

## **Formación científica y ciudadanía planetaria: conocimiento del conocimiento**

Ethel Ríos Orlandi, MSc, PhD.

Catedrática de la UPR-RP

*“El conocimiento del conocimiento  
que conlleva la integración  
del cognocente en su conocimiento  
debe aparecer ante la educación  
como un principio y una necesidad permanente.”*

Edgar Morin, 1999

La formación científica lejos de ser un lujo cognoscitivo, adquiere cada vez más importancia para el ejercicio efectivo de la vida en democracia. En la segunda década del siglo veintiuno, resulta imperativo pensar los escenarios de vida locales, cotidianos, en función de una ciudadanía planetaria, aún en construcción. Las universidades, además de producir conocimiento científico tienen, entre otros, el deber de propiciar la formación científica de sus alumnos y de contribuir al desarrollo del pensar científico en la población a la que sirven. Surge la pregunta interrogante de ¿cómo hacerlo? En este artículo, me limitaré a compartir, en forma reflexiva, algunas experiencias en el ofrecimiento de formación científica a estudiantes que no siguen carreras en ciencias naturales, en el contexto de los estudios generales, al calor de la experiencia en la enseñanza de cursos especializados en las facultades de ciencias naturales y de farmacia. No incluiré los cursos de estudios generales que, en sus últimos años de carrera, toman los estudiantes próximos a egresar de la Facultad de Ciencias Naturales, con miras a reflexionar, con cierta profundidad, sobre el quehacer científico.

En cuanto a métodos y estrategias, desarrollé mi práctica de la enseñanza activa y reflexiva, partiendo de una visión piagetiana del desarrollo cognitivo de los humanos y de la pedagogía freiriana, matizada por la pedagogía radical de los sesenta (Karl Rogers, John Holt, Herbert Kohl,

A.S. Neill, Iván Illich, entre otros ...), esencialmente en el período de 1976-1980; continuó su evolución y maduración en los períodos 1988-1992 y a partir del 2006, en los que he estado dedicada a la docencia<sup>1</sup>. En ese contexto, he trabajado los contenidos científicos de los cursos en función de varios ejes que se entrecruzan, produciendo intersecciones significativas: la desmitificación de la ciencia; el carácter tentativo de todo conocimiento científico; la puesta en valor del conocimiento empírico y técnico que ha servido de sustrato para la formulación posterior de preguntas fecundas; los contextos, internos y externos, de la producción de conocimiento científico y de sus aplicaciones; la identificación de herramientas epistemológicas con aplicabilidad a la vida cotidiana, al ejercicio de la ciudadanía y de la vida en sociedad, y la relación entre las ciencias naturales y otras ramas del saber humano así como con eventos de la historia de la humanidad.

*Cursos para estudiantes de carreras que no se ofrezcan en la Facultad de Ciencias Naturales*<sup>2</sup>. El ejemplo que usaré es mi docencia del

<sup>1</sup> Comparto algunos lecciones que he derivado de esta praxis:

- el imprescindible ejercicio de la libertad de cátedra;
- la atención a los aspectos afectivos del aprendizaje;
- el posicionamiento de cada estudiante como productor de conocimiento;
- la simulación de las condiciones genéticas de ciertas hipótesis científicas, como herramienta para la producción de éstas por los estudiantes;
- la vinculación de los contenidos del curso con la vida del estudiante en su contexto socio-cultural e histórico, con otras disciplinas y con eventos pertinentes de la historia de la humanidad;
- la importancia del trabajo activo/reflexivo por el estudiante;
- el diseño estratégico de las asignaciones;
- el trabajo desde lo concreto hacia lo abstracto;
- el trabajo sistemático con los procesos lógico-deductivos;
- la integración fecunda de las experiencias de laboratorio al desarrollo del curso;
- la valoración del aprendizaje entre pares; la organización de foros para la divulgación de conocimiento por los estudiantes;
- la importancia de los viajes de campo y de otras actividades co-curriculares;
- la puesta en valor del análisis de trabajos originales vis-à-vis el relato del libro de texto tradicional;
- la incorporación del uso crítico, específico y eficiente, de las herramientas cibernéticas y tecnologías relacionadas, y otras que quedan en el tintero.

