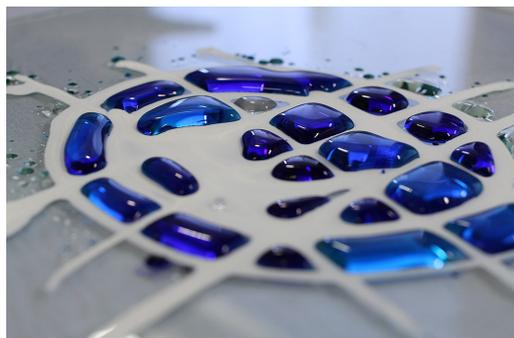


Título: **Diseño de prácticas: participación activa del alumnado.**



Marco del proyecto: El proyecto se hubiera enmarcado dentro de la asignatura “*Química Física Aplicada*”, perteneciente al primer cuatrimestre del cuarto año del Grado en Química. Desafortunadamente, el número de estudiantes matriculados no llegó al mínimo necesario para que la asignatura se impartiese, de manera que no fue posible implementar las actividades que habíamos preparado. Tras consultarlo con Vicerrectorado de Docencia e Innovación Educativa, se nos indicó que explicáramos en la Memoria las circunstancias y el desarrollo del proyecto. Por lo cual, a continuación describiremos dichas actividades.

Los contenidos de la asignatura “*Química Física Aplicada*” se dividen en las siguientes tres partes:

1. Procesos cinéticos de interés biológico e industrial.
2. Termodinámica aplicada.
3. Química física de la materia condensada.

centrándose el proyecto en la primera de ellas por ser esta la que se imparte al comienzo de curso, quedando más tiempo disponible para el desarrollo del mismo, y la que permite un desarrollo más flexible de prácticas de laboratorio.

La temática sobre la que se trabaja en el proyecto es multidisciplinar, implicando ideas y conceptos no sólo de la Química-Física sino también de Matemáticas y Física. Desde este punto de vista, su localización en el último año del Grado en Química es óptima para poder llevar a cabo la síntesis conocimientos que requiere el proyecto.

Esquema general del proyecto y cronograma: El cronograma del proyecto, a desarrollar en el primer cuatrimestre del curso, sería el siguiente



El proyecto hubiera comenzado con una serie de clases magistrales en las que se expondrían los aspectos teóricos de las reacciones químicas con mecanismos que incluyen etapas autocatalíticas, se analizarían las consecuencias de la existencia de este fenómeno: cambios súbitos en las concentraciones de los reactivos y productos, oscilaciones, frente y caos.

Una vez establecidos los fundamentos teóricos, se habría pasado el testigo a los alumnos, que deberían realizar una búsqueda bibliográfica para seleccionar una o varias reacciones que mostrasen autocatálisis, y por lo tanto alguno de los comportamientos antes mencionados, valorasen la posibilidad de simularla numéricamente e implementarla en los laboratorios del departamento y, eventualmente, llevaran a cabo el estudio experimental y/o numérico de la reacción elegida.

A continuación describiremos los pasos incluidos en el cronograma de manera individual.

Búsqueda bibliográfica: Existen múltiples estudios centrados en los fenómenos cinéticos que son objeto de estudio en este proyecto. Sin embargo, la mayoría de ellos han sido publicados en revistas científicas, son excesivamente académicos y requieren para su comprensión un nivel de matemáticas muy por encima del que poseen los alumnos del último año del Grado en Química y unos recursos experimentales de los que no dispone el departamento. Existen, sin embargo, dos revistas de Química que combinan una orientación más didáctica con un alto rigor científico (sobre todo la primera de ellas):

- Journal of Chemical Education (<https://pubs.acs.org/journal/jceda8>)
- Chemical education (<https://edu.rsc.org/eic>)

Estas son las revistas que hubiéramos propuesto a los alumnos como fuente para buscar artículos que describiesen reacciones químicas del tipo de las consideradas.

Habiendo hecho una búsqueda previa, encontramos múltiples artículos que podrían ajustarse a lo que buscábamos. Una muestra de tales artículos, que constituye una pequeña representación de lo que se puede encontrar en las revistas, es la siguiente:

1. "The Color Blind Traffic Light. An undergraduate kinetics experiment using an oscillating reaction". Journal of Chemical Education, 1972, **49 (5)**, 312-314.
2. "An Oscillating Chemical Reaction with a Luminiscent Indicator". Journal of Chemical Education, 1973, **50 (5)**, 357-358.
3. "An oscillating iodine clock". Journal of Chemical Education. 1973, **50 (7)**, 496.
4. "Belousov's Oscillating Reaction in Acidic Medium Other Than Sulfuric Acid", Journal of Chemical Education, 1977, **54 (6)**, 377.
5. "The Kinetics of Oscillating Reactions. Laboratory Experiment for Physical Chemistry". Journal of Chemical Education, 1992, **69 (7)**, 596-598.

