

# Química e Ingeniería Verde & Laboratorios Online: una estrategia creativa de enseñanza

## Green Chemistry and Engineering & Online Labs: a creative teaching strategy

Vanesa Calvino Casilda\*, Elio Sancristobal\*, Eugenio Muñoz Camacho, Félix García Loro y Manuel Castro Gil

*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Control, Telemática y Química Aplicada a la Ingeniería, ETS de Ingenieros Industriales*

\* corresponding author: vcalvino@ieec.uned.es; elio@ieec.uned.es

### Abstract

In the teaching of scientific and technological disciplines, the realization of experimental works with laboratories and real plants is crucial to strengthen the theoretical concepts acquired in the classroom. However, because of the lack of availability of real laboratories in some cases, or the lack thereof in the blended and distance education, a series of gaps in their learning have been imposed. Nevertheless, the development of ICTs has been a very important advance, since they can be used as a tool to “catalyze” access to these experimental tasks. In addition, it is of great importance that both students and society in general learn to work promoting sustainable development. The teaching of Green Chemistry and Engineering must be implemented so that society learns to care for the environment and human health.

### Resumen

En la enseñanza de disciplinas científicas y tecnológicas la realización de trabajos experimentales con laboratorios y plantas reales resulta crucial para afianzar los conceptos teóricos aprendidos en el aula. Sin embargo, como consecuencia de la falta de disponibilidad de laboratorios reales en algunos casos, o la escasez de los mismos en la enseñanza semipresencial y a distancia, se han impuesto una serie de carencias en su aprendizaje. No obstante, el desarrollo de las TICs ha supuesto un avance muy importante, ya que pueden ser empleadas como herramienta para “catalizar” el acceso a dichas tareas experimentales. Además, resulta de gran importancia que tanto los estudiantes como la sociedad en general aprendan a trabajar fomentando el desarrollo sostenible. La enseñanza de la Química y la Ingeniería Verde debe ser implementada para que la sociedad aprenda a cuidar el medio ambiente y la salud humana.

### 1. Laboratorios online

La evolución de las comunicaciones, de los dispositivos electrónicos y de los lenguajes de programación ha dado lugar a nuevas herramientas de aprendizaje que, a su vez, han potenciado metodologías de aprendizaje como el aprendizaje semipresencial (b-learning) o el aprendizaje a distancia (e-learning). Estas herramientas de aprendizaje han intentado complementar las ya

existentes, como libros, laboratorios tradicionales, etc.

Uno de los aspectos claves en el aprendizaje de la química es la experimentación. Hasta hace unos años, estos experimentos solo se podían hacer en habitaciones, laboratorios, que disponían de la instrumentación adecuada para realizar dichos experimentos. Posteriormente la evolución de los PCs y de los lenguajes de aprendizaje permitió el diseño de aplicaciones que permitían al estudiante o investigador simular o crear experimentos virtuales. Otro paso más fue la evolución en las comunicaciones y el uso de medios de comunicación más rápidos que ha permitido el uso de lo que se conoce como laboratorios online. Estos laboratorios pueden dividirse en:

- Laboratorios virtuales en línea. Son programas software que permiten al estudiante o investigador realizar experimentos desde un ordenador o dispositivo móvil, como tabletas o móviles. Estos experimentos se pueden realizar en cualquier momento y cualquier lugar a través de la red. Actualmente podemos encontrar un gran número de ellos en la Web [1-3], figura 1.
- Laboratorios remotos en línea son programas software pero que son capaces de manejar instrumentación real, figura 2. Al igual que los laboratorios virtuales pueden ser manejados desde un PC o dispositivo móvil en cualquier lugar y a cualquier hora. Aunque para ello, deben tenerse en cuenta restricciones como que no es posible que varios usuarios trabajen al mismo tiempo con el programa, evitar movimientos o acciones que puedan dañar la instrumentación real, etc.