<sup>2</sup> Ejemplos de los cursos que ofrece el Departamento de Ciencias Físicas de la Facultad de Estudios Generales, Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico, a esta población:

- CIFI 3065 - *Fundamentos y Desarrollo de las Ciencias Físicas: Teoría Atómica*;
- CIFI 3055 - *Fundamentos y Desarrollo de las Ciencias Físicas: Movimiento*;
- CIFI 3003 - *Fundamentos de Grandes Cambios en las Ciencias Físicas: Revolución Copernicana y Newtoniana*;
- CIFI 3004 - *Fundamentos de Grandes Cambios en las Ciencias Físicas: Revolución Relativista y Cuántica*;
- CIFI 3026 - *Origen y Evolución de la Tierra*;
- CIFI 3013 - *Ciencias Físicas: Fundamentos e Interrelaciones-Ciencia y Tecnología Nuclear*;
- CIFI 3014 - *Ciencias Físicas: Fundamentos e Interrelaciones-Ciencia y Tecnología Informática*;
- CIFI 3016 - *Ciencias Físicas, Nanotecnología y Sociedad*;
- CIFI 3007 - *Ciencias Físicas y Cibermúsica*.

Para más información vea: <https://sites.google.com/site/departamentocifi/cursos-y-prontuarios>

curso *Ciencias Físicas: desarrollo de la Teoría Atómica*. Este curso es de ciencia y acerca de la ciencia, con énfasis en el examen reflexivo de la producción/creación de conocimiento científico, por el estudiante-partícipe, quién a su vez, se convierte en protagonista de episodios pre-seleccionados de la historia de la ciencia. En el diseño del curso, y de otros que ofrece el Departamento de Ciencias Físicas (DCF), adscrito a la Facultad de Estudios Generales (FEG), el contenido pasa a ser un pretexto para trabajar el tema general de la producción del conocimiento científico, lo que provee amplia flexibilidad curricular<sup>3</sup>. Los estudiantes se reúnen semanalmente con el profesor en dos sesiones de discusión de 80 minutos y una práctica de laboratorio de 110 minutos, durante unas 15 semanas. Las experiencias de laboratorio están acopladas a la secuencia que llevan las sesiones de discusión y se realizan en grupos pequeños, lo que facilita la acción/reflexión, vinculada al trabajo en las sesiones de discusión. En mi estilo de docencia, asigno regularmente tareas que deben usar los alumnos como herramientas para armar la discusión en clase; al final de la sesión, cada alumno le entrega la tarea a la profesora. De esta manera, el trabajo individual previo a la clase, se entrama con el diálogo colectivo y el trabajo en grupo que realizarán posteriormente.

---

<sup>3</sup> Objetivos generales comunes a todos los cursos de este tipo (\*objetivos que se refieren a la competencia de Razonamiento Científico e Investigación.). Que el estudiante pueda:

1. \*Identificar el problema central que quiere resolver un científico en su artículo.
2. \*Localizar y definir conceptos medulares en el artículo examinado.
3. \*Aplicar la estructura conceptual de una definición, un dato, una hipótesis científica, una generalización empírica, una teoría científica y una ley científica, para identificar en el artículo enunciados que respondan a ella.
4. \*Describir las soluciones hipotéticas al problema planteado que propone un autor.
5. \*Argumentar, utilizando procesos lógicos, en torno a la solución del problema planteado.
6. \*Contrastar la solución del problema con la evidencia empírica proporcionada por las lecturas.
7. \*Diferenciar entre una descripción y una explicación científicas.
8. \*Comparar la estructura de un discurso científico con la de discursos de otras disciplinas.
9. \*Aplicar los conceptos y principios del artículo a la solución de nuevos problemas.
10. \*Comparar con otros aportes, y de acuerdo con las características del artículo, el legado del autor al caudal del conocimiento científico.
11. \*Juzgar el mérito del aporte científico, incluyendo la metodología.
12. Desarrollar competencias en el uso de tecnologías de información, a través del uso continuo de las mismas.
13. Desarrollar competencias para la búsqueda, el manejo y uso ético de la información.
14. Adquirir competencias en el manejo y uso de instrumentos de medida y de aparatos utilizados en las prácticas experimentales del curso.
15. Contribuir de forma efectiva a la inclusión de compañeros estudiantes con impedimentos en el salón de clases.
16. Al trabajar en equipo, hacer los acomodos necesarios para incluir compañeros estudiantes con impedimentos.

