasolano en 1916 demostraban que existían diversos modos de interacción de los iones con los coloides reversibles. Incluso en los casos en que no se producía coagulación aparente, los iones y los coloides interactuaban entre sí, y los cambios producidos en el sistema coloidal eran solo visibles con el ultramicroscopio. La unión de las partículas se iniciaba antes de que la coagulación del sistema coloidal tuviera lugar, y fuera visible a simple vista, lo cual ocurría solo cuando la concentración iónica era suficientemente alta.

Un año después, el profesor Rocasolano, volvió a estudiar el efecto del calentamiento y enfriamiento en la coagulación de hidrosoles [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1917a]. Trabajó con un gran número de hidrosoles reversibles e irreversibles. Entre los primeros utilizó ovoalbúmina y entre los segundos: sulfuro de arsénico, plata, oro y platino.

Con este trabajo trataba de demostrar que el calentamiento no era el agente de coagulación más importante ni el que provocaba coagulaciones completas, sobre todo, teniendo en cuenta que, en el agua, además de coloides, había iones. Se indicaba algo, que con frecuencia se olvida en la actualidad: los coloides, sobre todo, los que son reversibles y tienen un elevado

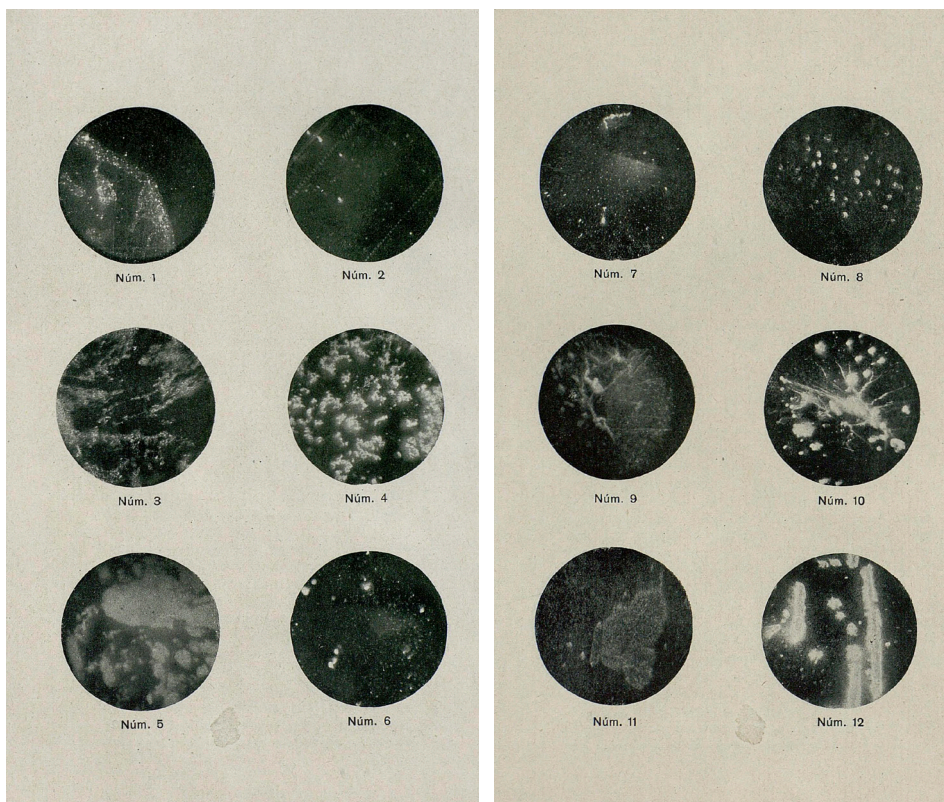


Imagen 1 y 2. Fotografías números 1 a 12 [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1916].

grado de hidrofilia, adsorben agua y, por esa razón, son tan estables. Resulta muy interesante la descripción que hace de un sistema coloidal cuando afirmaba que

las micelas que constituyen la fase dispersa de los hidrosoles pueden considerarse como el resultado de una combinación por adsorción de las moléculas de la fase dispersa con las del agua, medio de dispersión, en cantidad de este componente variable con la naturaleza del coloide, pero constante para un cuerpo determinado a temperatura dada en función de las presiones de vapor del agua, medio de dispersión y del agua adsorbida.

El calentamiento variaba el equilibrio establecido entre la fase dispersa y el medio de dispersión. Al aumentar la temperatura, la presión de vapor del medio de dispersión aumentaba y el compuesto de adsorción formado por las micelas y su medio se descomponía. Lo mismo le sucedía al complejo iónico-micelar que, según Rocasolano, constituía el complejo iónico-micelar.