Actualmente, es posible encontrar un gran número de laboratorios remotos en electrónica, física, energías renovables o robóticas [4-5]. Sin embargo encontrar diseños e implementaciones en química es bastante complicado debido a restricciones, como:

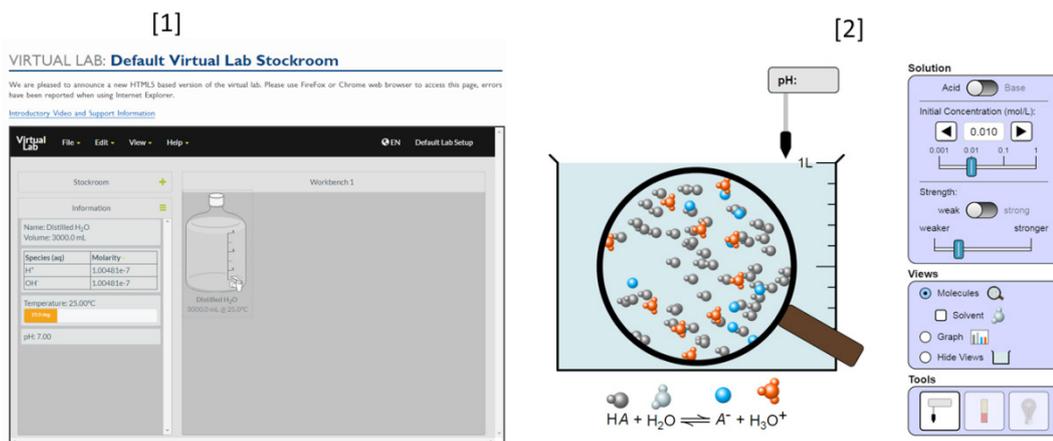
- Volver al estado inicial. Es decir cuando un alumno acaba y va acceder otro, la instrumentación y recursos deben de estar preparados. En el caso de algunos laboratorios de química esto es muy difícil de conseguir.
- Automatizar acciones remotas que son complicadas como mezclas de fluidos, etc.

- Sentidos como el olfato no pueden ser detectados, todavía de forma remota.
- Aún con estas restricciones es posible seleccionar procesos químicos que puedan automatizarse y realizarse de forma remota.

Hoy en día se están considerando y empezando a usar nuevos tipos de laboratorios. Uno de los más conocidos son los laboratorios de bolsillo. Estos

laboratorios son pequeños kits de materias primas, sensores, actuadores y controladores que facilitan al alumno realizar experimentación desde casa. Un claro ejemplo puede ser un kit que permita al alumno medir el PH de diferentes fluidos, para ello sería necesario:

1. Un micro controlador como arduino, o un micro controlador como una raspberry pi.
2. Un vaso de precipitados.



**Chemistry Solutions**



Figura 1. Ejemplos de laboratorios virtuales en línea de química.  
Figure 1. Examples of virtual labs of chemistry



Figura 2. Arquitectura de laboratorios remotos en línea de química  
Figure 2. Architecture of remote labs of chemistry

## 2. La Química Verde en el sistema educativo

En la primera década del siglo XXI se despertó el interés por la educación para el desarrollo sostenible con el fin de incorporar en los sistemas educativos contenidos relacionados con el desarrollo sostenible en los ámbitos de medio ambiente, sociedad y economía [6]. Son muy variados los temas sobre desarrollo sostenible sobre los que se pueden trabajar; cambio climático, reducción de pobreza, protección de la tierra y de la salud, pérdida de biodiversidad, etc. Para tratar todos estos temas, las organizaciones, gobiernos y comunidades deben marcar unos objetivos y plantear propuestas al respecto con el fin de conseguirlos. Al fin y al cabo, la responsabilidad de lograr un futuro que sea más sostenible recae sobre todos y cada uno de nosotros.