En el curso acerca del desarrollo inicial de la teoría atómica, se trabaja con textos originales que capturan aportaciones importantes al conocimiento científico y que requieren para su comprensión, una formación matemática cónsona con el nivel que traen los alumnos del curso. Este aspecto limita la selección de textos, pero evita que el curso se convierta en lo que llamo el *curso del relato*, en el que alguien, sea el profesor o un libro de texto, le narra al estudiante bien una secuencia de episodios en el desarrollo histórico de la ciencia o bien un relato del quehacer de cierto científico y los resultados del mismo. En el caso que les presento, se trabajan extractos de textos vinculados al desarrollo del concepto de átomo, en el contexto del estudio de la materia, a partir de la alquimia como antecedente en el acopio de conocimiento empírico, hasta la propuesta de la existencia del electrón. Los autores principales que se examinan son: John Dalton, Guy Lussac, Stanislao Cannizzaro, Amedeo Avogadro, Dmitri I. Mendeleiev y John J. Thomson. A manera de ejemplo de las estrategias y métodos que uso para lograr la vinculación del curso con la experiencia personal del estudiante y el ejercicio del “conocer sobre el conocimiento”, presentaré el comienzo del curso y algunas secciones pertinentes.

Inicio el curso con una pregunta de introspección que contestará cada estudiante privadamente; compartirá su respuesta sólo si desea hacerlo: ¿que le gustaría estar haciendo cinco años después de completar sus estudios universitarios de pregrado? Luego sigue un cuestionamiento de los estudios generales, a tres niveles: a nivel personal (Paulo Freire<sup>4</sup>), a nivel de su función en el contexto de la institución que nos alberga, en este caso la Universidad de Puerto Rico (Ángel Quintero Alfaro) y en el contexto más amplio de la educación superior (Martin Carnoy, Declaración de la UNESCO sobre Educación Superior de 2009). Se examinan, posteriormente, los objetivos del curso vis-à-vis el interés particular de cada estudiante. Para plantear de forma rápida el asunto de la diversidad de maneras de conocer, trabajamos un ejercicio<sup>5</sup>, previamente asignado, que coloca al estudiante en situación de distintos sujetos cognoscentes ante cierto acaecimiento

---

<sup>4</sup> *Consideraciones en torno al acto de estudiar*, escrito en 1968, en Chile. Publicado en *La importancia de leer y el proceso de liberación*, Siglo XXI, 1996, México.

<sup>5</sup> Por ejemplo el hecho podría ser un ave canta posado sobre la rama de un árbol. Los sujetos cognoscentes podrían ser: una poeta contemporánea, un habitante del Boriquén prehispánico, un agricultor del siglo dieciocho y una ornitológa contemporánea.

específico. Con esta discusión se gesta una pequeña comunidad inquisitiva que continuará operando y reconfigurándose durante el curso.

Antes de trabajar con los textos científicos, examinamos, desde la experiencia del estudiante, varios conceptos medulares a la comprensión del acto de conocer tales como: hecho, fenómeno, dato, hipótesis y generalización empírica en el marco del realismo científico (Mario Bunge), que a su vez implica un materialismo dinamicista. Estos conceptos constituyen, a la vez herramientas que contribuirán a la formación del estudiante. Trabajamos también, preliminarmente, el llamado “método científico”, con énfasis en la contextualización histórica y socio-económica de los sujetos que lo practican. El abordaje epistemológico de los casos concretos estudiados atraviesa el curso y permite profundizar en forma iterativa en los conceptos medulares presentados inicialmente a los que se añadirán otros (teoría, modelo, axioma, teorema, reglas de interpretación, contrastación empírica...) en función del texto bajo estudio. Simultáneamente, en el primer laboratorio, se mide la densidad de agua destilada, para trabajar los conceptos de producción de datos, dispersión de sus valores numéricos, el significado del valor promedio de una medida y los límites de éste, así como la diferencia entre exactitud y precisión de la medida, entre otros. Además del resultado de cada grupo de trabajo, se analiza el resultado global para el colectivo que trabajó ese día. Así, se va separando percepción individual del proceso de construcción de los datos científicos, a la vez que se aclara el margen de confiabilidad de éstos. En este contexto práctico se profundiza en aspectos el conocimiento científico tales como: el control público del dato científico y su relación con la posibilidad de refutación del alegado dato. Este análisis, prepara al estudiante para aquilatar los resultados experimentales propios, que obtendrá posteriormente, así como los que presentan los autores estudiados.

