

Análisis exploratorio de la dimensión ambiental en textos universitarios de física básica

Exploratory analysis of environmental dimension in university textbooks of basic physics

Vladimir Moskat^{1*}, Rodrigo Menchon^{1,2}, Andrea Fourty¹, Hugo D. Navone^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250. Rosario, CP 2000, Santa Fe, Argentina.

²Instituto de Física Rosario, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Ocampo y Esmeralda – CP 2000 – Rosario, Santa Fe, Argentina

*E-mail: vmoskat@fceia.unr.edu.ar

Resumen

La problemática ambiental se ha descrito en los últimos años como una Triple Crisis Planetaria, que incluye el Cambio Climático, la Pérdida de Biodiversidad y la Contaminación. Considerando que la física se relaciona tanto con la génesis de los problemas ambientales como con sus soluciones, se plantea desde la Educación Ambiental la necesidad de incluir esta dimensión en la currícula educativa, en particular en las universidades. Por ello, se realizó un análisis exploratorio de la dimensión ambiental en libros de física básica. Por un lado, se analizó la presencia o ausencia de los temas centrales que definen la Triple Crisis Planetaria. Por otro lado, se analizó desde qué perspectiva los autores de los textos estudiados caracterizan a los problemas ambientales y sus soluciones, tomando categorías que surgen del análisis del movimiento ambiental, en particular el ecoeficientismo y las perspectivas críticas. Los temas presentes son principalmente el cambio climático y algunas formas de contaminación. Los textos evidencian ambas perspectivas de la problemática ambiental, tanto la ecoeficientista como la crítica.

Palabras clave: Física Educativa; Educación Ambiental; Triple Crisis Planetaria; Análisis de contenido; Libros de texto.

Abstract

The environmental crisis has been described in recent years as a Triple Planetary Crisis, which includes Climate Change, Biodiversity Loss and Pollution. Considering that physics is related both to the genesis of environmental problems and to their solutions, Environmental Education suggests the need to include this dimension in the educational curriculum, particularly in universities. Therefore, an exploratory analysis of the environmental dimension in introductory physics textbooks was carried out. On the one hand, the presence or absence of the central themes that define the Triple Planetary Crisis was analyzed. On the other hand, the perspective from which the authors of the texts studied characterize environmental problems and their solutions was studied, taking categories that emerge from the analysis of the environmental movement, in particular eco-efficiency and critical perspectives. The subjects present are mainly climate change and some forms of pollution. The texts show both the critical and eco-efficient perspectives on environmental issues.

Keywords: Educational Physics; Environmental Education; Triple Planetary Crisis; Content analysis; Textbooks.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental ha sido caracterizada de diferentes formas a lo largo de los años. Desde una perspectiva de la Ciencia del Sistema Tierra, en los últimos 15 años se han identificado nueve procesos que son críticos para mantener la estabilidad y resiliencia del sistema Tierra como un todo (Rockström *et al.*, 2009). Se han definido así una serie de límites planetarios sobre cada uno de estos procesos que no se deberían traspasar. Estos procesos son: cambio climático, pérdida de biodiversidad, acidificación de los océanos, agujero de ozono, ciclos biogeoquímicos (nitrógeno y fósforo), cambios de uso del suelo, contaminación con aerosoles, contaminación química y cambios en el ciclo del agua. Estudios recientes (Richardson *et al.*, 2023) indican que *“seis de los nueve límites se han transgredido, lo que sugiere que la Tierra se encuentra ahora muy fuera del espacio operativo seguro para la humanidad”* (p.1). Esto indica que existe una imperiosa necesidad de abordar la dimensión ambiental en todos los ámbitos posibles, particularmente en la formación de grado de futuros profesionales.

A su vez, en las discusiones globales que se sucedieron durante los últimos años, se ha vuelto bastante común referirse a la Triple Crisis Planetaria. Con este término paraguas se designa a las crisis combinadas que representan el Cambio Climático, la Pérdida de Biodiversidad y la Contaminación. Cabe señalar que en cada uno de estos tres grandes temas están en cierta medida comprendidos la mayoría de los procesos enumerados anteriormente. Más allá de empezar a hablar de estas tres problemáticas en conjunto, se trata de cuestiones identificadas hace muchos años y que de hecho han sido objeto de una serie de acuerdos e instrumentos globales, tales como: la Convención Marco sobre el Cambio Climático, el Convenio sobre la Diversidad Biológica, y el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, entre otros. El reconocimiento de estos grandes temas en la agenda global tiene más de 20 años (Naciones Unidas, 2012).