Cualquier variación en la hidrofilia micelar conllevaba una variación en el diámetro de la micela, es decir, en su superficie, correspondiendo a estos cambios una variación de energía que él interpretaba según la noción de energía superficial, que él atribuía a Ostwald, como

producto del área por la tensión superficial, siendo esta última sensiblemente proporcional a la temperatura.

Su interés por los procesos de calentamiento o enfriamiento de las suspensiones coloidales venía dado porque hasta entonces se consideraba al *calor* como el principal agente de coagulación. Utilizando el concepto de hidrofilia y energía superficial, Rocasolano pudo explicar cualitativamente las coagulaciones que se producían en diversos hidrosoles diluidos cuando se variaba su temperatura. La conclusión fue que los procesos de calentamiento o enfriamiento, en ausencia de iones, solo producían coagulaciones parciales [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1917a].

c) *El poder catalítico de los coloides*

El estudio de las variaciones con la temperatura del poder catalítico de coloides de platino y paladio tuvo impacto internacional. Zsigmondy le invitó en 1924 para impartir conferencias sobre esta temática en Göttingen [GLICK, 2005]. Se utilizó un sistema muy simple como es la descomposición del agua oxigenada catalizada por la acción de estos catalizadores coloidales metálicos. Se demostró que era falso que estos catalizadores dejaban de ejercer su función cuando se alcanzaba la temperatura de ebullición de la fase líquida [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1920b]. De acuerdo con sus resultados obtenidos a temperaturas comprendidas entre 0° y 100 °C, los coloides metálicos pierden su poder catalítico cuando, no importa por qué medio, se disocia el complejo que forma sobre su superficie. Mientras que en el caso de los orgánicos esta disociación tiene lugar antes de los 80 °C, cuando se trata de coloides metálicos los complejos resisten la acción de temperaturas muy elevadas sin descomponerse; operando como catalizadores tanto más activos cuanto más elevada era la temperatura, dentro del intervalo estudiado. La elevada relación área-volumen hace de los coloides sistemas catalíticos muy eficientes. Con su trabajo aportó pruebas de gran valor sobre el papel fundamental que juegan en el proceso de catálisis las combinaciones intermedias que forma el catalizador. Estos resultados los publicó en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, revista a la que el profesor Rocasolano solo envió este artículo en toda su larga trayectoria científica en Química coloidal. Su apuesta por la periferia tuvo aquí también su reflejo. Su prestigio internacional le llevó a ser seleccionado para publicar sus resultados sobre catalizadores de platino en el primer volumen de la serie titulada *Colloid Chemistry. Theoretical and Applied* [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1926].

d) *Las propiedades farmacológicas de algunos coloides (plata)*

El último trabajo del profesor Rocasolano se publicó en la *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza* en el año 1936 [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1936]. Se tituló *Estudio de algunas propiedades farmacológicas de coloides de plata*. En realidad, se trataba de un trabajo de revisión sobre la capacidad bactericida de la plata coloidal en sus diversas formulaciones. Se realizó un estudio sobre la estabilidad coloidal de esas aplicaciones farmacológicas y la posible toxicidad de la plata contenida en ellas. De todas las formulaciones llama la atención una denominada *Argenol* desarrollada por el discípulo del profesor Rocasolano, Jesús Camón Cano.



La principal conclusión fue que las suspensiones de *Argenol* eran muy inestables en el sentido coloidal pero inocuas una vez que esterilizaban el líquido con el que habían estado en contacto. La acción bactericida la realiza la plata coloidal al contener un peróxido de este metal que, en presencia de la materia orgánica, libera oxígeno que elimina los bacilos tíficos y disintéricos, agentes patógenos que son la causa de casi todas las infecciones de origen acuoso.

Hoy en día existe una empresa ubicada en Zaragoza, denominada *Laboratorios Argenol* que fabrica preparados antivirales y antimicrobianos basados en plata, oro y platino coloidal<sup>16</sup>. Se trata de un ejemplo inusitado en España de transformación de una investigación básica en un producto industrial y la constitución de una empresa que se ha mantenido activa durante más de 80 años.

#### 4. COLABORACIONES CON INVESTIGADORES EXTRANJEROS

En 1922 el químico austriaco de origen húngaro Richard Adolf Zsigmondy, impartió un curso sobre Química coloidal en la Universidad de Zaragoza. Ofreció tres conferencias de un contenido muy práctico sobre el ultramicroscopio y la ultrafiltración. La primera fue sobre la estructura de los coloides, la segunda sobre el ultramicroscopio de inmersión y la tercera sobre la ultrafiltración [ZSIGMONDY, 1922]. Con el nuevo ultramicroscopio, que iba a tener el grupo del profesor Rocasolano, se podían ver partículas de 4 nanómetros. Tres años después, Zsigmondy sería galardonado con el premio Nobel de Química por sus investigaciones sobre coloides.

