



Aprendizaje activo y cooperativo en el laboratorio de Nanotecnología para realizar estructuras con electrospinning/electrospraying

C. Pavón^a, M. Aldas^{a,b}, H. De La Rosa^a y J. López-Martínez^a

crispavonv@gmail.com; miguel.aldas@epn.edu.ec; hardela@epsa.upv.es; jlopezm@mcm.upv.es

^a Instituto de Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València, 03801, Alcoy-Alicante, España

^b Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, 170517, Quito, Ecuador

Abstract

In this work, we discuss the application of an active and collaborative teaching strategy in the development of a practice in the laboratory class of Nanomaterials, for first-year students of the Master Degree in Engineering, Processing and Characterization of Materials, as an alternative to a conventional demonstration class. The practice was developed in three sessions and the students were divided into random groups with a coordinator chosen by the teacher. Therefore, the responsibility for learning and making decisions was clearly delegated to the students; meanwhile the teacher was in charge of clarifying any doubts. In addition, a demonstrative class took place, where the notes with technical information about the use of the equipment and the parameters of control were given. The objective of the practice for the students was to establish their own hypotheses to determine if they were able to create their own knowledge and to predict the results to be achieved. An improvement was observed in the grades and in the critical abilities of the students, compared with a previous course who learned in a conventional class. These results demonstrate the effectiveness of the active and collaborative strategy.

Keywords: active learning, collaborative class, laboratory class, colophony, nanomaterials, electrospinning

Resumen

En el presente trabajo se evalúa la aplicación de una estrategia de enseñanza activa y colaborativa en el desarrollo de una práctica en el laboratorio de Nanomateriales para estudiantes del primer año del Máster Universitario en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales como alternativa a una

clase demostrativa convencional. La práctica se llevó a cabo en tres sesiones y se dividió a los estudiantes en grupos aleatorios con un coordinador elegido por el profesor. De esta manera, la responsabilidad del aprendizaje y de tomar decisiones fue delegada netamente a los alumnos, mientras que el profesor era el encargado de resolver dudas. Se realizó una clase demostrativa y se entregó un guion con información técnica sobre el uso del equipo y los parámetros de control. El objetivo de la práctica era que los alumnos establezcan sus propias hipótesis para determinar si eran capaces de crear su propio conocimiento y de predecir los resultados a obtener. Se observó una mejora tanto en las calificaciones como en las habilidades críticas de los estudiantes, comparados con un curso anterior que había aprendido en una clase convencional, lo que demostró la eficacia de la estrategia activa y colaborativa.

Palabras clave: *aprendizaje activo, clase colaborativa, laboratorio, colofonia, nanomateriales, electrospinning*

1. Introducción

En este trabajo, se propone el uso de estrategias activas y colaborativas de aprendizaje en una clase práctica de laboratorio. Es en este ambiente que, según Hass (2009), proporciona las condiciones necesarias para entender los conceptos que no se pueden ilustrar en las clases convencionales o demostrativas (Hass, 2009). Además la interacción entre los alumnos ayuda a mejorar la experiencia de aprendizaje y a desarrollar nuevas habilidades, permitiendo que puedan crear nuevos métodos para entender y aplicar la información recibida, y a la vez hacerse responsables por los resultados alcanzados (Hass, 2009; Romanas V. Krivickas, 2007).

Se debe tener en cuenta que todavía existe el reto de adaptar las clases prácticas en un laboratorio a la enseñanza, sin que estas se conviertan en clases convencionales (Hofstein y Lunetta, 2008). Por esto, se debe considerar que el desarrollo de conocimientos a partir de experiencias prácticas es un proceso complejo, por lo que si se desea obtener resultados satisfactorios es necesario proveer suficiente tiempo, tanto para la interacción como para la reflexión de las ideas en el laboratorio, lo que generalmente no se hace; y el laboratorio se convierte en una actividad técnica que no permite la oportunidad de expresar los conocimientos o descubrimientos que realiza el estudiante (Hofstein y Lunetta, 2008). En este contexto, lo que se busca en este estudio es que los estudiantes tomen el rol de científicos capaces de desarrollar hipótesis, tomar decisiones que les permitan realizar experimentos y a partir de estos recolectar datos y analizarlos, con experimentos simples, de manera que no es necesario contar con materiales costosos o configuraciones complicadas (Beichner et al., 2004).