La física como disciplina científica tiene relación tanto con la génesis de problemas ambientales como con posibles soluciones. El caso más obvio es el del Cambio Climático causado por el uso de combustibles fósiles. Más del 80% del abastecimiento global de energía proviene de la combustión de petróleo, carbón y gas. La expansión en el uso de los combustibles fósiles va de la mano de la invención de máquinas térmicas y del desarrollo de la termodinámica. A su vez, la física tiene un rol en el despliegue de otras formas de energía, tal como la energía nuclear y las energías renovables. Estas alternativas a los combustibles fósiles también pueden generar impactos ambientales considerables y son objeto de amplios debates.

La cuestión de la energía atraviesa gran parte de las discusiones sobre la crisis ambiental. La sociedad industrial que ha desencadenado la actual crisis ecológica no hubiese sido posible sin el crecimiento exponencial de la disponibilidad de energía a partir de los combustibles fósiles (y en mucha menor medida de las otras fuentes).

Actualmente existe un amplio consenso acerca de que abordar la crisis ambiental requiere de la introducción de la reflexión ambiental en el ámbito educativo. De acuerdo con esta premisa, en nuestro país la Educación Ambiental ha recibido un reconocimiento a partir de la sanción de la Ley para la Implementación de la Educación Ambiental Integral en la República en el año 2021 (Ley 27.621). Dicha ley incluye a las universidades con el propósito de que estas instituciones incorporen la dimensión ambiental en todos sus ámbitos, fundamentalmente en el diseño y desarrollo curricular de sus diversas carreras. Por estos motivos resulta relevante indagar acerca de cómo se forman los y las estudiantes de física, ingeniería y carreras afines, con miras a considerar posibles transformaciones de estos trayectos educativos.

Un elemento central e influyente en la formación es el contenido de los libros de texto de física, por lo que resulta relevante analizar si la cuestión ambiental está presente en ellos y de qué manera. Una revisión de trabajos previos sugiere que es un tema poco estudiado. Se relevan análisis sobre la dimensión ambiental en el ámbito educativo, pero considerando otro tipo de textos: en Navone, Moskat y Fourty (2016) se analizan los diseños curriculares jurisdiccionales de profesorado de física de tres provincias, mientras que en Navone, Niell, Bertoldi, Menchón y Fourty (2020) se analizan artículos publicados en la Revista de Enseñanza de la Física en el período 2015-2019.

Considerando estos antecedentes, en este trabajo nos proponemos analizar la dimensión ambiental en libros de texto de física de nivel universitario, para lo cual hemos escogido algunos de los más utilizados en carreras de física e ingeniería, no sólo en nuestro país, sino también a nivel global. Se trata de una primera exploración que seguramente requerirá de posteriores refinamientos.

Más específicamente, nos proponemos indagar acerca de dos cuestiones complementarias. La primera es relevar los temas que se proponen o se encuentran presentes y, en particular, tomar nota de aquellos que están ausentes o débilmente incluidos. Para ello tomaremos como referencia los tres grandes temas mencionados como parte de la Triple Crisis Planetaria: Cambio Climático, Pérdida de Biodiversidad y Contaminación. La segunda cuestión consiste en indagar e inferir desde qué perspectiva se presentan dichos problemas y sus soluciones. Para ello vamos a considerar

algunas categorías provenientes de los análisis que se han hecho de las corrientes del ambientalismo. Está claro que los autores de un libro de física no son necesariamente parte del movimiento ambientalista, pero al incluir algún problema ambiental o posibles soluciones (como veremos en efecto que ocurre) es importante indagar e inferir si se lo puede asociar a alguna de las perspectivas observadas en el ámbito social.

Martínez Alier (2006) propuso que se pueden distinguir tres corrientes principales en el ambientalismo. La primera está asociada con el “culto a lo silvestre” y se relaciona con el establecimiento de áreas protegidas y la conservación de ambientes naturales y sus especies. Consideramos que esta categoría es poco útil para el presente análisis porque el ámbito de la física está lejos de los debates y disciplinas científicas (por ejemplo, biología de la conservación) vinculados con este ámbito de actuación. La segunda corriente es la de la “Ecoeficiencia”. Desde esta perspectiva se presta atención a los impactos y riesgos ambientales, procurando minimizarlos. Para ello se otorga un rol central a la tecnología como herramienta para reducir el uso de energía y materiales, y el impacto generado. La tercera es el “Ecologismo de los pueblos”, que pone énfasis en las desigualdades tanto sociales como ambientales, cuestiona el crecimiento económico y señala los límites de las tecnologías para resolver los problemas. Por un lado, por considerar que la causa de los problemas ambientales es estructural y su abordaje requiere transformaciones más profundas en el orden social, económico y político; por otro, porque las soluciones tecnológicas pueden terminar generando más daño o problemas insospechados al momento de adoptarlas.

