

INESTABILIDADES EN FLUIDOS: ¿ENSEÑAR Y APRENDER A INVESTIGAR?

INSTABILITIES IN FLUIDS: TEACHING AND LEARNING TO INVESTIGATE?

Javier Servin, María Teresa Silva, Griselda Sosa, Anita Zalts y Jorge Codnia

Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento
J.M. Gutiérrez 1150, Los Polvorines (B1613GSX), Provincia de Buenos Aires, Argentina
e-mail: azalts@ungs.edu.ar, jcodnia@ungs.edu.ar

Recibido 30/03/2012; aprobado 25/06/2012

¿Cómo se genera el conocimiento científico? Este tema no puede ser ajeno a la formación de profesores de ciencias, ya que ellos transmitirán el concepto de “ciencia” a sus estudiantes de la escuela media. La participación activa de los futuros profesores en un proyecto de investigación, dentro del ámbito de una asignatura, llevando a cabo las diferentes etapas de todo trabajo de investigación, permite recorrer y comprender este proceso. El presente trabajo es resultado de la propuesta: “Patrones espaciales generados a partir de inestabilidades en fluidos de diferente viscosidad”. Los estudiantes, basados en bibliografía científica, construyeron la celda de Hele-Shaw y realizaron experimentos para obtener fotografías de patrones de inestabilidades. En base al análisis de las imágenes, se definió un estimador de complejidad de los patrones, que es sensible a la composición de los fluidos, y por ende a las diferencias de viscosidad.

Palabras Claves: ciencia como proceso, investigación, inestabilidades hidrodinámicas, análisis de imágenes

¿How do we get scientific knowledge? This question must be taken into account when science teachers are formed, because they will transmit the concept of “science” to their future students. A complete understanding of this process is achieved by an active participation in all the aspects of a research project. We present here the results of the proposal: “Spatial instability patterns in fluids of different viscosities”. The students, using scientific bibliography, constructed a Hele-Shaw cell for experiments in order to obtain photos of instability patterns. A complexity index that responds to the composition of the fluids (e.g., difference in viscosities) was defined based on image analysis.

Key Words: science as process, research, hydrodynamic instabilities, image analysis.

I. INTRODUCCIÓN

Los diccionarios definen “ciencia” haciendo referencia a la observación, identificación, descripción, investigación experimental y explicación teórica de los fenómenos naturales. Estos sustantivos derivan de verbos: observar, identificar, describir, experimentar, explicar... poniendo en evidencia que la ciencia es más que un cuerpo de conocimientos: es un proceso. Ahora bien, ¿cómo se enseña y cómo se aprende a investigar? Esta pregunta resulta particularmente relevante cuando se trata de estudiantes de profesorado, pertenecientes a carreras no orientadas a la investigación científica, pero que serán quienes transmitan el concepto de “ciencia” como proceso a sus futuros alumnos en la enseñanza media.

Para responder a esta necesidad, en los planes de estudio de los Profesorados Universitarios de Física y de Matemática, así como en los de la Licenciatura en Ecología Urbana y en Urbanismo de la Universidad Nacional de General Sarmiento, se ha incluido la asignatura Laboratorio Integrador en Ciencias Exactas (LICE). Desde la concepción del LICE nos planteamos como objetivo acercar a los estudiantes al quehacer científico a través de la participación activa en la ejecución de un proyecto de investigación. En este espacio los estudiantes pueden enriquecer sus conocimientos y desarrollar sus capacidades, llevando a

cabo un proyecto que cubre todas las etapas de la investigación: desde la formulación de las hipótesis a partir de temas sugeridos por los docentes, la definición de objetivos, planteo de un plan de trabajo, el diseño y la realización de experiencias, el tratamiento de datos, la evaluación final de los resultados, hasta la comunicación (oral y escrita) de los mismos. Es claro que enfrentar esta situación inédita en su formación se constituye en un desafío para los estudiantes, aunque el desafío no es menor para los docentes. Este trabajo supone el enfrentamiento de los estudiantes a situaciones problemáticas novedosas, ya que no existe una guía de trabajo preestablecida que oriente las tareas a realizar, sino que cada grupo de estudiantes va definiendo el problema y diseñando su propio camino a medida que avanza en el trabajo, contando con el asesoramiento de los profesores.