El curso de desplaza al examen de las aportaciones de la alquimia al conocimiento de la materia, lo que lanza al estudiante a examinar textos de historia de la ciencia y la cultura, en el contexto de un curso de ciencias físicas. El estudio experimental (cuantitativo y cualitativo) de la combustión de cobre metálico, en sistema abierto y cerrado, prepara al alumno para

estudiar la histórica polémica en cuanto a la “Teoría del flogisto”. En ese sentido, he virado la tortilla: la experiencia de laboratorio, lejos de ser una aplicación de lo aprendido en clase, pasa a ser un detonante de la curiosidad, adquiriendo así un carácter lúdico. El estudiante logra una mejor comprensión de la importancia que tuvo la realización de la combustión en recipientes cerrados para dilucidar esa controversia. Tienen la experiencia de medir la cantidad total de materia en el sistema cerrado antes y después de la reacción de combustión y determinar que la misma es constante, dentro del error experimental. Comprenden mejor “Ley de Conservación de Materia” como generalización empírica, que será explicada posteriormente por la teoría atómica de Dalton (TAD), como un teorema de ésta. En este primer ejemplo examinamos, de una parte, la función del marco conceptual en la interpretación de lo observado y, de otra, la posibilidad de proponer explicaciones alternativas a las aceptadas en cierto momento, superando a las primeras en su capacidad explicativa. En forma similar, en otra experiencia de laboratorio, los estudiantes determinan el porcentaje de agua en un hidrato de sulfato de cobre, lo que facilita la comprensión de otra generalización empírica importante que se produce en la época y que será explicada por el TAD: “La Ley de Proporciones Definidas”. Cabe señalar, la dificultad con el manejo del concepto de proporción constante entre cantidades variables que generalmente traen los estudiantes: trátase de la proporción entre capital constante y capital variable o entre las cantidades de elementos distintos en cierta masa de un compuesto.

El estudiante está ahora en posición de explicar la siguiente aseveración<sup>6</sup> de un Dalton frustrado con el estado de la química y audaz en la tarea que se propone acometer:

“In all chemical investigations, it has justly been considered an important object to ascertain the relative *weights* of the simples which constitute a compound. But unfortunately the enquiry has terminated here<sup>7</sup>; whereas from the relative weights in the mass, the

---

<sup>6</sup> Recuperado de: <http://web.lemoyne.edu/~giunta/dalton.html>, John Dalton, 1808, *A New System of Chemical Philosophy, First Part, Chapter III: On Chemical Synthesis*, Manchester (p. 212 from facsimile edition: London, Dawson).

<sup>7</sup> Con esta cita (negrillas de la autora) se trabaja la diferencia entre las leyes o generalizaciones empíricas y la formulación de explicaciones que den cuenta de éstas. Se lamenta Dalton, de que no se haya

relative weights of the ultimate particles or atoms of the bodies might have been inferred, from which their number and weight in various other compounds would appear, in order to assist and to guide future investigations, and to correct their results<sup>8</sup>. Now it is one great object of this work, to shew the importance and advantage of ascertaining *the relative weights of the ultimate particles, both of simple and compound bodies, the number of simple elementary particles which constitute one compound particle, and the number of less compound particles which enter into the formation of one more compound particle.*"