Las categorías temáticas que acabamos de exponer han sido presentadas adaptándolas a los propósitos y temas del presente análisis, omitiendo algunos aspectos que pueden no ser relevantes y destacando otros. La segunda y tercera categoría temática son las que estarán en el foco de este trabajo, y se denominan como: “Ecoeficientista” y “Crítica”.

II. METODOLOGÍA

En este trabajo presentamos un análisis exploratorio de tipo cualitativo basado en el análisis temático de contenido (Gomes, 2012). Para ello partimos de una lista de descriptores (palabras o partes de palabras) que utilizamos a fin de rastrear en los libros de texto secciones o fragmentos relevantes que tengan alguna vinculación con lo ambiental. La lista inicial se fue enriqueciendo a partir de los resultados de búsqueda en un proceso recursivo, buscando captar de la manera más completa posible el contenido de interés.

Los libros de texto analizados en este trabajo son los siguientes: Giancoli (2008), Giancoli (2009), Hewitt (2016), Young y Freedman (2018a), Young y Freedman (2018b), Serway y Jewett (2019a) y Serway y Jewett (2019b). Los pares de libros con los mismos autores son los volúmenes 1 y 2 de dichos textos. En el análisis que sigue varias veces nos referiremos a cada par como si se tratara de un solo libro, con la intención de enfatizar el pensamiento de cada autor, más allá de en qué volumen aparece el contenido estudiado.

Como se mencionó, estos libros son ampliamente utilizados en las carreras de física e ingeniería y en otros campos disciplinares afines. Se buscó analizar las últimas ediciones disponibles y se tuvo en cuenta que la fecha de edición de cada obra haya sido en algún momento de los últimos 20 años. Se considera que en esta ventana de tiempo la problemática ambiental se ha llegado a analizar y delinear lo suficientemente bien (lo cual se manifiesta, por ejemplo, en los acuerdos globales ambientales), como para que pueda ser adecuadamente incorporada en libros de carácter educativo.

III. RESULTADOS

En esta sección, analizamos las temáticas ambientales que se encuentran presentes en los libros de texto, las cuestiones que están ausentes o débilmente incluidas, y se infieren las posibles perspectivas desde las que se consideran los problemas y sus soluciones, basados en las categorías expuestas. Por razones de extensión sólo presentamos los resultados que consideramos más importantes.

A. Temáticas presentes

Se pueden identificar cinco grandes temas que en mayor o menor medida están incluidos en todos los libros.

Cambio climático: en todos hay una explicación del efecto invernadero normal y de su incremento a causa de la acumulación de CO₂ en la atmósfera debido a la quema de combustibles fósiles. Además, se mencionan algunas de las consecuencias, en especial el aumento en el nivel del mar (Giancoli, 2008; Hewitt, 2016; Serway y Jewett, 2019b; Young y Freedman, 2018a).

Energías renovables: este tema aparece en algunos textos de manera más organizada, en otros casos de un modo más fragmentario, y en general se prioriza el tratamiento de temas relacionados con energía solar. También se presentan algunas referencias limitadas a energía eólica, diferentes formas de energía vinculadas al agua y geotérmica. En general, los textos se enfocan más en el uso de estos recursos para la generación de electricidad y en menor medida en el aprovechamiento térmico de los mismos (Giancoli, 2008; Hewitt, 2016; Serway y Jewett, 2019b; Young y Freedman, 2018b).