Los contactos con grupos alemanes se ampliaron cuando en 1926 el profesor Heinrich Jakob Bechhold del Instituto Estatal de Terapia Experimental de Frankfurt visitó la Universidad de Zaragoza e impartió una conferencia titulada *Algunos problemas de investigación coloidal en Biología y Medicina* [BECHHOLD, 1926]. En realidad, según lo publicado en la *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza*, su conferencia trató sobre ultrafiltración y sobre electro-ultrafiltración como métodos eficaces y rápidos de limpieza iónica de las dispersiones coloidales.

Las enseñanzas de los profesores Zsigmondy y Bechhold fueron muy bien recibidas y rápidamente aplicadas por los jóvenes investigadores del grupo de Rocasolano. Los doctores Juan Martín Sauras y Jesús Camón Cano publicaron sus investigaciones sobre adsorción y coloides electrolíticos en la *Revista de la Academia de Ciencias* en 1928. Juan Martín Sauras leyó su tesis doctoral titulada *Investigaciones sobre adsorción* y publicó un amplio estudio sobre la adsorción y desorción del ion calcio sobre suero de vaca y de diferentes colorantes sobre oxalato cálcico, tratando, siempre, de obtener las ecuaciones de ajuste de las isotermas de adsorción y determinando si el proceso de adsorción era reversible o no. Llama la atención que el trabajo estuviera firmado en abril de 1923, pero se publicara en el número XII del año 1928 [MARTÍN SAURAS, 1928]. No consta que le fuera concedida ninguna pensión por parte de la JAE a Juan Martín Sauras, aunque realizó estancias de investigación. En 1928 en el

---

16. LABORATORIOS ARGENOL S.L. [en red]. <https://www.laboratorios-argenol.com> [Consulta: 29/08/2023].

*Institut für Kolloidforschung* en *Frankfurt*, estuvo trabajando con el profesor Heinrich Jakob Bechhold. Desde 1927 hasta 1929 fue profesor auxiliar de Química Inorgánica en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. Con posterioridad obtuvo una cátedra de Química Inorgánica en la Universidad de Santiago de Compostela hasta 1935 en que se trasladó a la de Zaragoza<sup>17</sup>. En 1937 fue encarcelado en el campo de concentración de Ateca y condenado ante un tribunal de responsabilidades políticas, en 1940, a pagar una multa de mil pesetas, quedando inhabilitado para cargo público hasta 1949 [MARTÍNEZ DEL CAMPO, 2022]. Él fue el responsable de escribir la necrológica de su admirado maestro que se publicaría en 1946 en la *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza* [MARTÍN SAURAS, 1946]<sup>18</sup>.

Una vez repuesto en su cátedra, la vida científica y académica de Martín Sauras fue especialmente fecunda. Fue, además, administrador general de la Universidad de Zaragoza desde 1949 a 1960 y decano de la Facultad de Ciencias desde 1964 a 1967. Miembro de la Academia de Ciencias de Zaragoza y consejero de la Institución Fernando el Católico. Murió en la capital aragonesa el 26 de febrero de 1969 [MARTÍN ZORRAQUINO, 1996].

Jesús Camón Cano publicó un amplísimo trabajo sobre la utilización de los métodos electrolíticos en la síntesis de electrohidrosoles de plata. Partiendo del método de Bredig (chispas sucesivas) se utilizaron todas las mejoras que tenían por objetivo evitar la coagulación de las partículas de plata así formadas. El objetivo se alcanzó solo en parte. Usando el ultramicroscopio se pudo ver cómo se formaba el coloide. La falta de reproducibilidad del método conducía, a veces, a coloides de aspecto, color y propiedades diferentes. El grado de oxidación del producto explicaba las diferencias de color de las muestras preparadas por este método. Se realizaron experimentos con diferente número de electrodos, hechos de plata y platino. El fin era separar los dos mecanismos de formación de la plata coloidal: la pulverización y la electrolisis [CAMÓN CANO, 1928].

Su director de tesis, el profesor Rocasolano, había introducido años antes algunas mejoras en el método de Bredig, haciendo que la serie de chispas fuera lo más rápida posible [DE GREGORIO ROCASOLANO, 1920a].

Este investigador realizó diferentes patentes sobre el uso industrial de los soles de plata, entre ellas destaca una sobre un procedimiento para acelerar el proceso de envejecimiento de líquidos alcohólicos y obtener *whisky* de buena calidad, sumergiendo en el líquido una varilla de roble impregnada de plata en estado coloidal.