Una vez aclarado lo que el autor se propone realizar, trabajamos formalmente el concepto de teoría científica, presentando un esquema general de la TAD que contiene axiomas, definiciones, reglas de interpretación y modelos. Los estudiantes identifican los tres postulados axiomáticos<sup>9</sup> a la teoría y aplican la teoría a casos concretos. Trabajo con la representación de 100 gramos de cobre pulverizado, en términos de la TAD, a la luz de los axiomas 1 y 2. Es decir, deben representar una cantidad empírica (100 g. de cobre) en términos de las partículas fundamentales de las suponemos, con Dalton, que está constituida la materia. En este ejercicio usamos un enfoque constructivista, con la suficiencia de hipótesis para analizar un asunto dado. En este caso no es necesario usar el tercer axioma que proponemos en la axiomatización de la TAD. Así, los alumnos producen, con alguna dificultad, algo como lo siguiente:

$$\begin{array}{rcc}
 & \text{masa de cada} & \text{Número de partículas} \\
 100 \text{ g} & & \\
 \text{de cobre} & = [ \text{partícula} & \text{fundamentales de} \\
 & \text{fundamental de} ] [ \text{cobre en 100 g de} ] \\
 & \text{cobre} & \text{cobre} \\
 \text{(cantidad} & & \\
 \text{empírica)} & \text{(cantidades teóricas)} & 
 \end{array}$$

trascendido el análisis de compuestos, lo que le motiva a proponer un nuevo sistema de filosofía química, que resulta en una teoría general de la materia.

<sup>8</sup> Nótese la afirmación del autor en cuanto a la transformación del conocimiento científico, una de las principales ideas que se trabajan a través del curso. En el mismo trabajo de Dalton, el autor presenta la posibilidad de que la composición atómica del agua, pueda ser diferente, de su propuesta inicial. La noción del carácter tentativo del conocimiento científico, aparece reiteradamente en varios de los trabajos estudiados.

<sup>9</sup> Axiomatización de la Teoría Atómica de Dalton: A1- Todo "cuerpo de magnitud perceptible" (materia) está constituida partículas (átomos); A2- Las partículas fundamentales de todo "cuerpo homogéneo" son idénticas entre sí; A3- En la química, el análisis y la síntesis se limitan a la separación de partículas y a su reunión.

Es decir, si aceptamos temporariamente dos axiomas de la TAD (1: “Toda materia está constituida de partículas.” y 2: “Las partículas de toda materia homogénea son idénticas entre sí”.) y si suponemos que cobre es una materia homogénea, entonces los 100 gramos de cobre estarían constituidos por cierto número de partículas de cobre, idénticas entre sí, es decir con igual masa. Hemos expresado una cantidad empírica, en términos teóricos, y podemos examinar las consecuencias de haberlo hecho. En este contexto, se discuten hipótesis alternas al axioma II, como por ejemplo que exista una distribución de partículas de cobre con masas distintas. Examinamos, entonces, una consecuencia importante de aceptar la hipótesis alterna *via-à-vis* la simplificación de suponer un solo valor para la masa atómica de cada elemento: la imposibilidad de multiplicar el número de partículas por la masa de cada partícula, pues habría que conocer la masa de cada tipo de partícula distinta y su distribución en la población de partículas bajo estudio. Esto habría implicado estancarse en un callejón sin salida, al menos por el momento. Por el contrario, el axioma 2 de Dalton es lo que le permite al autor relacionar, de forma sencilla, su propuesta (que supone partículas fundamentales de cobre con masa idéntica) con los datos de composición por peso conocidos por sus pares. Aprovecho la circunstancia para examinar los conceptos de hipótesis y sus consecuentes, usando el examen de hipótesis distintas en torno a un mismo asunto, así como la necesidad de hacer explícitos los criterios para seleccionar unos y abandonar otros.

Luego de ver el tercer axioma: “En la química, el análisis y la síntesis se limitan a la separación de partículas y a su reunión.”, trabajamos el caso de un compuesto hipotético, C, constituido por los elementos A y B, para producir, usando los tres axiomas, el siguiente teorema, que será la herramienta para examinar la evidencia que presenta Dalton sobre su teoría y que, a su vez, permite explicar la generalización empírica propuesta por Proust y conocida como la Ley de Proporciones Definidas<sup>10</sup>. Comenzamos por representar cierta cantidad tangible del compuesto C en términos de la propuesta constitución de la materia C por partículas de C, idénticas entre sí:

---

<sup>10</sup> En la formación de un compuesto entran siempre los mismos elementos, en la misma proporción por peso.

$$100 \text{ g de } C = \left[ \frac{\text{masa de cada partícula de } C}{\text{Número de partículas de } C \text{ en } 100 \text{ g de } C} \right]$$

Luego expresamos, por separado, las cantidades de los elementos A y B que se obtienen al analizar empíricamente la cantidad del compuesto C antes expresada, Masa de A en 100 g de C y Masa de B en 100 g de C, respectivamente.