Reactores de fisión nuclear: además de la descripción general de su funcionamiento, suele haber algún abordaje de las ventajas y desventajas de los reactores. En algunos casos (particularmente Hewitt, 2016 y Young y Freedman, 2018b) se puede interpretar un posicionamiento bastante favorable a la fisión nuclear. Sobre las desventajas o problemas, todos mencionan el accidente de Chernobyl; sólo dos de ellos mencionan el accidente de Three Mile Island (Giancoli, 2009 y Young y Freedman, 2018b) y los tres libros editados posteriormente al accidente de Fukushima mencionan dicho evento (Hewitt, 2016; Serway y Jewett, 2019b y Young y Freedman, 2018b). Además, en todos hay una mención con mayor o menor detalle de los riesgos por la radiación y por el manejo de desechos radiactivos. Entre las ventajas, casi todos los libros (salvo los de Young y Freedman) contienen alguna mención al aspecto climático de reducción de las emisiones de CO₂. Hewitt (2016) y Young y Freedman (2018b) relativizan en cierta medida la producción de radiación de las centrales nucleares argumentando que es mucho menor a la proveniente de otras fuentes, en especial las naturales como el radón; además se establece una comparación con las centrales de carbón sosteniendo que éstas dispersan al ambiente mucho más material radiactivo. Serway y Jewett (2019b), Giancoli (2009) y Hewitt (2016) contienen alguna mención a la disponibilidad limitada de uranio. Hewitt (2016) y Giancoli (2009) describen a los reactores reproductores como posibilidad para extender la disponibilidad de combustible nuclear, aunque señalan algunos problemas en su desarrollo.

Reactores de fusión nuclear: todos contienen alguna presentación de los esfuerzos que se están realizando para lograr un reactor de fusión controlada junto con los métodos principales de confinamiento. Las exposiciones van desde la descripción de sus aspectos técnicos, la enumeración de ventajas y posibles problemas, a la valoración personal sobre la posibilidad de concretar este tipo de desarrollo (Giancoli, 2009; Hewitt, 2016; Serway y Jewett, 2019b; Young y Freedman, 2018b).

Daños por radiación: todos los libros incluyen una sección específica sobre efectos biológicos de la radiación y, en general, comentarios adicionales en otras secciones. Se suele ofrecer una descripción cualitativa de los efectos de distintos tipos de radiación, mencionar las fuentes principales de radiación, algunos valores de referencia y las unidades utilizadas para cuantificar la dosis absorbida y la dosis equivalente. El foco está en las radiaciones alfa, beta y gamma y en los rayos X, mencionando también en varios casos otras partículas. En Serway y Jewett (2019b) también se mencionan los efectos de la radiación UV. Serway y Jewett (2019b) y Young y Freedman (2018b) contienen referencias bastante aisladas de los estudios en curso sobre los efectos de las radiaciones no ionizantes, en el contexto de problemas para resolver.

A continuación, haremos algunos comentarios adicionales sobre particularidades de cada uno de los libros de texto, ampliando lo dicho sobre estos cinco temas y sumando otras cuestiones incluidas.

Giancoli (2008) contiene una sección específica sobre “Contaminación térmica, calentamiento global y recursos energéticos”. Sin embargo, el cambio climático es descrito sin mayores detalles, en términos de “calentamiento global”. Sobre los recursos energéticos presenta una tabla comparativa de ventajas y desventajas de distintas fuentes, centrado en energía eléctrica, aunque también habla de calentamiento solar “pasivo” y “activo” (uso térmico). Entre las energías renovables, incluye además de solar en sus diferentes variantes, eólica, geotérmica e hidráulica, presentando también algunos ejercicios. Sobre fisión nuclear, además de lo ya dicho, menciona cuestiones económicas, diciendo que es “relativamente barata” (su operación) pero que las plantas tienen una vida útil acotada y altos costos de clausura. No minimiza los riesgos, aunque sí establece que hay que comparar con otras fuentes de energía (Giancoli, 2009). Sobre la fusión nuclear, con relación al proyecto del Reactor Experimental Termonuclear Internacional (ITER), dice: “Se espera que el ITER quede terminado e inicie operaciones en 2016” (Giancoli, 2009, p. 1146). Sobre daños por radiación, si bien menciona que hay fuentes naturales y artificiales, tiene un enfoque más precautorio. En este sentido enuncia: “Se cree que incluso dosis bajas de radiación aumentan las posibilidades de contraer cáncer o de provocar defectos genéticos; no hay un nivel seguro o umbral para la exposición a la radiación” (Giancoli, 2009, p. 1149). Además de ello considera especialmente la situación en entornos laborales de alta exposición.