En este trabajo mostramos la experiencia realizada por un grupo de estudiantes del Profesorado de Física, quienes eligieron trabajar en el estudio de inestabilidades en fluidos^(1,2). Se describe este ejemplo y las competencias que se desarrollaron durante el proceso; además se discuten los resultados desde el punto de vista de la enseñanza y el aprendizaje.

II. DESAFÍO: ENSEÑAR A INVESTIGAR COMO PARTE DE LA CURRÍCULA UNIVERSITARIA

Previo al inicio de cada curso, los docentes proponen y seleccionan unos ocho a nueve posibles temas de trabajo, que deben cumplir con ciertas premisas básicas de factibilidad de implementación, pero que a su vez resulten novedosas y atractivas para los estudiantes⁽³⁾. Una vez iniciado el curso, se realiza una discusión con los estudiantes sobre qué es investigar y sobre cómo se construye el conocimiento en las ciencias experimentales. A partir de una presentación somera de los diversos problemas a estudiar en el curso, que suelen integrar aspectos de física, química y matemática, los estudiantes, en grupos de dos a cinco integrantes, optan por el que más despierte su interés. Una vez seleccionado el tema, son los estudiantes quienes se encuentran a cargo del curso de la investigación. Por supuesto, existe una guía y apoyo constante de parte de los docentes, pero ésta difiere de las actitudes habituales en otras asignaturas: no es el docente quien dice qué y cómo se va a hacer algo y da las instrucciones, sino que orienta acercando bibliografía, ayuda a clarificar la definición del plan de trabajo sobre las propuestas de los estudiantes, enseña ciertas técnicas, metodologías o el uso de instrumental de laboratorio y programas de computación que serán empleados como herramientas, participa en las discusiones del grupo como un integrante más (los docentes no realizan previamente las experiencias, sino que trabajan en conjunto con los estudiantes, encontrándose sobre la marcha con los problemas y dificultades propios de toda tarea de investigación). Los docentes ayudan a interpretar los resultados, señalando alternativas y errores, datos faltantes, planteando preguntas e interrogantes, cuidando que los trabajos se encaminen por vías razonables, pero manteniéndose siempre en un segundo plano.

III. DESAFÍO: APRENDER A INVESTIGAR COMO PARTE DE LA FORMACIÓN UNIVERSITARIA

El propósito general de esta experiencia es que no sólo se recojan datos y se los analice como en un trabajo práctico de laboratorio habitual en la enseñanza universitaria, sino que los estudiantes tengan un rol activo en la definición del problema y del diseño experimental, así como en el análisis, el empleo de herramientas informáticas, y en la interpretación de los resultados. El diálogo, debate, búsqueda de información compartida, el análisis de los datos y la puesta en común de conclusiones son los pasos previos para presentar el trabajo final a la comunidad, tanto en forma oral como escrita, valorizando los canales existentes en la actualidad para que esa comunicación sea fluida y precisa. Se otorga un espacio importante al desarrollo de capacidades de comunicación, aspecto en general poco desarrollado en estudiantes de ciencias. En definitiva, los estudiantes recorren en un semestre las etapas de un trabajo de investigación, desde la definición del problema a estudiar hasta la comunicación final de los resultados, involucrándose plenamente en el trabajo.

IV. EJECUCIÓN DEL DESAFÍO: OBTENCIÓN DE INESTABILIDADES EN FLUIDOS

Cuando un fluido es forzado dentro de otro más viscoso, la interfase entre ambos se vuelve inestable y se forman patrones con protuberancias aparentemente irregulares. Para obtener estos patrones espaciales se inyectó agua (su viscosidad es 0,0014 Pa.s a 23°C) coloreada con Azul Brillante, en glicerina (cuya viscosidad es 1,4 Pa.s a 23°C) o en mezclas de glicerina/agua, preparadas para obtener soluciones con un amplio espectro de viscosidades intermedias. La diferencia de color entre los fluidos permitió la observación y la obtención de imágenes fotográficas de los patrones formados. Se fabricó una celda de Hele-Shaw (Fig. 1) con dos placas de vidrio (18 cm x 18 cm) puestas en paralelo y separadas por una distancia conocida (450 µm). Ambas placas se sujetaron con pinzas en los extremos para asegurar una separación uniforme; la placa superior posee un orificio de diámetro pequeño (3 mm) por el cual se inyectó el agua coloreada con una jeringa descartable. Esta celda se montó en posición horizontal sobre un sistema formado por una estructura de paredes blancas con dos tubos fluorescentes semi-tapados (Fig. 2) para lograr una iluminación lo más homogénea posible. En cuanto a la carga de la celda, primero se inyectó en la misma la glicerina o la mezcla de glicerina / agua. Se observó que se obtenían resultados más claros si la inyección del segundo fluido (agua coloreada) era rápida y regular. Para ello se construyó un dispositivo (Fig. 3) que consiste en un soporte de madera para la jeringa, con un tornillo de gran longitud que se gira con un perno manualmente, pudiéndose controlar así la velocidad de inyección.