Una de las herramientas para trabajar en temas para desarrollo sostenible en el ámbito de la química y la ingeniería, es la denominada Química Verde (QV) e Ingeniería Verde (IV). Desde que en los años noventa Anastas y Warner definieran los 12 principios de la QV (Tabla 1) y, en los años dos mil, Anastas y Zimmerman definieran los 12 principios de la IV (Tabla 2) [7,8], las investigaciones realizadas en universidades, centros de investigación y otras instituciones han estado centradas en aplicar esta serie de principios con el fin de conseguir un desarrollo sostenible. En el caso de la QV su finalidad es reducir o eliminar la generación de sustancias peligrosas durante el diseño, manufactura y aplicación de productos químicos. Se trata de prevenir la contaminación a nivel molecular, la QV es una pieza fundamental para fomentar una economía sostenible. En el caso de la IV, se trata de diseñar, comercializar y emplear nuevos productos y procesos que sean factibles y económicos, reduciendo la generación de la contaminación desde el origen y minimizando el riesgo para la salud humana y el medio ambiente intentando que sea tanto energética como económicamente viable. La IV trata de realizar los procesos de la QV a gran escala, conectando industria y medio ambiente.

En el ámbito académico son numerosas las publicaciones que se han elaborado con la finalidad de lograr un acercamiento de la QV al sistema educativo [9-13]. Cuando un estudiante inicia su aprendizaje en el aula en el ámbito de la química, resulta de gran importancia que conozca los principios de la QV y la IV y que sea capaz de aplicarlos de forma constructiva en la vida cotidiana. El docente puede proponer distintos ejemplos relacionados con industrias, laboratorios, etc., para que el estudiante identifique cuál es el tema a tratar y cómo puede hacerlo para lograr un desarrollo sostenible. Lo primero de todo es que el docente motive al estudiante, despierte su interés por la QV y la IV, y conozca el grado de conocimiento que tiene el estudiante sobre ese tema. Una vez realizada la primera toma de contacto, el estudiante comenzará a indagar más sobre el tema de la QV y la IV: orígenes de la QV y la IV, definición conceptual, principios de la QV y la IV, ámbitos de aplicación, etc. El estudiante tendrá que reflexionar sobre cómo cuidar y preservar

su entorno y, sobre todo, hay que dejarle claro que la QV y la IV trabaja sobre el concepto de “prevención” de la contaminación y no sobre su “remoción”. Una vez que el estudiante se haya introducido en el ámbito de la QV y la IV, se le podrán plantear otros problemas y diseñar “soluciones verdes” con el fin de consolidar y poner en práctica los conocimientos adquiridos.

Principios de la Química Verde	
1º	Prevenir la producción de residuos
2º	Fomentar la economía atómica: Evitar la formación de subproductos
3º	Generar productos de nula o mínima toxicidad
4º	Mejorar la eficacia de los productos obtenidos
5º	Evitar el empleo de sustancias auxiliares (disolventes, reactivos auxiliares, etc.)
6º	Reducir el consumo energético
7º	Utilizar materias primas renovables
8º	Evitar la derivatización
9º	Potenciar la catálisis
10º	Generar productos que sean biodegradables
11º	Fomentar el uso de metodologías analíticas de monitorización en tiempo real
12º	Reducir el riesgo de accidentes químicos

Tabla 1. Los 12 principios de la Química Verde [7]

Table 1. The 12 principles of Green Chemistry [7]

Principios de la Ingeniería Verde	
1º	Emplear entradas y salidas de materiales y energía que sean esencialmente inocuas
2º	Prevenir la contaminación en lugar de tratarla posteriormente
3º	Diseñar la separación y purificación de las operaciones con el fin de reducir el consumo energético y de materiales
4º	Maximizar la eficiencia energética, en el empleo de materiales y en el espacio utilizado
5º	Promover la producción bajo demanda
6º	Recapacitar en la reutilización o reciclado de un determinado material antes de ser desechado
7º	Durabilidad en los nuevos diseños
8º	Evitar los excesos, cumplir sólo con las necesidades
9º	Minimizar la diversidad de materiales
10º	Fomentar los procesos con ciclos de materia y energía cerrados
11º	Diseñar con el fin de que sus componentes puedan ser reutilizados
12º	Promover el empleo de energía y materiales renovables

Tabla 2. Los 12 principios de la Ingeniería Verde [7]

Table 2. The 12 principles of Green Engineering [7]

### 3. Química e Ingeniería Verde & Laboratorios online: una herramienta de enseñanza-aprendizaje con futuro

En la última década se ha despertado un gran interés por la utilización y el desarrollo de laboratorios online gracias a la posibilidad de poder incentivar al alumno en el aprendizaje de las ciencias y la ingeniería, acercando a las aulas laboratorios con experiencias reales o simuladas. Se trata de una herramienta con un gran futuro sobre todo en la educación semipresencial y a distancia y, también, en aquellos casos en los que no es posible disponer de un laboratorio presencial por problemas de falta de espacio, personal, etc.