Además de los temas anteriores se observan inclusiones muy aisladas de otras cuestiones, tales como: uso de la energía y eficiencia en hogares, utilización de corrientes parásitas para separar residuos y contaminación por esmog. El texto de Hewitt (2016) contiene numerosas referencias sobre la cuestión ambiental, considerablemente más que los otros textos. Posiblemente el hecho de priorizar un enfoque conceptual sobre uno más técnico-instrumental

centrado en ecuaciones y cálculos favorece este tipo de inclusiones. Muchos de estos temas no se pueden abarcar completamente con las leyes y ecuaciones que cada campo de la física básica ofrece, por lo que un enfoque más cualitativo puede ayudar a darles lugar. Sobre Cambio Climático, al que dedica una sección específica, señala el "consenso científico" sobre este problema y enumera consecuencias varias como enfermedades, perturbaciones en la agricultura, aumento del nivel del mar y eventos climáticos. Contiene una sección sobre fuentes de energía en la que destaca varias formas de energías renovables en especial la solar, pero también eólica, geotérmica y del movimiento de agua. Se menciona también la posibilidad del hidrógeno para almacenar energía. Sobre reactores de fisión hay dos cuestiones notables a agregar. Por un lado, sugiere que el rechazo público está originado en el desconocimiento, sobre todo ocasionado por las armas nucleares y accidentes como el de Chernobyl. Por otro, expresa cierto optimismo en que eventualmente los desechos radiactivos dejarán de ser un problema (Hewitt, 2016, pp. 644-645). Acerca de los reactores de fusión nuclear es cauteloso sobre la posibilidad de desarrollarlos: *"el pronóstico (...) en el futuro previsible es desalentador"* (Hewitt, 2016, p.652). En cuanto a los daños por radiación argumenta que la mayor parte proviene de fuentes naturales.

Además, esta obra contiene algunas referencias y ejercicios de manera muy dispersa sobre la eficiencia en el uso de la energía, en particular sobre el aprovechamiento del calor en las plantas de producción de energía eléctrica. Sobre el uso de recursos contiene una sección completa en la que plantea los problemas de tasas de crecimiento constantes en un ambiente finito; en este marco problematiza acerca del crecimiento en el consumo de energía y los límites de "producción" de recursos no renovables. Por otro lado, destaca en muchos lugares los beneficios de las tecnologías y la necesidad de aceptar ciertos riesgos si queremos contar con sus beneficios.

Young y Freedman (2018a) tiene una sección específica sobre "Radiación, clima y cambio climático", en la que expresa con contundencia la gravedad del problema: *"El aumento de temperatura resultante tendrá efectos dramáticos en el clima de todo el mundo. (...) Hacer frente a estas amenazas es uno de los mayores desafíos que tiene ante sí la civilización del siglo XXI"* (2018a, p. 571). Vuelve sobre este tema en la presentación de espectros moleculares, comentando sobre la capacidad del CO₂ de absorber radiación infrarroja a partir de sus modos de vibración (Young y Freedman, 2018b). El tratamiento del tema energías renovables es limitado y más bien disperso, apareciendo en el texto principal, en problemas y figuras. Casi todas las inclusiones son de energía solar, principalmente fotovoltaica. Se suman menciones aisladas a turbinas eólicas o plantas hidroeléctricas. También se menciona la energía maremotérmica (sólo desarrollada en la actualidad con proyectos piloto, teniendo aún muchos desafíos técnicos). En algunos pocos problemas y ejercicios se presentan cuestiones ambientales como contexto (en particular sobre energías renovables) pero sin ninguna relevancia para el problema, que, si bien podría ser una manera interesante de darle presencia a la cuestión ambiental, es un recurso usado pocas veces. Sobre fisión nuclear, relativiza en buena medida los riesgos por radiación, al compararla con otras fuentes, en particular las naturales, aunque reconoce el impacto de los accidentes en las comunidades locales. El tema de los desechos radiactivos apenas es mencionado una vez, aunque nombrándolo como un *"grave problema"* (Young y Freedman, 2018b, p. 1462). Sobre la posibilidad de la fusión nuclear, presenta un panorama cauteloso (Young y Freedman, 2018b, p. 1472). En cuanto al daño por radiación, menciona el tema de la radiación no ionizante como contexto en algunos problemas sobre radiación electromagnética (Young y Freedman, 2018b, pp. 1076-1077).

Aparecen además algunos temas aislados sin demasiado desarrollo, como precipitadores electrostáticos y el análisis de espectros de rayos X desde satélites para monitorear contaminación del aire (Young y Freedman, 2018b, pp. 781 y 1395).