$$M_A = \left[ \frac{\text{masa de cada partícula de A, } m_A}{\text{Número de partículas de A en cada partícula de C, } n_A} \right] \left[ \frac{\text{Número de partículas de C en } 100 \text{ g de C, } N_C}{\text{Número de partículas de C}} \right]$$

$$M_B = \left[ \frac{\text{masa de cada partícula de B, } m_B}{\text{Número de partículas de B en cada partícula de C, } n_B} \right] \left[ \frac{\text{Número de partículas de C en } 100 \text{ g de C, } N_C}{\text{Número de partículas de C}} \right]$$

La razón entre ambas cantidades,  $M_A/M_B$ , se conoce en química como la composición por peso de un compuesto, “the relative *weights* of the simples which constitute a compound” a que alude Dalton en el texto antes citado, ampliamente conocida en su época y, a su juicio, subutilizada.

$$\frac{M_A}{M_B} = \frac{\left[ \frac{m_A}{n_A} \right] \left[ \frac{N_C}{N_C} \right]}{\left[ \frac{m_B}{n_B} \right] \left[ \frac{N_C}{N_C} \right]}$$

Conoce:	3. Calcula:	2. Supone:	1.
Dado que:			
$M_A/M_B$	$m_A/ m_B$	$n_A/ n_B$	$N_C /N_C= 1$

Con estos ejemplos sencillos se va entendiendo el significado de decir que tal cantidad empírica (lado izquierdo de la ecuación) se expresa en términos teóricos (lado derecho de la ecuación) o que tal teoría explica tales datos. Se examina también, la estrategia de Dalton, para trabajar con una ecuación de la que conoce solamente dos cantidades ( $M_A$  y  $M_B$ ). De ahí que, trabaje con la relación entre las masas atómicas de pares de elementos ( $m_A/ m_B$ ) y la relación entre el número de átomos de cada elemento ( $n_A/ n_B$ ) en el compuesto de interés. Conforme a criterios que presenta en su trabajo, supone un valor para  $n_A/ n_B$ , y calcula la masa atómica relativa de los elementos A y B. No conoce el número total de partículas de C en 100g, pero eso no es obstáculo para seguir. Caminamos a tientas larguísimos trechos, sin abandonar el afán por conocer.

El curso continúa despacio, logrando mayores niveles de comprensión con una metodología que busca la creación de nuevas conexiones neuronales en el cerebro de cada estudiante. También se aprecian los distintos tipos de aportaciones a la producción de conocimiento: generalizaciones de datos (Gay Lussac); interpretación de datos a la luz de teorías específicas propuestas por los autores (Dalton, Thomson); modificación de teorías y modelos (Avogadro); contradicciones entre las predicciones de cierta teoría (o aspectos de ésta) y los resultados empíricos (Gay Lussac, Dalton, Thomson); problematización de los datos o de las teorías (Mendeléiev, Avogadro); reflexiones en torno a un corpus de conocimiento conducentes a su transformación (Cannizzaro, Mendeléiev).

Este ir y venir entre el ejercicio del pensamiento sistemático y creativo por el estudiante y la comprensión de los textos escritos por otros, contribuye al desarrollo del pensamiento crítico y a la comprensión de la complejidad, competencias esenciales para ejercer la ciudadanía, en sus diferentes modalidades y ámbitos. Veamos una oportunidad reciente de usar esas herramientas analíticas, para formular preguntas fecundas que permitan desmontar la mentira y la falacia, por hábil que haya sido su