El 2 de octubre de 1929 María Antonia Zorraquino Zorraquino leía, a la edad de 25 años, en la Universidad de Zaragoza, su tesis doctoral titulada *Investigaciones sobre estabilidad y*

---

17. Sobre Juan Martín Sauras se encuentran más datos biográficos en: [https://fpabloiglesias.es/entrada-db/12409\\_martin-sauras-juan/](https://fpabloiglesias.es/entrada-db/12409_martin-sauras-juan/) [Consulta: 10/07/2022]. De su estancia en la Universidad de Santiago de Compostela se encuentran más datos en <http://culturagalega.gal/albumdajae/detalle.php?id=130> [Consulta: 11/07/2022].

18. La mejor nota biográfica sobre el profesor Antonio de Gregorio Rocasolano es la publicada por su discípulo, Juan Martín Sauras, en la *Revista de la Academia de Ciencias de Zaragoza* en 1946, donde se hace notar que en los años veinte sus antiguos discípulos, mediante una suscripción, le regalaron al profesor Rocasolano un *gran microscopio Zeiss*.

*carga eléctrica de los coloides*. Esta tesis representa un salto cualitativo en la investigación que sobre sistemas coloides se venía realizando en el grupo del profesor Rocasolano desde 1913. Por primera vez se relaciona la estabilidad coloidal a la carga de la *micela* y se determinan ambas cuantitativamente [ZORRAQUINO ZORRAQUINO, 1929].

Un amplio resumen de su tesis fue publicado en la *Revista de la Academia de Zaragoza*. Era la primera mujer que publicaba en dicha *Revista*. María Antonia Zorraquino Zorraquino nació en Zaragoza el 29 de marzo de 1904. Desde los tres años asistió a un Colegio Superior para señoritas regentado por Rosa Casanave, una maestra que había estado en Francia y que le enseñó Geografía, Religión, Literatura, Matemáticas y Francés. Más tarde fue alumna del Colegio Santo Tomás de Aquino hasta 4º año, el 5º lo hizo como alumna libre con una profesora de la Escuela de Comercio de Zaragoza y, ya, a partir de 6º, asistió al Instituto General y Técnico de esta ciudad. Tras finalizar su licenciatura en Químicas en la Universidad de Zaragoza fue nombrada en octubre de 1925 ayudante de clases prácticas en la asignatura de Química General en la Universidad de Zaragoza [MAGALLÓN PORTOLÉS, 1998].

El principal objetivo de su tesis era, por un lado, conocer la carga efectiva de los soles de plata y oro bajo diferentes condiciones experimentales y, por otro, determinar experimentalmente las condiciones en que cesaba el movimiento browniano de las partículas, que ella, como todos los discípulos de Rocasolano, denominaba *micelas*, y comenzaba la agregación y el fin del dominio coloidal. Utilizó soles de oro preparados, uno al formol y el otro al sulfato de hidracina. A partir de la masa de la micela estimó el radio que varió entre 23 y 36 nm para las preparadas al formol y desde 38 hasta 17 nm para las del sulfato de hidracina.

Midió las velocidades electroforéticas y de sedimentación y estimó la carga electroforética de la micela sin necesidad de recurrir a la fórmula de Stokes que suponía forma esférica de las partículas (micelas). Prestó especial atención al efecto de la dilución de soles de plata y oro.

También midió las velocidades electroforéticas de coloides con diferentes tamaños y formas. En ningún caso hizo un análisis estadístico de los valores medios, por lo que la significación de las diferencias encontradas es, en algunos casos, dudosa.

El grupo del profesor Rocasolano abrió en 1931 una nueva línea de investigación al considerar el suelo como un sistema disperso [ALBAREDA, 1931a]. La tesis realizada por José María Albareda Herrera en 1930 dio lugar a varias publicaciones en *Anales de Física y Química* en 1931 [ALBAREDA, 1931b y c]. Albareda sería pensionado por la JAE para ampliar sus conocimientos de Edafología en Alemania, Suiza, Gran Bretaña y Estados Unidos entre 1928 y 1936<sup>19</sup>.

---

19. José María Albareda Herrera (Caspé, 1902) antes de licenciarse y doctorarse en Química por la Universidad de Zaragoza había hecho lo propio en Farmacia en la Universidad Central de Madrid. Fue catedrático de Agricultura del Instituto de Enseñanza Media de Huesca (1928), Instituto Velázquez de Madrid (1935), Instituto de Enseñanza Media *Ramiro de Maestu* de Madrid (1939). Tras conocer en 1935 a Josemaría Escrivá de Balaguer en Madrid se hizo miembro de la prelatura de la Santa Cruz y del Opus Dei en 1937. En 1939, tras el triunfo de los golpistas en la guerra civil, fue nombrado Secretario General del CSIC. Desde 1940 fue catedrático de Geología Aplicada de la Facultad de Farmacia en la Universidad Central de Madrid. En 1960 fue nombrado rector magnífico de la Universidad de Navarra. Un año antes se consagró como sacerdote. Falleció en 1966 víctima

