

DE QUÍMICA,
SOSTENIBILIDAD Y CIRCULARIDAD

José Antonio Mayoral Murillo



STVDIVM
GENERALE
CAESARAV-
GVSTANAE
CIVITATIS

PRENSAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

DE QUÍMICA,
SOSTENIBILIDAD Y CIRCULARIDAD

DE QUÍMICA,
SOSTENIBILIDAD Y CIRCULARIDAD

José Antonio Mayoral Murillo

PRENSAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

© José Antonio Mayoral Murillo
© De la presente edición, Prensas de la Universidad de Zaragoza
(Vicerrectorado de Cultura y Patrimonio)
1.ª edición, 2025

Prensas de la Universidad de Zaragoza
Edificio de Ciencias Geológicas
c/ Pedro Cerbuna, 12 • 50009 Zaragoza, España
Tel.: 976 761 330
puz@unizar.es <http://puz.unizar.es>

Impreso en España
Imprime: Gistel Industrias Gráficas
ISBN 979-13-7014-000-7
Depósito legal: Z 1371-2025

A José Ignacio

Lo hicieron porque no sabían que era imposible

ROCK AND RIOS

AGRADECIMIENTOS

Quiero mostrar mi agradecimiento por el honor de dictar la lección inaugural del curso 2025-2026 a la Rectora Rosa Bolea y a su equipo. También mi agradecimiento a las personas que integran el grupo de investigación CHESO, sobre todo a Chema y Elisabet, a quienes agradezco que actúen de padrinos, a Luis, Clara, Susana, Alejandro y a toda la juventud que nos empuja. Un recuerdo muy especial a José Ignacio, quien nos dejó demasiado pronto y cuya inteligencia y rigor científico se echan de menos todos los días, además era un tipo estupendo y es el padrino en ausencia, José Ignacio «I wish you were here». Fue José Ignacio quien inicio conmigo la aventura de investigación del grupo, compartió las dificultades de iniciar nuevas líneas de investigación y, sobre todo, supo modular mi imaginación.

En esta lista no pueden faltar quienes me han acompañado en mis periodos de gestión universitaria, todos ellos y todas ellas me han hecho comprender la riqueza de una universidad generalista y distribuida en el territorio, gracias a ello hacemos lo que hacemos y somos lo que nos han hecho nuestros más de cinco siglos de historia.

Un emocionado recuerdo a Manolo, al Rector Manuel López Pérez, de quien aprendí todo lo bueno que haya podido hacer en estos años.

Por último, a mi familia, sobre todo a Carmen y Ana, que han soportado la vida de un investigador y de un gestor universitario, vidas sin horarios que necesitan de una enorme comprensión por las personas próximas.

CAMPUS IBERUS

Esta apertura de curso es muy especial, ya que es a la vez la apertura del curso del Campus Iberus, una alianza universitaria integrada por las cuatro universidades públicas del valle medio del Ebro: Universidad de La Rioja, Universidad de Lleida, Universidad Pública de Navarra y Universidad de Zaragoza.

En octubre de 2010 se publicó la resolución del secretario general de Universidades del Ministerio de Educación por la que se otorgaba al proyecto «Campus Iberus: Campus de Excelencia Internacional del Valle del Ebro» la calificación de Campus de Excelencia Internacional «CEI-2010». En junio de 2011 se firmó por las cuatro universidades el convenio para la constitución del consorcio que se constituyó definitivamente en mayo de 2012. En diciembre de 2015 el proyecto obtuvo la calificación definitiva de Campus de Excelencia Internacional en la resolución final del Ministerio de Educación.

A pesar de la desaparición de la financiación estatal para los campus de excelencia, las cuatro universidades apostaron por mantener el consorcio con fondos propios, incluso firmar acuerdos con universidades del sur de Francia con las que el curso 2015-2016 comenzó un doctorado conjunto.