montaje. El pasado 19 de agosto se celebró en Puerto Rico, promovido por el gobierno-partido en el poder, un referéndum para enmendar dos artículos de la constitución, con el efecto de limitar el derecho a la fianza y de reducir el número de legisladores. La campaña mediática cumplió con todas y cada una de las diez estrategias de manipulación de masas identificadas por el filósofo y lingüista Noam Chomsky. Aunque la enmienda no establecía una reducción del presupuesto de la legislatura, la propaganda implicaba que la reducción del número de legisladores le ahorraría dinero al pueblo: ¿dónde está la premisa que permite llegar a esa conclusión? A pesar de que en Puerto Rico la presunción de inocencia tiene rango constitucional y la fianza existe como garantía de que el imputado de delito se presentará al juicio, se hablaba de no dejar libres a los asesinos (cuando a lo sumo habría que referirse a los imputados de asesinato): ¿por qué no se usó el vocablo correcto?; ¿cuál es la intención detrás de la redacción? La campaña también ignoró por completo los datos contundentes pertinentes al asunto de la fianza: por ejemplo, la baja tasa de comisión de delitos durante el periodo de la libertad bajo fianza. ¿Cuánto puede la razón frente a la propaganda financiada por los inversores políticos y la corrupción? Este evento se discutió en el curso de Ciencias Físicas, identificando las hipótesis inarticuladas que subyacen a las alegadas conclusiones y la existencia o no de evidencia que las sostenga.

Para enfrentar situaciones donde el entorno tiende a atraparnos en el imaginario del poder, como la antes descrita, además de una férrea voluntad de conocer, las personas necesitan el dominio de aguzadas y ágiles herramientas cognitivas. Pero eso no basta, la capacidad de trabajar con otros solidariamente, la disciplina, la comprensión de la relación entre lo local y lo planetario, entre lo inmediato, el corto y el largo plazo (las siete generaciones y más allá), son esenciales para la supervivencia de la humanidad. En el curso de referencia, los estudiantes realizan investigaciones en torno a temas puntuales<sup>11</sup>, de su elección, que propician

---

<sup>11</sup>Algunos ejemplos de temas de pertinencia social, objeto de investigación estudiantil en el curso CIFI 3065: Contaminación por mercurio: el caso del Alto Maroní; El proceso planetario del agua y la desertificación de zonas tropicales; Combustibles fósiles y agrocombustibles; La biotecnología y la producción de fármacos en Puerto Rico; El uranio reducido: producción y uso bélico; Disposición de productos derivados del petróleo: efecto en el Planeta Tierra; La composición química de la atmósfera: aerosoles atmosféricos; Derivados de petróleo de uso cotidiano: poliéster y plástico; Degradación de desperdicios sólidos; El ciclo planetario de bióxido de carbono y el calentamiento global; Síntesis y

examen de asuntos de pertinencia social, algunos de ellos de alcance planetario. Además de los diálogos durante las clases, la presentación de las investigaciones a sus colegas de curso y la discusión grupal de éstas contribuyen al desarrollo de actitudes solidarias y de respeto a la diversidad de opiniones, importantes para la convivencia ciudadana. En función de la temática del curso, he incluido viajes de campo enfocados en algún aspecto específico, por ejemplo, en CIFI 3055: acampar en la playa para observar el movimiento diurno de las estrellas o visitar el Observatorio de Arecibo. Como último ejercicio del curso, los estudiantes trabajan por su cuenta un texto contemporáneo de investigación científica (del tipo publicado en *Investigación y Ciencia*, *Interciencia*, y revistas similares) y contestan, en formato de “libro abierto”, un examen en torno al análisis epistemológico del texto. Con esta experiencia de cierre, intento provocar en el estudiante una toma de conciencia de su capacidad para entender textos de divulgación científica, dejando la puerta abierta para una exploración de este ámbito del saber, en momentos futuros de su vida.

*Cursos para estudiantes de Ciencias Naturales de nivel avanzado.* Por otra parte, la enseñanza de cursos de ciencias naturales a estudiantes de carreras científicas, tiene otras características, que dificultarían mucho realizar el tipo de docencia que he descrito anteriormente. Tomaré como ejemplo varios cursos de bioquímica, específicamente en el área de biología celular molecular ofrecidos a estudiantes avanzados de pregrado en unos casos y a estudiantes del doctorado en farmacia, en otros. Resulta evidente que la selección del contenido pierde muchos grados de libertad. En este caso, el contenido del curso es lo medular y no un pretexto para reflexionar sobre la producción y aplicación del conocimiento científico, aunque esto último no esté del todo ausente.