El empleo de laboratorios online que permita acercar la Química e Ingeniería Verde a las aulas es una herramienta de enseñanza-aprendizaje muy útil para que el alumno despierte su interés y conozca de primera mano temas relacionados con el desarrollo sostenible. En las últimas décadas, se han desarrollado gran variedad de laboratorios online de química e ingeniería con la finalidad de que los estudiantes puedan a través de un entorno virtual vivir activamente experiencias que simulen la realidad de un laboratorio presencial o una planta industrial, tomar decisiones y ver de primera mano las consecuencias resultantes de su trabajo experimental. Sin embargo, son escasos aún los trabajos de laboratorios online que tratan de conseguir un acercamiento de la Química e Ingeniería Verde al sistema educativo y es por ello que resulta de gran interés trabajar al respecto. Entre estos escasos trabajos se encuentra el reportado por Bolea y Grau que han desarrollado un laboratorio "Verde" remoto para elaborar experimentos en el área de "control de procesos químicos" de interés para los estudiantes del grado en Ingeniería Química en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) [14]. Su finalidad era conseguir dos objetivos, por un lado que los estudiantes ahorraran tiempo y dinero y en segundo lugar incorporar en el currículo una competencia transversal como es la "sostenibilidad". Mediante el manejo de este tipo de laboratorios remotos, los estudiantes adquieren conocimientos básicos y habilidades relacionadas con sistemas de control químico (modelado y diseño de control), experimentan situaciones reales que se pueden encontrar en su vida profesional tomando en consideración la sostenibilidad, la economía y la

eficiencia. Además, los estudiantes parecen tener un mayor entusiasmo cuando se trata de experimentar con vivencias que simulan la realidad. Otros trabajos sobre laboratorios remotos que han tratado de implementar los principios de la QV y la IV para el control de procesos industriales son también los realizados por Hassan y colaboradores [15].

Más recientemente, Kyomugisha y colaboradores han trabajado en el desarrollo e implementación de un laboratorio solar fotovoltaico remoto empleando una plataforma del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) iLabs Shared Arquitectura (ISA) [16]. Para el diseño de este laboratorio se empleó un simulador solar que proporciona una irradiación similar a la que emite el sol, para irradiar de forma constante un panel solar. La adquisición de datos sobre la corriente y los valores de voltaje del panel solar se registran a través de un laboratorio virtual (National Instruments Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite). La interfaz de usuario para el laboratorio solar fotovoltaico es un Instrumento Virtual de LabVIEW (VI), en el cual los controles interactivos para el simulador solar están expuestos. Se visualizan también por video gráficos con los datos de la variación de la irradiancia y el ángulo de incidencia con el panel solar. De esta forma, los estudiantes del departamento de la Facultad de Ingeniería, Diseño, Arte y Tecnología de la Universidad de MaKerere en Uganda han podido conocer de primera mano cómo funciona un panel solar fotovoltaico. La energía eléctrica generada a través de estos paneles no contamina y, además, es una fuente energética inagotable, por lo que favorece el desarrollo sostenible. Otro ejemplo de uso de energías renovables y laboratorios remotos para estudiantes de entre 9 y 16 años son los trabajos realizados por el departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Control, Telemática y Química Aplicada a la Ingeniería de la UNED donde los alumnos pueden ver como la energía solar y eólica es almacenada en una batería y como esta energía es utilizada para mover un peso de una grúa o dar vueltas a una noria, figura 3 [17-18].