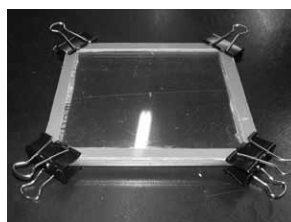


Figura 1. Celda Hele-Shaw Figura 2. Sistema de iluminación



Figura 3 Dispositivo de sostén de la jeringa de inyección

Variando el porcentaje de glicerina en las mezclas glicerina/agua (% m/m), y utilizando el sistema experimental descrito, se obtuvieron las imágenes que se muestran en la Figura 4.

Para analizar estas imágenes se definió un índice (ϵ) que permitiera cuantificar la complejidad de los patrones de inestabilidad obtenidos (Ec.(1)):

$$\epsilon = 4\pi \frac{A}{P^2} \quad (1)$$

donde A es el área de la forma coloreada y P su perímetro. Este coeficiente fue definido de manera que valga uno para figuras circulares o poco complejas, y a medida que la forma se complejiza, tiende a cero debido a que el perímetro aumenta pero el área se mantiene relativamente constante, reflejando así la complejidad de las figuras.

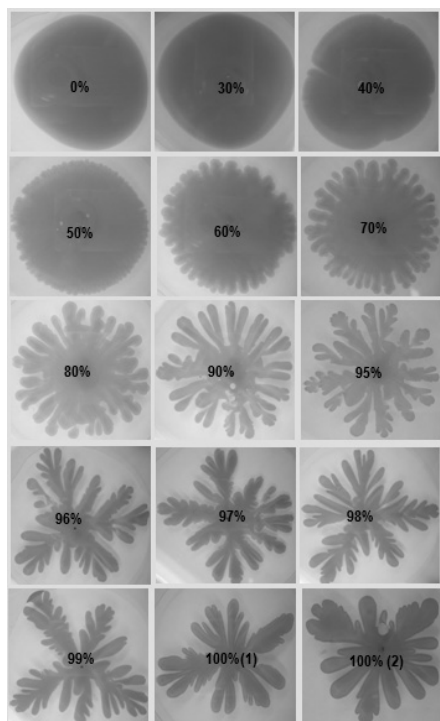


Figura 4. Patrones de inestabilidad obtenidos inyectando agua coloreada en mezclas con diferentes porcentajes (m/m) de glicerina en agua.

Para el análisis de las imágenes se utilizó el programa MATLAB® 7.10.0 de cálculo numérico orientado a matrices. El programa diseñado consta de varias partes: procesamiento de las fotografías aplicando funciones de luminosidad, filtrado, binarizado y contorno con el objetivo de lograr un mejoramiento de la imagen. En la siguiente sección se muestra un ejemplo de este análisis, donde la imagen fotográfica se convierte en una figura en blanco y negro a partir de la cual se calcula el coeficiente ϵ determinando el cociente del área y el perímetro según la ecuación (1).

V. EJECUCIÓN DEL DESAFÍO: ANALISIS DE IMAGENES

En el primer paso se cargó la imagen en crudo en el software y se seleccionó el corte de la foto que se pretendía analizar (Fig.5). Se eliminaron las variaciones de luminosidad definiendo dos nuevas imágenes, una en canal rojo (Fig.6) y otra en azul (Fig.7).

Al restar estas dos matrices se obtuvo una nueva figura notablemente más uniforme que la foto original (Fig.8). En esta imagen procesada (Fig.8), se logra apreciar la corrección que se produjo sobre la heterogeneidad lumínica de la foto original comparando con cualquiera de las imágenes de los canales rojo o azul (Fig.6 y Fig.7): se modificó la escala de

luminosidad en un rango de cero a uno, donde uno es el máximo y cero el mínimo.