En julio de 2021 se renovó la alianza del Consorcio Campus Iberus con las comunidades autónomas de Aragón, Cataluña, La Rioja y Navarra mediante la firma de un convenio de financiación para el desarrollo de actividades en los ámbitos de investigación, internacionalización, doctorado y difusión científica.

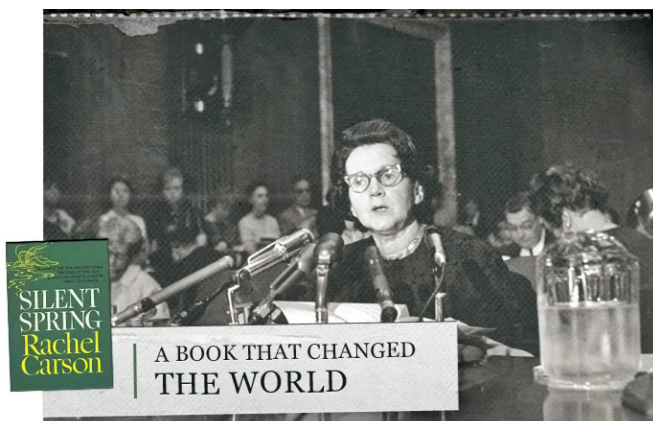
El Campus Iberus es un modelo de convicción —se hizo porque se creía en él—, de perseverancia y de generosidad. Al final las comunidades autónomas han sido capaces de entender que esta es una apuesta buena para sus territorios y se han hecho cómplices necesarios. Son tiempos donde reconforta ver a cuatro comunidades autónomas con Gobiernos de distintos signos políticos trabajando unidas por un buen fin, muchas gracias.

Durante estos años el Campus ha venido desarrollando actividades conjuntas de formación e investigación agrupadas en cinco áreas de especialización: Agroalimentación, Desarrollo Social y Territorial, Energía y Medioambiente, Salud y Tecnologías Sanitarias, Economía Circular y Bioeconomía.

Es precisamente en esta última en la que se enmarca esta lección de apertura.

QUÍMICA Y SOSTENIBILIDAD

Es generalmente admitido que el actual movimiento medioambiental arrancó en 1962 con la publicación del libro de la zoóloga estadounidense Rachel Carson *Silent Spring* [1], publicada en España en 1964 como *Primavera silenciosa* [1]. En el libro advertía sobre el efecto perjudicial de los pesticidas y achacaba a la industria química la degradación ambiental, se considera que este libro fue clave para la creación, en 1970, de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la prohibición del DDT. Aunque es posible que en algunos apartados el libro pecara de alarmismo, es el primer libro de divulgación seria sobre los problemas medioambientales. Muchos de los movimientos ecologistas nacieron tras la publicación de este libro: Greenpeace fue fundada en 1971. El único movimiento anterior, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) fundado en 1961, apoyó gran parte del trabajo de Rachel Carson. En la década de los setenta se desarrollaron un buen número de nuevas organizaciones e incluso el filósofo noruego Arne Naes inició una rama de la filosofía ecologista, la ecología profunda, que propone salir del antropocentrismo para promover una visión más holística de la relación entre el ser humano y la naturaleza.



La primavera silenciosa, Rachel Carson (Fuente: ecoworking)

Se estarán preguntando por qué se puede hablar de estos problemas desde el punto de vista de la Química. Es cierto que muchos de los mayores desastres ecológicos de la historia reciente han tenido relación con la industria química.

El de Love Canal en Niágara, relacionado con la construcción de un barrio residencial cerca de la zona donde la Hooker Chemical and Plastic Corporation había almacenado 20 000 t de residuos. A pesar de la advertencia de la empresa y de la localización por parte de los obreros de un depósito de residuos cerca del canal que suministraría agua a la urbanización, los promotores siguieron con el proyecto con los resultados esperados sobre el servicio de agua a la urbanización.