Se le concedieron varias pensiones que en total contabilizaron veintinueve meses y quince días, de los que disfrutó veintiún meses y seis días. En 1933 le fue otorgada por la Academia de Ciencias la Beca de la Fundación Ramsay, trabajando de agosto de 1932 a julio de 1934 en la *Rothamsted Experimental Station* (Inglaterra) en el Departamento de Física del suelo, dirigido por el Dr. Kean, y en el de química, dirigido por el Dr. Crowther, y visitando los laboratorios de Química Agrícola y Servicio de suelos del profesor G. W. Robinson en el *University College of Bangor* (en *North Wales*) del profesor Combar, Universidad de Leeds y el *Macaulay Institut for Soil Research of Aberdeen*, dirigido por el Dr. Ogg. Durante este periodo la JAE le otorgó la consideración de pensionado<sup>20</sup>.

## 5. ROCASOLANO Y LA DEPURACIÓN DEL SISTEMA UNIVERSITARIO ESPAÑOL A PARTIR DE 1936

Antonio de Gregorio Rocasolano fue un propietario de fincas rústicas que jugó un papel destacado en el campo conservador como dirigente del Sindicato Central de Aragón. El Central era una organización agraria creada en 1909 sobre la base de la *Unión Diocesana de Asociaciones Agrarias*. A partir de 1918 el Central comenzó a funcionar como caja de ahorros. Fue un ejemplo de la doctrina social que la Iglesia Católica intentó aplicar con el fin de contrarrestar la influencia que las asociaciones no confesionales, como la Asociación de Labradores, tenían. Antonio de Gregorio fue vocal de la Junta Directiva del Central entre 1933 y 1935 [ARDID LORÉS, 1987]. Antes, en 1915 había sido vocal de la Comisión Provincial de Fomento y desde 1921 a 1926 concejal del Ayuntamiento de notables que el gobernador civil de Zaragoza nombró en 1920. Desde 1925 era delegado regio en la recién constituida Confederación Sindical Hidrográfica del Ebro (CSHE). También durante esos años participó en otras instituciones destinadas a la gestión del agua como la Junta Social del Gállego o el Canal Imperial de Aragón [SANZ LAFUENTE, 2005]. Era miembro de Acción Española, organización católica creada en la década de 1930 alrededor de la revista del mismo nombre, y que contaba entre sus miembros con intelectuales conservadores que desatarían después, como Ramiro de Maeztu y Pedro Sáinz Rodríguez. Dimitió como rector de la Universidad de Zaragoza dos meses antes de la proclamación del sistema democrático del 14 de abril de 1931.

Es imposible terminar una aproximación a la Historia de la Ciencia de Coloides e Interfaces en España, tan ligada al profesor Antonio de Gregorio Rocasolano sin citar, al menos, el papel preponderante que tuvo en la política científica española desde el golpe de Estado de julio de 1936. Como ya se mencionó con anterioridad fue el presidente de la Comisión Depuradora del Profesorado Universitario (Comisión A), haciendo que la universidad española volviera a los tiempos tenebrosos en que los docentes eran perseguidos

---

de un infarto de miocardio. Losada Villasante, Manuel [en red], “José María Albareda Herrera” (*Real Academia de la Historia*), <https://dbe.rah.es/biografias/5972/jose-maria-albareda-herrera> [Consulta: 30/08/2023].

20. “José María Albareda y Herrera pensionado en el extranjero (1928)”. Archivo JAE. (Madrid), Expediente JAE/3-110. <http://archivojae2.edaddeplata.org/ficha/personas/163/> [Consulta: 22/07/2022].

por su ideología. Se aplicó el principio de que todo el que no pensara como los golpistas debía ser depurado y, con frecuencia, expulsado de la universidad española. Se fue implacable y los métodos represivos volvieron con fuerza. La Ciencia de Coloides e Interfases en España no volvería a ser nunca lo que fue y le costó décadas alcanzar el impacto internacional que ya tenía antes de julio de 1936. El ejemplo de Antonio de Gregorio Rocasolano pone de manifiesto el decisivo papel político jugado por algunos químicos durante el siglo XX en España [NIETO-GALAN, 2019].

Volviendo al presente hay que hacer notar con verdadera satisfacción que hoy en día existe un Grupo Especializado de Coloides e Interfases<sup>21</sup>, integrado en la Real Sociedad Española de Física<sup>22</sup> y en la Real Sociedad Española de Química<sup>23</sup>, que mantiene vivo el mejor legado científico y humano de aquellos hombres y mujeres que hace un siglo intentaron y, en muchos casos, consiguieron, que en España se hiciera buena ciencia básica y se explotaran industrialmente sus resultados aplicados. Todo lo cual se vio interrumpido por el golpe de Estado de julio de 1936 y la cruel guerra que provocó.