Se puede decir que los laboratorios online son "catalizadores" con un gran futuro ya que pueden aportar mejoras en el sistema educativo en contenidos sobre el desarrollo sostenible en áreas como la química y la ingeniería.

Solar Lego Remote Lab



Windmill Lego Remote Lab

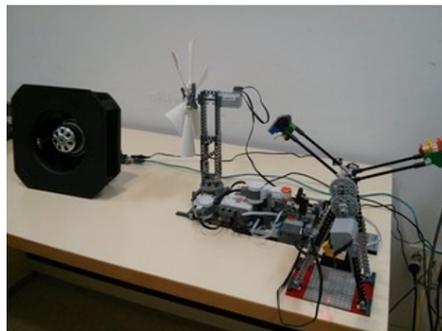


Figura 3. Laboratorios remotos de energías renovables en la ETS de Ingenieros Industriales (UNED).

Figure 3. Remote labs in renewable energy at the School of Engineering (UNED).

#### 4. Bibliografía

- [1] VIRTUAL LAB: Default Virtual Lab Stockroom, <http://www.chemcollective.org/vlab/vlab.php> última consulta 8 de Mayo 2018
- [2] Acid-Base Solutions [https://phet.colorado.edu/sims/html/acid-base-solutions/latest/acid-base-solutions\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/acid-base-solutions/latest/acid-base-solutions_en.html) última consulta 8 de Mayo 2018
- [3] Chemistry Solutions <https://teachchemistry.org/periodical/issues/september-2015/density> última consulta 8 de Mayo 2018
- [4] García-Zubia J, Orduña P, López-de-Ipiña D, Alves GR. Addressing Software Impact in the Design of Remote Laboratories. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 2009; 56 (12): 4757–4767.
- [5] Tawfik M, Sancristobal E, Martín S, Díaz G, Peire J , Castro M. Expanding the Boundaries of the Classroom. Implementation of Remote Laboratories for Industrial Electronics Disciplines. *IEEE Industrial Electronics Magazine* 2013; 7(1): 41-49.
- [6] ONU. 2012. Libro de consulta sobre la educación para el desarrollo sostenible. Sector educación de la UNESCO.
- [7] Anastas PT, Warner J. *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press. 1998.
- [8] Anastas PT, Zimmerman JB. Design through the Twelve Principles of Green Engineering. *Env Sci and Tech*. 2003; 37(5): 94A-101A.
- [9] Altava-Benito B, Burguete-Azcárate MI, Luis-Lafuente SV. Educación cooperativa en Química Verde: La experiencia española. *Educ quím*. 2013; 24: 132-138.
- [10] Doria-Serrano MC. Química Verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educ quím*. 2009; 20(4): 412-420.
- [11] Mestres R. Química Sostenible: Naturaleza, fines y ámbito. *Educ quím*. 2013; 24: 103-112.
- [12] Summertone L, Hunt A, Clark J. Green Chemistry for Postgraduates. *Educ quím*. 2013; 24: 150-155.
- [13] Doria-Serrano, M. C., Miranda Ruvalcaba R., Química Verde: un tema de presente y futuro para la educación de la química, *Educ. quím.*, 24, 94-95, 2013
- [14] Bolea Y, Grau A. "Green" Remote Laboratory for Chemical Engineering Degree: A New Paradigm for Training. 41st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, October 12 - 15, 2011, Rapid City, SD.
- [15] Hassan H, Domínguez C, Martínez JM, Albaladejo J. Remote Laboratory Architecture for the Validation of Industrial Control Applications. *IEEE Trans on Ind. Electronics*. 2007; 54(6): 3094-3102.
- [16] Kyomugisha R, Bomugisha D, Mwikirize C. A Remote Solar Photovoltaic Laboratory based on the iLabs Shared Architecture (ISA). 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 25-28 February 2015, Bangkok, Thailand.
- [17] Solar remote lab in learning scenarios <https://www.golabz.eu/lab/solar-lab> última consulta 12 Mayo 2018.
- [18] Windmill remote lab in learning scenarios <https://www.golabz.eu/ils/lego-windmill-lab> última consulta 12 Mayo 2018.