6. "A Simple, Continuous-Flow Stirred-Tank Reactor for the Demonstration and Investigation of Oscillating Reactions", *Journal of Chemical Education*, 1992, **69 (9)**, 754-756.
7. "Gallium Beating Heart". *Journal of Chemical Education*, 1993, **70 (6)**, 491-492.
8. "Chemical Oscillations and Waves in the Physical Chemistry Lab", *Journal of Chemical Education*, 1994, **71 (1)**, 84-90.
9. "An Oscillating Reaction as a Demonstration of Principles Applied in Chemistry and Chemical Engineering", *Journal of Chemical Education*, 1994, **71 (4)**, 325-327.
10. "A Unified Physical Chemistry Laboratory Based on Oscillating Reactions and Travelling Fronts". *Journal of Chemical Education*, 1996, **73 (1)**, 35.
11. "Chemiluminescent Oscillating Demonstrations: The Chemical Buoy, the Lighting Wave, and the Ghostly Cylinder", *Journal of Chemical Education*, 2005, **82 (1)**, 53-54.
12. "The bizarre oscillating redox reaction between mercury and iron", *Education in Chemistry*, Marzo 2011.
13. "A Modified Recipe and Variations for the Briggs–Rauscher Oscillating Reaction", *Journal of Chemical Education*, 2012, **89**, 1421-1424.
14. "The Belousov–Zhabotinskii Reaction: Improving the Oregonator Model with the Arrhenius Equation", *Journal of Chemical Education*, 2013, **90 (1)**, 82-89.
15. "Periodic Reactions: The Early Works of William C. Bray and Alfred J. Lotka", *Journal of Chemical Education*, 2017, **94 (2)**, 195-201.
16. "Pedagogical Approach to the Modeling and Simulation of Oscillating Chemical Systems with Modern Software: The Brusselator Model", *Journal of Chemical Education*, 2018, **95 (5)**, 758–766.
17. "The Briggs-Rauscher oscillating reaction", *Education in Chemistry*, Marzo 2019.

Esta lista puede ampliarse llevando a cabo una búsqueda más exhaustiva con diferentes combinaciones de palabras clave y, también, a través de las referencias incluidas en los artículos reseñados. En cualquier caso, queda establecido que existen un conjunto muy numeroso de artículos sobre los que trabajar.

La búsqueda bibliográfica se hubiera llevado a cabo durante la primera parte del mes de Octubre, habiéndose podido simultanear con las clases magistrales y la selección de las reacciones químicas a estudiar que describimos a continuación.

Selección de la o las reacciones químicas a estudiar: los artículos enumerados anteriormente, así como casi todos los que pueden encontrarse en las revistas indicadas, incluyen siempre los detalles necesarios para la implementación experimental de la reacción considerada en cada caso y, algunas veces, una discusión del mecanismo que incluye todas o algunas de las reacciones elementales en que se descompone el proceso global.

Una vez que los alumnos hubieran recogido un número suficiente de referencias, se les habría planteado la necesidad de analizar los requerimientos de cada una de las reacciones para decidir cuál o cuáles podrían llevarse a cabo en el laboratorio y simularse computacionalmente.

Desde el punto de vista experimental, la selección de una reacción química como objeto de estudio depende de la consideración de los siguientes factores:

- Disponibilidad de reactivos e instrumental en los laboratorios del Departamento de Química-Física. Realmente, y dado el carácter didáctico de los artículos que se tomarían como punto de partida, ni reactivos ni instrumental constituirían un problema en la mayor parte de los casos. En aquellos casos en los que los reactivos no estuvieran disponibles, podrían adquirirse a bajo coste por los mecanismos habituales. Respecto al instrumental, las reacciones propuestas en los artículos suelen poder llevarse a cabo con el material estándar de laboratorio.
- Tiempo necesario para llevar a cabo el estudio de la reacción.
- Seguridad del proceso químico a estudiar.
- Consumo global de reactivos y cantidad de residuos generados.
- Facilidad de eliminación de los residuos y posibles daños al medio ambiente.

La consideración de estos factores es algo a lo que los estudiantes ya están habituados, puesto que se trata de requerimientos que han aparecido de manera transversal en múltiples asignaturas del Grado en Química. Se trataría, por lo tanto, de insistir en ideas y hábitos previamente adquiridos.