En la materia de Nanotecnología, que se dicta a los estudiantes del primer año del Máster Universitario de Ingeniería Procesado y Caracterización de Materiales, se propuso implementar una serie de prácticas de laboratorio que permitieran que los alumnos trabajen con

nanomateriales y que mediante procesos experimentales puedan obtener estructuras a escala micro o nano, basándose en resultados de investigaciones anteriores y en los conceptos proporcionados en clase teórica. El método experimental seleccionado para la síntesis de nanoestructuras es el electrospraying y electrospinning que son procesos electrohidrodinámicos que se usan para fabricar esferas o fibras a micro o nano escala, a partir de la aplicación de un campo eléctrico de alta potencia a una solución polimérica cargada eléctricamente (Jaworek et al., 2009).

2. Trabajos Relacionados

Modell, Michael, Adamson, y Horwitz (2004), analizan el efecto de la aplicación de tres enfoques diferentes para llevar cabo una práctica en el laboratorio de fisiología respiratoria, sobre la capacidad de los estudiantes para reparar un modelo defectuoso. Los tres enfoques fueron: predictor sin verificación, predictor con verificación, y grupo de intervención del instructor, y se determinó que el grupo de intervención del instructor presentaba mejores resultados (Modell, Michael, Adamson, y Horwitz, 2004).

Por su parte, Michael (2006), muestra el efecto de nuevos enfoques de enseñanza y aprendizaje en grupos de comunidades científicas, y el estudio se centra en la fisiología (Michael, 2006). Por otro lado, Hass (2009), aplica la estrategia de aprendizaje activo y colaborativo a lo largo del semestre en el laboratorio de química orgánica y se compara los resultados de aprendizaje con aquellos obtenidos por grupos que trabajan con un enfoque tradicional de enseñanza en el mismo laboratorio. Con esta técnica Hass demostró que, a nivel académico, no existen resultados estadísticamente significativos a corto plazo. Sin embargo, se observaron resultados no cuantificables como mayor preparación de los estudiantes, aumento en el nivel de confianza entre compañeros y apertura para realizar las actividades. Hass además menciona que la implementación de la estrategia es sencilla y que no se sacrifica el aprendizaje de los estudiantes (Hass, 2009).

Finalmente, Baek et al. (2011), analizan las condiciones necesarias para preparar microfibras de resina de pino mediante el método de electrospinning, cuyos datos fueron la base de las prácticas realizadas en este trabajo (Baek et al., 2011).

3. Metodología

3.1. *Implementación de la estrategia de aprendizaje activo y colaborativo*

Se realizó un experimento de laboratorio en tres sesiones prácticas, con grupos asignados de manera aleatoria. Además, en cada grupo el profesor seleccionó para cada sesión un estudiante que cumpliera las funciones de coordinador de experimento, que serían quienes se

comunicaran de forma directa con el profesor para solucionar problemas de conceptos o experimentales que se presentaran. Las actividades realizadas en cada sesión se indican a continuación:

En la sesión 1 se dictó una clase teórica, que consistió en una explicación del método a utilizar con los parámetros de control, y la entrega de una guía didáctica con la información técnica del trabajo a realizar. Luego, una clase demostrativa para mostrar la forma en que el instructor realiza el experimento, de manera que puedan obtener patrones de las acciones antes de llevar a cabo el experimento (Michael, 2006). Además, se permitió que los coordinadores manipulen el equipo para que se familiaricen con los componentes. Finalmente, se tuvo un espacio para el análisis y discusión en grupos y preparación de materiales, para permitir el análisis y reflexión de la información proporcionada con el fin de que cada grupo diseñe el experimento variando los parámetros que considerarán necesarios.

En la sesión 2 se trató la elaboración del experimento, donde se permitió el uso del equipo de electrospaying a los diferentes grupos, con un tiempo máximo de 45 min por grupo, para realizar el experimento de acuerdo a las condiciones fijadas en la sesión anterior.