En 1956 se detectaron en Minamata (Japón) extrañas alteraciones neurológicas que afectaban a las extremidades, a la vista y el oído, y en algunos casos se producía la parálisis e incluso la muerte. En 1968 se relacionó con los vertidos de metil-mercurio, por parte de la empresa

Chisson Corporation, a la bahía de Minamata. Este mercurio se incorporaba a los animales marinos, base de la alimentación de la comunidad; a partir de ese momento los vertidos cesaron.

La empresa Hooker Chemical and Plastic Corporation vertía al río Cuyahoga, un río del medio oeste de los Estados Unidos, compuestos volátiles inflamables, parece ser que fue una chispa del ferrocarril la que produjo la ignición espontánea del río. Luego volveré sobre los compuestos orgánicos volátiles.

Quizás el caso más conocido y el de peores resultados se produjo por el escape de isocianato de metilo de la empresa Union Carbide, en Bophal (India). Se estima que a causa de este escape fallecieron en torno a 20 000 personas, unas 2500 de forma inmediata.

El problema más conocido en Aragón son los residuos de la fabricación del insecticida organoclorado lindano, usado en agricultura y en el tratamiento de los piojos y de la sarna.

Fue Faraday en 1825 quien hizo reaccionar benceno con cloro en una reacción activada por luz, una reacción fotoquímica, en su caso la luz solar. En 1912 el químico holandés Teunis van der Linden, en cuyo honor se puso el nombre de lindano, separó los isómeros. En los años cuarenta esta reacción cobró interés debido al descubrimiento de la acción como insecticida y plaguicida de alguno de los productos obtenidos.

Entre 1975 y 1989 la empresa Inquinosa fabricó lindano en Sabiñánigo usando el método tradicional, un método nada selectivo que producía mezclas de los ocho isómeros del hexaclorociclohexano y otros compuestos organoclorados, de ellos tan solo el isómero γ - hexaclorociclohexano tiene interés, de modo que en la fabricación el rendimiento era solo del 15 %, o sea, una producción

de un 85 % de residuos problemáticos, unas 100 000 toneladas, problema compartido con otras zonas de todo el mundo.

Esta reacción produce una gran cantidad de residuos por masa de producto útil, esta relación fue definida por Roger Sheldon, uno de los padres de la Green Chemistry en Europa, como factor E, y puede incluir todos los componentes que se usan en la reacción y no se recuperan. Lo ideal sería un factor E muy próximo a 0. En contra de lo que se cree normalmente la industria petroquímica es la más eficiente con factores E inferiores a 0,1, sin embargo, la farmacéutica es la menos eficiente con factores E de entre 25 y 100, evidentemente, la última trabaja con una mayor variedad de procesos y una producción mucho menor [2]. Es evidente que un proceso industrial como el que se usó para obtener lindano no sería posible en la actualidad.

Aunque la Química ha cargado con todo el peso reputacional, se trata de un problema compartido; la economía, la ingeniería y la legislación tienen algo que decir al respecto. A lo largo de esta lección esta conexión aparecerá en más ocasiones, aunque por motivos evidentes me centraré en los aspectos relacionados con la Química. Desde mi punto de vista nuestra ciencia fue parte del problema, pero también lo debe ser de la solución.

Retomemos la visión más positiva de la historia. Como he comentado anteriormente, uno de los primeros logros del movimiento medioambientalista fue la creación, por parte del presidente Richard Nixon en 1970, de la EPA, agencia de protección medioambiental que hasta 1990 se ocupó de la descontaminación, una agencia que trabajaba sobre la limitación de los vertidos y sobre su depuración, una nueva visión positiva pero que no elimina el riesgo de desastres como el de Bophal.

ÍNDICE

Agradecimientos	9
Campus Iberus	11
Química y sostenibilidad	13
Economía circular.....	31
Conclusiones	45
Referencias	47

*Este libro se terminó de imprimir
en los talleres de Gistel Industrias Gráficas
el 22 de septiembre de 2025*

COLECCIÓN PARANINFO
PRIMA LECTIO



STVDIVM
GENERALE
CAESARAV-
GVSTANAE
CIVITATIS



Universidad Zaragoza