La simulación de la reacción y su estudio computacional requieren disponer de un mecanismo propuesto para el proceso concreto que se esté considerando, entendiendo por mecanismo la secuencia de reacciones elementales que dan lugar a la reacción. Tales mecanismos pueden encontrarse para casi todas las reacciones químicas incluidas en los artículos o, alternativamente, en la bibliografía.

El proceso de selección de una o varias reacciones debería haberse desarrollado durante el mes de Octubre, una vez impartida la docencia correspondiente a la primera parte de la asignatura, la que atañe directamente al proyecto, y en paralelo a la impartición de las siguientes.

Estudio experimental y simulación computacional de las reacciones químicas seleccionadas:

La forma concreta de llevar a cabo esta parte del proceso hubiera dependido del número de alumnos. La asignatura dentro de la que se desarrolla el proyecto suele tener un número de alumnos en el entorno de 10, pudiéndose dar el caso de que no llegue al mínimo que justifique su impartición, como ha ocurrido en el Curso 21/22. Suponiendo un número de alumnos de este orden, hubiera sido posible que trabajasen individualmente al mismo tiempo que se supervisaba en detalle las actividades realizadas, cuestión especialmente relevante en esta parte del proceso que implica trabajo en el laboratorio y con ordenadores.

Por lo que respecta a la implementación experimental de la o las reacciones elegidas, ésta se hubiera realizado en base a la información recopilada a partir de los

artículos previamente seleccionados. Cada estudiante hubiera debido planificar la práctica de laboratorio, incluyendo los siguientes aspectos:

- Material y reactivos necesarios. Disponibilidad en el departamento y/o comercial y características de la sustancia química.
- Seguridad del proceso. Precauciones especiales.
- Preparación de disoluciones.
- Realización y seguimiento de la reacción química.
- Eliminación de residuos.
- Análisis de los resultados.

La simulación computacional de las reacciones elegidas partiría del mecanismo de las mismas. El análisis de este tipo de mecanismos es algo a lo que los alumnos deberían estar acostumbrados, puesto que ha sido objeto de estudio en la asignatura “Química Física III” del grado en Química. Sin embargo, las reacciones que consideramos en este proyecto son muy complejas en comparación con las estudiadas anteriormente y el análisis de su mecanismo sólo puede llevarse a cabo numéricamente, es decir, de manera aproximada empleando programas de ordenador que resuelven las correspondientes ecuaciones diferenciales.

En la práctica, la simulación computacional de los resultados junto con la comparación de los mismos con los resultados experimentales se podría realizar de dos maneras diferentes. Lo ideal sería poder escribir un programa para integrar las ecuaciones de velocidad en un lenguaje de programación como Python o C. Esta opción, sin duda la más formativa, es, sin embargo, poco realista por falta de tiempo y motivación y capacidad de los alumnos promedio. Muy probablemente hubiéramos debido usar un programa como Mathematica, del que la Universidad de Salamanca posee licencia de campus, para llevar a cabo esta parte del trabajo.

Como se puede observar, tanto la selección de la reacción química a estudiar como su análisis experimental y computacional hubiera requerido de los estudiantes emplear una variedad de conceptos e ideas adquiridos durante el grado, sirviendo el presente ejercicio como recordatorio y consolidación de los mismos.

Como indica el cronograma presentado al inicio de la memoria, esta parte del proyecto hubiera tenido lugar en la parte final del primer cuatrimestre (Noviembre-Diciembre).

Evaluación del trabajo realizado:

Dado lo reducido de la matrícula esperada, habíamos planificado una evaluación que combinaba la consideración del trabajo diario de los alumnos con un informe final de prácticas en el que plasmasen de modo reducido lo aprendido en el contexto del proyecto. Esta calificación se uniría a las calificaciones de las otras partes de la asignatura para conformar la nota final de la misma.

Implementación en Studium

Diseño de prácticas: participación activa del alumnado (Proyecto de Innovación Docente ID2021/147)

Procesos cinéticos de interés biológico e industrial

Calendario

- 1-23 octubre: cada estudiante buscará posibles reacciones químicas a estudiar en laboratorio
- 24-28 octubre: propuesta de reacción (presentación individual en la que se discutirá los pros y contras de las reacciones que han encontrado)
- 1-11 noviembre: selección de reacciones para su estudio experimental y preparación de la práctica
- 14-30 noviembre: trabajo en el laboratorio
- diciembre: entrega del informe

 Propuesta de reacción

 Entrega del informe

 Valoración de propuestas para las prácticas

Esta herramienta permite que la evaluación se lleve a cabo entre estudiantes, favoreciendo el aprendizaje crítico y participativo.

Los criterios de evaluación se consensuarán en clase, previamente a establecer la estrategia de calificación.

Fuentes de información

 Journal of Chemical Education

 Education in Chemistry