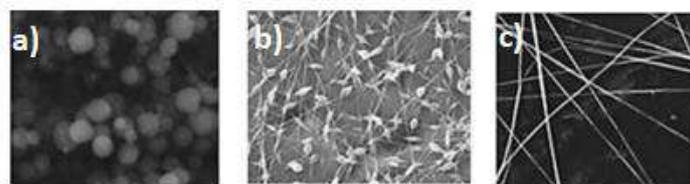
En la sesión 3 se llevó a cabo el análisis de resultados. Se entregó a cada grupo los resultados obtenidos mediante el experimento que diseñaron y se les pidió realizar un informe para analizar la influencia de los parámetros aplicados sobre la información recolectada.

Al final de las sesiones se realizaron dos evaluaciones, una evaluación cualitativa para determinar el nivel de aceptación de los estudiantes con la estrategia empleada, y otra evaluación cuantitativa, con el fin de determinar el efecto del aprendizaje activo y cooperativo con la capacidad de adquirir conocimientos. Esta última evaluación se comparó con los resultados de la enseñanza con los obtenidos en el año anterior, en el cual se realizó únicamente una clase demostrativa.

3.2. Metodología del trabajo a realizar

Se entregó a cada grupo los resultados obtenidos en una investigación previa y se les indicó las condiciones de trabajo que se emplearon, las cuales fueron: voltaje de 20 kV, flujo de 1 $\mu\text{L}/\text{min}$; y, distancia aguja-plato de 15 cm. Con estas condiciones, se obtiene una combinación de estructuras, entre ellas esferas y filamentos. Por tanto, el objetivo de la práctica era encontrar las condiciones para obtener una sola estructura completamente diferenciada.

Para esto se proporcionó información sobre los parámetros que los estudiantes podían variar en el proceso y los resultados que según la teoría se podrían obtener al variar los parámetros. Dependiendo del efecto que tenga el cambio de parámetro en el proceso se pueden obtener tres tipos de estructuras que son: esferas, filamentos o una mezcla de ellos que se conoce como perlas. En la Figura 1 se observa cada tipo de estructura indicada. Cabe destacar que en ningún caso es deseable obtener estructuras como perlas.



Modificado de: (Zhenyu y Ce, 2015)

Figura 1. Estructuras que se pueden obtener mediante las técnicas de electrospayin/electrospinning. a) esferas, b) perlas y c) filamentos

En el experimento, los alumnos podían variar el voltaje aplicado, el flujo de alimentación de la solución y la distancia entre la aguja y el recolector. En la Tabla 1 se indica los tipos de estructuras que en teoría se pueden obtener por electrospinning/electrospraying con cada variación resultante de los parámetros del proceso.

Tabla 1. Parámetros de control del proceso y posibles resultados

Parámetro	Tipo de variación	Resultado
Voltaje	Muy alto	Esferas/perlas
	Alto	Filamento
	Bajo	Perlas
Flujo	Altas	Perlas
	Bajo	Filamento
	Muy bajas	Esferas
Distancia aguja-recolector	Alta	Esferas
	Bajas	Filamentos
	Muy baja	Perlas

Modificado de: (Bhardwaj y Kundu, 2010; Zhenyu y Ce, 2015)

3.3. Metodología de la práctica de laboratorio

En el estudio se empleó una matriz de colofonia (Luresa Resinas SL, Coca-Segovia), cargada con nanopartículas de plata (Sigma Aldrich, China), tierra de diatomeas (Sigma Aldrich, Estados Unidos) y nanoarcilla de halloysita (Sigma Aldrich, Estados Unidos). Como solvente principal se empleó diclorometano (Sigma Aldrich, 99.8% de pureza) y como alternativo cloroformo (Panreac). Se prepararon soluciones de colofonia al 60% en diclorometano y al 45% en cloroformo (Woo-il, Baek; R., Nirmala; Nasser, Barakat; Mohamed, El-Newehy; Al-

Deyab, Salem; Hak, 2011). Luego, se agregaron las nanopartículas y se agitaron durante 24 h a temperatura ambiente.