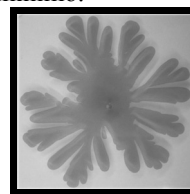


Figura 5: Imagen en crudo



Figura 6: Canal rojo

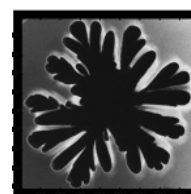


Figura 7: Canal azul

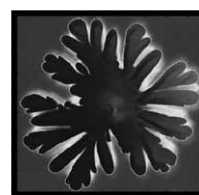


Figura 8: Imagen procesada

En segundo lugar se utilizó un proceso de filtrado, en donde se tomó píxel por píxel y se promedió el valor de luminosidad de sus píxeles vecinos. Luego se reemplazó este promedio por el valor del píxel original. Este proceso permite obtener una imagen suave y homogénea. En las figuras siguientes (Fig.9 y Fig.10) se muestra, respectivamente, un zoom de la figura antes y después de aplicar el filtrado.

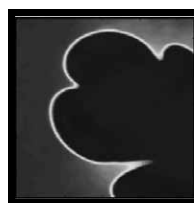


Figura 9: antes del filtrado

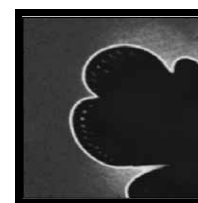


Figura 10: luego del filtrado



Figura 11: imagen binaria

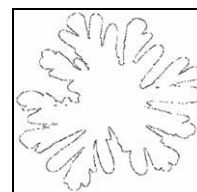


Figura 12: imagen perímetro

Por último, se binarizó la imagen eligiendo un valor de luminosidad y proponiéndolo como parámetro comparativo llamado umbral. Luego se comparó el valor de luminosidad de cada píxel con el umbral: si es mayor que éste se lo transforma en uno y si es menor en

cero. A partir de esto fue posible calcular el área de la imagen (Fig.11) sumando la cantidad de píxeles que la componen. Asimismo, para calcular el perímetro, se obtuvo el borde de la imagen binaria sumando los píxeles que conforman el contorno (Fig.12).

VI. RESULTADOS

El análisis de imágenes descripto se aplicó a todas las fotografías de la Figura 4. De esta forma se obtuvo el parámetro ϵ para los patrones de inestabilidad generados al inyectar agua coloreada en las mezclas con diferente proporción de glicerina/agua. La Figura 13 muestra la relación entre el parámetro ϵ y la composición del sistema. Se observa que las inestabilidades presentan patrones mucho más complejos a medida que se aumenta la diferencia de viscosidad entre ambos fluidos.

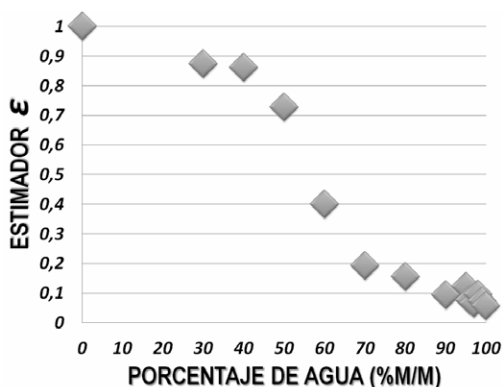


Figura 13: Parámetro ϵ versus el porcentaje de glicerina en agua (%M/M), obtenido a partir del análisis de imágenes en una celda de vidrio.

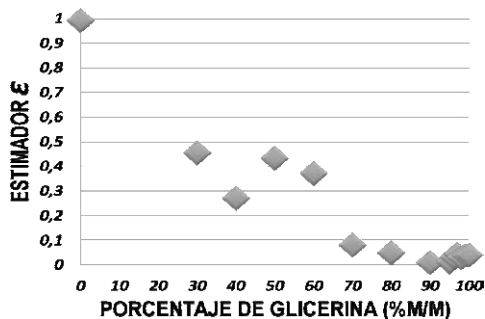


Figura 14: Parámetro ϵ versus el porcentaje de glicerina en agua (%M/M), obtenido a partir del análisis de imágenes en una celda de acrílico.