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los dos objetivos planteados en este trabajo podemos concluir que la investigación realizada por Antonio de Gregorio Rocasolano en el campo de la Ciencia de Coloides e Interfases, dio lugar a resultados experimentales pioneros en España y homologables con los que realizaba Perrin en Francia o Zsigmondy en Alemania. Desde 1918 hasta 1936 en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas de la Universidad de Zaragoza se sentó la base de lo podría haber sido una *research school* de coloides e interfases en la periferia de la ciencia española, que, impulsada por la JAE, se realizaba preferentemente en laboratorios ubicados en Madrid.

El profesor Rocasolano dirigió entre 1923 y 1930 cuatro tesis doctorales en este campo científico y algunos de los resultados obtenidos dieron lugar a patentes industriales que todavía se encuentran en explotación por empresas de biotecnología ubicadas en Zaragoza. La publicación de la mayoría de esos resultados en la *Revista de la Academia de Ciencias* disminuyó su impacto internacional pero esa actitud era coherente con la intención de crear y dar a conocer ciencia generada en la periferia y, en este caso, en Zaragoza.

Adicionalmente, podemos afirmar que la actividad política que Antonio de Gregorio Rocasolano realizó al servicio de la dictadura militar del general Francisco Franco Bahamonde, opacó su brillante carrera científica que es desconocida por la gran mayoría de los científicos españoles.

---

21. Más información sobre el Grupo Especializado de Coloides e Interfases se encuentra en su portal [en red], <https://grupodecoloideseinterfases.weebly.com/> [Consulta: 20/07/2022].

22. Real Sociedad Española de Física. Grupo Especializado de Coloides e Interfases [en red] (<https://rsef.es/junta-de-gobierno-geci>) [Consulta: 17/08/2022].

23. Real Sociedad Española de Química. Grupo Especializado de Coloides e Interfases [en red] (<https://geci.rseq.org>) [Consulta: 17/08/2022].

## AGRADECIMIENTOS

A María Antonia Martín Zorraquino, profesora emérita de la Universidad de Zaragoza y miembro de la Real Academia Española (RAE), por todo el material enviado sobre la tesis doctoral de su madre, María Antonia Zorraquino Zorraquino, y el trabajo de investigación de su padre, Juan Martín Sauras.

A Fernando Vereda Moratilla, Carmen Morente Muñoz, Francisco Galisteo González, Francisco González Redondo y Jacqueline Forcada García por la ayuda recibida.

## FUENTES DE ARCHIVO

- Archivo de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza  
<http://www.raczar.es/webracz/inicio.do?enlaceMenu=inicio&cabeceraL=1> [Consulta: 12/09/2023].
- Archivo de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas  
<http://archivojae2.edaddeplata.org> [Consulta: 12/09/2023].
- ZAGUÁN Repositorio Institucional de Documentos. Universidad de Zaragoza. Revistas de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza.  
<https://zaguan.unizar.es/search?cc=revista-real-academia-de-ciencias-zaragoza&ln=es&jrec=1> [Consulta: 12/09/2023].

## FUENTES IMPRESAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ALBAREDA, José María (1931a) “El suelo como sistema disperso”. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, XV, 91-103.
- ALBAREDA, José María (1931b) “Sobre el efecto de suspensión de Wiegner y Palmann”. *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, 29, 643-647.
- ALBAREDA, José María (1931c) “Determinaciones de velocidades cataforéticas”. *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, 29, 688-692.
- ARDID LORÉS, Manuel (1987) “El Asociacionismo agrario ante la crisis de los años treinta: el Sindicato Central de Aragón”. *Revista de Historia Jerónimo Zurita*, 56, 27-64.
- BALDÓ LACOMBA, Manuel (2011) “Represión franquista del profesorado universitario”. *Cuadernos del Instituto Antonio de Nebrija*, 14, 31-51.
- BECHHOLD, Jacob Heinrich (1926) “Algunos problemas de investigación coloidal en Biología y Medicina”. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, X, 21-47.
- CAMÓN CANO, Jesús (1928) “Coloides electrolíticos. Estudio de los electrohidrosoles de plata”. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, XII, 54-107.
- CATALÀ-GORGUES, Jesús y PERETÓ, Juli (2021) “Perdidos en el laberinto coloidal. Cien años de un inicio frustrado de la bioquímica en la Universitat de València”. *Mètode. Revista de difusió de la investigació*, 111, 10-17.
- CEBOLLADA, José Luis (1988) “Antonio de Gregorio Rocasolano y la Escuela Química de Zaragoza”. *Llull*, 11(21), 189-216.
- CHANG, Qing (2016) “Brief History of Colloid and Interface Chemistry and Basic Concepts”. En: Qing Chang (ed.) *Colloid and Interface Chemistry for Water Quality Control*. San Diego CA (USA), Academic Press, 1-12 <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809315-3.00001-3>>.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1916) “Sensibilidad de los coloides reversibles a las acciones iónicas”. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, I, 63-72.

- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1917a) "El calor como agente de coagulación". *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, II, 92-97.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1917b) *Estudios Químico Físicos sobre la materia viva*, 2ª edición. Zaragoza, Tipografía de Gregorio Casañal, 194-217.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1920a) "Constitución química de la micela de los electrosoles de platino". *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 18, 389-392.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1920b) "Variaciones con la temperatura del poder catalítico de los coloides de platino y paladio". *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, 18, 308-317.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1920c) "Sur la décomposition catalytique de l'eau oxygénée par le platine colloïdal". *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 170, 1502-1504.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1921a) "Variations of catalytic pouvoir de electroplatinosols". *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 173, 41-43.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1921b) "Variations produites par les stabilisateurs dans le pouvoir catalytique de électroplatinosols". *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 173, 234-236.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1925) "Ultramikroskopie und Koagulation". *Kolloid-Zeitschrift*, 36, 80-82.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1926) "The constitution of the dispersed micell in platinum electrosols". En: Jerome Alexander (ed.) *Colloid Chemistry Theoretical and Applied. Volume I Theory and Methods*. New York, The Chemical Catalog Company, Inc., 678-680.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1936) "Estudio de algunas propiedades farmacológicas de coloides de plata". *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, XX, 11-43.
- DE GREGORIO ROCASOLANO, Antonio (1940) "La investigación científica, acaparada y estropeada". En: *La Institución Libre de Enseñanza, una poderosa fuerza secreta*. San Sebastián, Editorial Española S. A., 149-160.
- ELIPE, Antonio (2016) *Academia de Ciencias de Zaragoza. Un siglo de servicio a la sociedad*. Zaragoza, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza.
- EVERETT, Douglas Hugh (1972) "Manual of Symbols and Terminology for Physicochemical Quantities and Units, Appendix II: Definitions, Terminology and Symbols in Colloid and Surface Chemistry". *Pure and Applied Chemistry*, 31(4), 577-638.
- FARADAY, Michael (1857) "The Bakerian Lecture. Experimental relations of gold (and other metals) to light". *Philos. Trans. R. Soc. London*, 147, 145-181.
- FERNÁNDEZ TERÁN, Rosario Estibaliz (2014) *El profesorado del "Instituto Nacional de Física y Química" ante la Guerra Civil, el proceso de depuración y el drama del exilio* [Tesis doctoral]. Directores: Julio Ruiz Berrio & Sara Ramos Zamora, Departamento de Teoría e Historia de la Educación, Facultad de Educación. Madrid, Universidad Complutense.
- FLORKIN, Marcel (1972), *History of Biochemistry*. New York, American Elsevier Publishing Co.
- GAÏDUKOV, Nicolai (1906) „Über die ultramikroskopischen Eigenschaften der Protoplasten“, *Ber. Deutsch. Bot. Ges.*, 24, 192-194.
- GARCÍA DE GALDEANO Y YANGUAS, Zoel (1916) "Reglamento interno de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza", *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, I, 3-11.
- GLICK, Thomas F. (2005) "Einstein, en Zaragoza". En: *Einstein y los españoles. Ciencia y sociedad en la España de entreguerras*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 123-127.