Se ensambló el equipo que comúnmente consta de cuatro componentes principales, que se detallan a continuación: i) Fuente de alto voltaje (1-30 kV), ii) Aguja de acero inoxidable, iii) Bomba de jeringa, y iv) Recolector metálico con conexión a tierra, que puede ser una placa plana o un tambor giratorio (Haider, Haider, y Kang, 2018). Sobre la placa de recolección se colocó papel aluminio para facilitar la recolección de las microestructuras. Se ajustaron los parámetros del proceso, la distancia desde la aguja al recolector (15 cm), y los parámetros de la bomba: diámetro de la jeringa (9,40 mm) y el flujo de trabajo. Se llenaron dos jeringas con la solución polimérica. La primera se usó para limpiar y llenar la manguera y la segunda se colocó en la bomba para realizar el electrospraying u electrospinning. Se conectó la fuente al sistema (polo positivo-aguja, polo negativo-plato). Se limpió la punta de la aguja y se activó la bomba. Se comprobó el correcto funcionamiento del equipo, se cerró el circuito eléctrico y se ajustó la diferencia de potencial deseada. Todo el trabajo se realizó dentro de la campana de extracción.

4. Resultados

4.1. Resultados de la aplicación de la estrategia de aprendizaje activo y colaborativo

En la evaluación final realizada a los estudiantes, se comprobó que el conocimiento adquirido por los estudiantes resultó ser más sólido al aplicar la estrategia de aprendizaje activo y colaborativo, además se observó una mayor nivelación de conocimientos. Sin embargo, cabe mencionar que con la estrategia colaborativa no es posible realizar una evaluación individual del trabajo en laboratorio.

Por un lado, se observó que la interacción entre los miembros de los grupos ayudó a disminuir el número de preguntas sobre el mismo tema y permitió que los estudiantes se desenvuelvan de forma independiente en el laboratorio, lo que aumentó su confianza, de manera que se requirió menos apoyo del profesor. Por otro lado, como establece Hass (2009), los miembros de grupo y coordinadores inicialmente se evaluaron de forma positiva entre ellos, pero a medida que avanzaron las sesiones, las calificaciones entre ellos fueron disminuyendo, lo que indica que los estudiantes se sentían en mayor confianza para expresar opiniones negativas (Hass, 2009). Este detalle debería tomarse en cuenta para evitar problemas internos.

Además, los coordinadores fueron capaces de seguir las instrucciones de manera sencilla, y los miembros de grupo apoyaron sus decisiones fácilmente. Modell et al. (2004), indican a que esto se debe a que los estudiantes sentían que el coordinador se encontraba preparado y lo percibían como un “experto” en el tema (Modell et al., 2004).

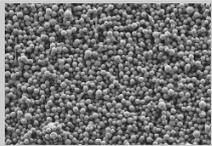
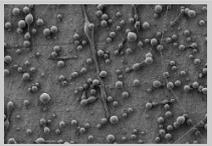
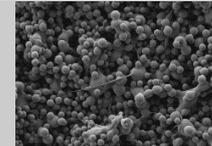
Se determinó además que los estudiantes eran capaces de realizar hipótesis sobre su experimentación en las discusiones de grupo, pero les resultaba más difícil realizar las predicciones

cuando debían escribirlas por sí solos. Esto puede darse debido a que una discusión verbal aporta condiciones necesarias y el tiempo para que analicen y piensen en una respuesta lógica (Modell et al., 2004).

4.2. Resultados de la práctica de laboratorio

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la práctica de laboratorio, se puede observar que ningún grupo varió la distancia aguja plato pues como indican Bhardwaj y Kundu (2010), el efecto que este parámetro tiene sobre la estructura obtenida no es tan significativo como los otros parámetros (Bhardwaj y Kundu, 2010).