Además de utilizar la celda de Hele-Shaw construida en vidrio, se hicieron ensayos en una celda similar pero empleando acrílico como material de las placas. Si bien los resultados obtenidos fueron similares a los de la celda de vidrio, la dispersión de los valores de ϵ fue pronunciada (Fig. 14). Esta variabilidad se adjudicó al poco espesor de las placas de acrílico: al ser relativamente flexibles, se producían variaciones en el espesor de la separación entre placas durante la inyección de las soluciones. También se investigó cualitativamente la influencia de esta separación realizando ensayos con un separador de mayor espesor

(0,9 mm), obteniéndose patrones mucho más regulares a igualdad de composición de las soluciones inyectadas en la celda. Como resultado final de este trabajo, se definió un parámetro ϵ que vincula información obtenida a partir del análisis de imágenes de fotografías con la composición porcentual de las soluciones empleadas (y por ende, de su viscosidad). Este parámetro resultó adecuado como estimador de la complejidad de los patrones de inestabilidad en función de la diferencia de viscosidad entre las soluciones.

VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos por un grupo de estudiantes que desarrollaron su investigación en el marco de una asignatura diseñada para tal fin. Este acercamiento al quehacer científico resulta de interés para estudiantes de cualquier carrera universitaria, aunque cobra un rol fundamental en el caso de los estudiantes de Profesorados de Ciencias, ya que como profesionales en general no se van a dedicar a la investigación, pero serán quienes transmitan los conocimientos científicos a sus estudiantes de nivel medio.

Desde el punto de vista de enseñar y aprender a investigar, la metodología empleada en el LICE requiere un alto nivel de compromiso por parte de docentes y estudiantes, cosa que sólo se puede lograr si se genera entusiasmo en la tarea. Los docentes deben seleccionar temas de trabajo que despierten el interés de los alumnos, y que sean factibles desde puntos de vista tan dispares como las limitaciones de tiempo (17 clases), de instrumental, de materiales a usar, de seguridad para minimizar riesgos durante el desarrollo del curso, que permitan obtener resultados, que posean varios caminos posibles a seguir, etc. Para los estudiantes, esta asignatura resulta muy diferente a las demás; es habitual que al principio se genere cierto desconcierto, pero la lectura de bibliografía y las charlas con los docentes y entre los integrantes del grupo, les permiten comenzar a definir objetivos y a diseñar experiencias para cumplirlos. Durante el curso, los estudiantes aprenden a valorar la ciencia como conocimiento en construcción, en el cual se integran aportes de diversas disciplinas, y que se logra realizando un diseño experimental adecuado, definiendo qué variables se van a estudiar y cómo se controlan, se comprende la incertidumbre asociada a las mediciones, el valor de los experimentos fallidos, la importancia de la reproducibilidad de los datos. La comunicación de los resultados es un aspecto importante en estas experiencias. Finalizado el trabajo, los estudiantes redactan un informe teniendo en cuenta la estructura básica de un artículo científico. Por otra parte, se realiza una presentación oral ante la comunidad universitaria, en la que se trabajan aspectos tales como adecuar las presentaciones a un tiempo limitado, seleccionar el material a presentar, diseñar el material visual que acompaña esta presentación, etc. En numerosas ocasiones, y ya fuera del ámbito de la materia, los trabajos han sido presentados en Congresos y Jornadas,

siendo los estudiantes coautores de los mismos, y participando en el diseño de los posters.

Enseñar y aprender a investigar implica trabajar sobre el desarrollo de competencias profesionales, valorar las diversas etapas del trabajo experimental (planificación, ejecución, análisis y presentación de resultados) como forma de acceder al conocimiento, pero sobre todo, generar un ámbito de trabajo cuidado donde los estudiantes sean protagonistas.

Referencias

- 1.- Y. Nagatsu, N. Fujita, Y. Kato y Y. Tada. An experimental study of non-isothermal miscible displacements in a Hele-Shaw cell; *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33, 695-705, 2009.
- 2.- L. Sander. Crecimiento fractal; *Investigación y Ciencia*, 126, 66-73, 1987.
- 3 - J. Codnia, D. Vullo y A. Zalts. Laboratorio Específico – Mención Ciencias Exactas. *Enseñar y Aprender en la Universidad*, Los Polvorines, Ed. Al Margen – UNGS, 77-88, 2003.