Ante la monumental cantidad de material que debe examinar el estudiante, la experiencia de los estudios generales aporta estrategias que han resultado efectivas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estas materias. El énfasis en identificar las constantes estructurales de los diferentes procesos metabólicos así como los mecanismos para su

---

purificación de sustancias químicas: las drogas ilícitas.

expresión diferenciada en entornos cambiantes, facilita la comprensión de la complejidad de los sistemas metabólicos, desde la sistemo-dinámica. Con este enfoque se evita que el estudiante recurra a la memorización de las rutas metabólicas, un lugar común en este tipo de cursos. En el contexto de la formación profesional, hay que lograr un delicado balance entre la preparación que se requerirá posteriormente de este estudiante, que sin duda apelará en algún grado a la memorización, y la comprensión profunda de los mecanismos de comunicación intracelular de los estados metabólicos que permiten el ajuste continuo de la célula a los cambios en su medioambiente. Los esquemas generales de bucles retroalimentación y de procesos interconectados que se influyen mutuamente, susceptibles a cambios en su entorno que, a su vez, inciden sobre éste, -conjuntamente con las propiedades emergentes resultantes de cambios de estado en los sistemas o en la organización intramolecular-<sup>12</sup> se convierten en herramientas cognitivas que potencian la capacidad de los estudiantes-ciudadanos para enfrentar la complejidad de la vida en sociedad.

He presentado, al menos uno de los ejemplos, con bastante detalle porque estoy convencida de que solamente el trabajo concreto de cada estudiante, examinando con profundidad asuntos concretos, en interacción fecunda con la comunidad académica en la que está inmerso, logra la transformación de las redes neurales de su cerebro que, a fin de cuentas, es como se aprende. Intentamos, así, lograr la “integración del cognoscente en su conocimiento”, con miras a que su formación científica se convierta en herramienta para su desarrollo personal, en aras de ir construyendo una ciudadanía planetaria.

## **Bibliografía**

Dalton, J. (1808). *A New System of Chemical Philosophy, Fisrt Part, Chapter III: On Chemical Synthesis*, Manchester (p. 212 from facsimile edition: London, Dawson). Recuperado de: <http://web.lemoyne.edu/~giunta/dalton.html>,

---

<sup>12</sup> Me refiero al autoensamblaje, en cierto contexto celular, de partículas funcionales supramoleculares o la desagregación de éstas, bajo circunstancias diferentes.

Departamento de Ciencias Físicas (Edición de 2004). *Ciencias Físicas. Lecturas clásicas selectas II: El desarrollo de la teoría atómica*. Rafael Ortiz Vega, Mario Lanza Amaro, Plácido Gómez Ramírez, editores. Colección Ciencias Naturales. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras

Departamento de Ciencias Físicas (2004). *Guía de estudios II. Ciencias Físicas: El desarrollo de la teoría atómica*. Rafael Ortiz Vega, editor. Colección Ciencias Naturales. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras.

Herman, E. S. y Chomsky, N. (1988). *Manufacturing Consent: The Political Economy of the Mass Media*. Pantheon Books, New York.

Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*, UNESCO, París.

Morin, E., Ciurana, E. R. y Motta, R. D. (2003). *Educación en la era planetaria*. Editorial Gedisa, Barcelona.

Ríos Orlandi, E. (2008). *La educación general y la formación de capital social en la economía del conocimiento*, ponencia presentada en el Noveno Encuentro Internacional (Vigésimo Encuentro Nacional) de Educación y Pensamiento, abril de 2008, Ponce, Puerto Rico.

Ríos Orlandi, E. (2009). *Galileo y el conocimiento: antecedentes, controversias y política*, en el panel: *El Juicio de Galileo -Acercamientos desde la Ciencia, la Teología y la Política*, Seminario Permanente de Educación General de la Facultad de Estudios Generales de la UPR, San Juan, Puerto Rico.

Ríos Orlandi, E. (2011). *La educación general en el salón de clases de ciencias: la ciencia para todos*, ponencia presentada en el Seminario Permanente de Educación General de la Facultad de Estudios Generales de la UPR, el 29 de abril de 2011, San Juan, Puerto Rico.

Ríos E., Miró G. y García R. (2006) *Avalúo de la Destreza de Pensamiento Crítico en el Estudiante del Programa de Doctorado en Farmacia*, cartel presentado en el 26to Foro Anual de Investigación y Educación: *Nuevos paradigmas de investigación y educación en el sector de la salud*, del Recinto de Ciencias Médicas de la UPR, San Juan, Puerto Rico.