Tabla 2. Resultados esperados y obtenidos por cada grupo con la variación de distintos parámetros

Grupo/objetivo	G1/esferas	G2/filamentos	G3/esferas
Voltaje (kV)	15	20	20
Flujo ($\mu\text{L}/\text{min}$)	1	0.5	5
Distancia (cm)	15	15	15
Resultado			

Es importante notar que, aunque no se alcanzaron completamente los resultados esperados, se puede ver que existen diferencias entre el estudio inicial y los resultados obtenidos por cada grupo. Para poder obtener resultados técnicos más satisfactorios, es necesario realizar un mayor número de experimentos, ya que además de las bases teóricas, cada experimento tiene sus particularidades. En este caso, dentro de cada proceso y cada solución polimérica, la forma y tamaño óptimo de los productos obtenidos no se puede predecir a partir de los parámetros del líquido, tan solo se puede tener una idea a partir de resultados experimentales (Jaworek, 2007). Además, los rangos de viscosidad para trabajar con cada polímero u oligómero son diferentes (Zhenyu y Ce, 2015).

5. Conclusiones

La aplicación de la estrategia de aprendizaje activo y colaborativo se aplicó de forma satisfactoria en el laboratorio de Nanotecnología para los estudiantes del primer año del Máster Universitario en Ingeniería, Procesado y Caracterización de Materiales. Se determinó que con esta estrategia se obtuvo mejores resultados que con las técnicas tradicionales de enseñanza, en términos de adquisición y construcción de conocimientos. Además, se mejoró el

desempeño en las calificaciones finales. Aunque, desde el punto de vista técnico, es necesario realizar un mayor número de pruebas para verificar la eficacia de la estrategia de aprendizaje activo y colaborativo, es importante señalar que se debe reformar la manera de enseñanza, promoviendo un aprendizaje más activo. De esta manera, cada estudiante será el encargado de adaptar los conocimientos entregados a su estilo particular de aprendizaje. Cabe mencionar que el aprendizaje colaborativo beneficia a las habilidades críticas y comunicativas de los estudiantes, favoreciendo sus relaciones interpersonales.

Referencias

- Baek, W. Il, Nirmala, R., Barakat, N. A. M., El-Newehy, M. H., Al-Deyab, S. S., y Kim, H. Y. (2011). Electrospun cross linked rosin fibers. *Applied Surface Science*, 258(4), 1385-1389. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.09.082>
- Beichner, R., Bruns, P., Chang, A., DeHaan, R., Ebert-May, D., Gentile, J., ... Wood, W. B. (2004). Scientific teaching. *Science*, 304(5670), 521-522.
- Bhardwaj, N., y Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, 28(3), 325-347. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.01.004>
- Haider, A., Haider, S., y Kang, I. (2018). A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(8), 1165-1188. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2015.11.015>
- Hass, M. (2009). Student-Directed Learning in the Organic Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 77(8), 1035. <https://doi.org/10.1021/ed077p1035>
- Hofstein, A., y Lunetta, V. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88(1), 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Hofstein, A., y Lunetta, V. (2008). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217. <https://doi.org/10.3102/00346543052002201>
- Jaworek, A. (2007). Micro- and nanoparticle production by electrospinning. *Powder Technology*, 176(1), 18-35. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2007.01.035>
- Jaworek, A., Krupa, A., Lackowski, M., Sobczyk, A. T., Czech, T., Ramakrishna, S., ... Pliszka, D. (2009). Electrospinning and electrospinning techniques for nanocomposite non-woven fabric production. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 75(4), 77-81.
- Michael, J. (2006). Where's the evidence that active learning works? *Advances in Physiology Education*, 30(4), 159-167. <https://doi.org/10.1152/advan.00053.2006>
- Modell, H. I., Michael, J. A., Adamson, T., y Horwitz, B. (2004). Enhancing active learning in the student laboratory. *Advances in Physiology Education*, 28(3), 107-111. <https://doi.org/10.1152/advan.00049.2003>
- Romanas V. Krivickas. (2007). Laboratory Instruction in Engineering Education. *Global J. of Engng. Educ.*, 11(2).
- Zhenyu, L., y Ce, W. (2015). Effects of Working Parameters on Electrospinning. En *One-Dimensional nanostructures* (Vol. 32, pp. 36-44). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36427-3>