- GONZÁLEZ REDONDO, FRANCISCO A., y FERNÁNDEZ TERÁN, ROSARIO ESTÍBALIZ (2002) “Nuevas perspectivas en torno a la política de pensiones de la Junta para Ampliación de Estudios: modelos de encuentro con Europa de la Universidad española”. *Revista Complutense de Educación*, 13(2), 563-593.
- GRAHAM, THOMAS (1861) “X. Liquid diffusion applied to analysis”. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 151, 183-224.
- HAUSER, ERNEST A. (1955) “The History of Colloid Science: In memory of Wolfgang Ostwald”. *J. Chem. Educ.*, 32, 2-9.
- HIDALGO ÁLVAREZ, ROQUE (2012) *El tamaño, si pequeño, importa*. Granada, Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada, 1-45.
- MAGALLÓN PORTOLÉS, CARMEN (1998) “Un caso paradigmático: María Antonia Zorraquino”. En: Carmen Magallón Portolés *Pioneras españolas en las ciencias. Las mujeres del Instituto Nacional de Física y Química*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 106-109.
- MARTÍN SAURAS, JUAN (1928) “Investigaciones sobre adsorción”. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, XII, 15-53.
- MARTÍN SAURAS, JUAN (1946) “Necrológicas. Dr. Antonio de Gregorio Rocasolano”. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, I (Serie 2ª), 104-108.
- MARTÍN ZORRAQUINO, MARÍA ANTONIA (1996) “Juan Martín Sauras, mi padre. (Evocación en el centenario de su nacimiento)”. En: *Juan Martín Sauras. Andorrano ejemplar. Conmemoración de un centenario (1896-1996)*. Andorra (Teruel), Ayuntamiento de Andorra, 15-26.
- MARTÍNEZ DEL CAMPO, LUIS G. (2010) “Científicos e intelectuales aragoneses pensionados por la JAE”. En: J. García Velasco y J. M. Sánchez Ron (eds.) *100 JAE: la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas en su centenario. Actas del II Congreso Internacional*, celebrado los días 4, 5 y 6 de febrero de 2008 Vol. 1, Tomo I. Temas generales “Ciencia en la JAE”. Madrid, Residencia de Estudiantes, 720-741.
- MARTÍNEZ DEL CAMPO, LUIS G. (2022) “Un escalafón “limpio de antipatriotas”. Depuración del profesorado de la Universidad de Zaragoza, 1936-1939”. *Memòria antifranquista del Baix Llobregat. La represión franquista en Aragón*, 17(22), 46-50.
- MAYER, ANDRÉ y SCHAEFFER, GUSTAVE (1908) “Sur la structure des gels. Application à l'étude de la constitution du protoplasma animal et des liquides de l'organisme”. *Comptes Rendus des séances de la Société de Biologie et de ses filiales*, LXIV, Paris, 681-683.
- MÖHWALD, HELMUTH (2010) “Future challenges in colloid and interfacial science”. *Colloid Polym. Sci.*, 288, 123-131.
- MORRIS, PETER J.T. (2022) “A cultural History of Chemistry in the modern age”. En: Peter J.T. Morris and Alan J. Rocke (eds.), *The cultural histories series*, Vol. 6. London, Bloomsbury Academic.
- NIETO-GALAN, AGUSTÍ (2019) *The Politics of Chemistry: Science and Power in Twentieth-Century Spain*. Cambridge, Cambridge University Press. <<https://doi.org/10.1017/9781108687614>>.
- NYE, MARY JO (1986) *Science in the Provinces: Scientific Communities and Provincial Leadership in France, 1860-1930*. London, University of California Press.
- OSTWALD, WOLFGANG (1917) *An Introduction to Theoretical and Applied Colloid Chemistry. The World of Neglected Dimensions*. London, John Wiley & Sons Inc.
- OTERO CARVAJAL, LUIS ENRIQUE y LÓPEZ SÁNCHEZ, JOSÉ MARÍA (2012) *La lucha por la modernidad. Las ciencias naturales y la Junta para Ampliación de Estudios*. Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, y Publicaciones de la Residencia de Estudiantes.
- PEIRÓ ARROYO, ANTONIO (2010) “La renovación de la Universidad de Zaragoza en la tercera década del siglo XX”. En: Ignacio Peiró Martín y Guillermo Vicente y Guerrero (eds.), *Estudios históricos*



- sobre la Universidad de Zaragoza. Zaragoza, Institución Fernando el Católico (CSIC.), Diputación de Zaragoza, 178.
- SANTAMARÍA ANTONIO, Jesús (2013) "El movimiento browniano: un paradigma de la materia blanda y de la Biología". *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat (Esp)*, 106 (1-2), 39-54.
- SANZ LAFUENTE, Gloria (2005) *En el campo conservador. Organización y movilización de propietarios agrarios en Aragón, 1880-1930*. Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza.
- SERVOS, John W. (1993) "Research schools and their histories". *Osiris*, 8, 2-15.
- STRADNER, Anna y SCHURTENBERGER, Peter (2002) "Potential and limits of a colloidal approach to protein solutions". *Soft Matter*, 16, 307-323.
- TOMEIO LACRUÉ, Mariano (1941) "Rocasoano". *Universidad*, 18(2), 295-307.
- TOMEIO LACRUÉ, Mariano (1962) *Biografía científica de la Universidad de Zaragoza*. Zaragoza, Imprenta Tipo-línea.
- TORAL, María Teresa (1973) *Fisicoquímica de superficies y sistemas dispersos*. Bilbao, Ediciones Urmo.
- VON SMOLUCHOWSKI, Marian (1906) "On the Kinetic theory of the Brownian Molecular Motion and of Suspensions". *Ann. Phys.*, 21, 756-780.
- VON SMOLUCHOWSKI, Marian (1916) „Zusammenfassende Bearbeitungen“. *Physik. Zeitschr.*, XVII, 557-571.
- ZORRAQUINO ZORRAQUINO, María Antonia (1929) "Investigaciones sobre estabilidad y carga eléctrica de los coloides". *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, XIII, 49-130.
- ZSIGMONDY, Richard (1922) "Ultramicroscopio y ultrafiltro". *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, VII, 149-181.