En Serway y Jewett (2019b) se presenta el tema del cambio climático en el contexto del análisis de la interacción entre moléculas y radiación y los espectros moleculares. Se menciona el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y el Acuerdo de París. Llamativamente expresa que *"no todos los científicos están de acuerdo en la interpretación de lo que significa el cambio [de concentración de CO₂ en la atmósfera] en términos de las temperaturas globales"* (Serway y Jewett, 2019b, p. 1155). Entre las energías renovables se desarrolla principalmente la energía solar (en el texto principal y en problemas), destacando su potencial y sus limitaciones, en especial la fotovoltaica. También se comenta la posibilidad de la energía maremotérmica. Sobre fisión nuclear contiene un apartado sobre "Seguridad y eliminación de desechos", describiendo con cierta extensión los accidentes de Chernobyl y Fukushima, reconociendo los riesgos de esta forma de generación de energía, a la vez que algunas ventajas. Sobre la fusión nuclear, describe con cierto detalle sus posibilidades, así como sus ventajas y problemas. En cuanto a daños por radiación, menciona la mayor exposición a radiactividad en algunos ámbitos laborales, incluye los problemas de la radiación UV, medidas de prevención y el rol de la capa de ozono. También sugiere que puede haber daños por campos oscilantes de baja frecuencia (radiación no ionizante).

Además, la obra analizada contiene comentarios y problemas bastante dispersos sobre temas vinculados con uso de energía y eficiencia, en construcciones, iluminación y medios de locomoción. En algunos problemas se habla de

contaminación térmica por plantas de energía. Se aborda también el problema de la contaminación acústica. También aparecen algunos temas como contexto o motivación, por ejemplo: celdas de combustible de hidrógeno para automóviles, molinos eólicos, turbinas hidroeléctricas, entre otros. En algunos pocos problemas se presentan cuestiones ambientales como contexto.

B. Temas ausentes o débilmente incluidos

Tal como fuera expuesto, para realizar este análisis utilizaremos como grandes categorías temáticas las definidas en la denominada Triple Crisis Planetaria: Cambio Climático, Pérdida de Biodiversidad y Contaminación.

Si bien todos los libros incluyen el tema del Cambio Climático, tanto la presentación del problema como de sus soluciones se limitan a la cuestión de los combustibles fósiles y la discusión de otras fuentes de energía. Por un lado, tiene un lugar limitado el abordaje de los modos de uso de la energía: tal como se fue comentando, este tema aparece de modo fragmentario y en algunos textos está bastante ausente. Asimismo, la presentación de las distintas formas de energías renovables ocurre de modo disperso, salvo en algunos textos que contienen alguna sección específica, particularmente en Giancoli (2008) y en Hewitt (2016). Por otro lado, no se halló ningún indicio acerca de la relación entre cambio climático y deforestación, es decir la pérdida de sumideros de carbono.

En línea con esto último, no se encontraron comentarios sobre la Pérdida de Biodiversidad, uno de los tres ejes de la Crisis Planetaria. Es claro que este tema disciplinariamente se encuentra lejos de la física, lo que no impediría igualmente alguna mención.

En cuanto al problema de la Contaminación, se puede observar que principalmente se aborda la cuestión de la radiación, de los desechos nucleares y la contaminación térmica; pero no se encuentran referencias a la radiación UV y radiación no ionizante. Existen muchas otras formas de contaminación que se exponen de manera muy limitada; por ejemplo, sobre contaminación química sólo se observan algunas menciones a contaminación del aire debida a los combustibles fósiles. Quedan casi sin tratamiento: la cuestión de los residuos sólidos, la contaminación por sustancias químicas, la dispersión de efluentes y el deterioro del agua dulce y marina, entre otros (United Nations Environment Programme, 2017).

Finalmente, cabe resaltar que cuando se aborda el tema de la producción de energía (muy vinculado en particular con el Cambio Climático), el tratamiento se concentra en la producción de electricidad siendo que, paradójicamente, ésta conforma apenas en torno al 20% del consumo energético mundial. También se detecta en algunos casos un sesgo sobre la valoración del aporte nuclear. Por ejemplo, Hewitt plantea que *“alrededor de 20% de la energía eléctrica en Estados Unidos es generada por reactores de fisión nuclear”* (2016, pp. 644-645). Mientras que Young y Freedman enuncian: *“casi toda nuestra energía proviene de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y de reacciones nucleares”* (2018a, p. 649), sin mencionar el hecho de que, a nivel global, el aporte de la fisión nuclear es de menos del 6% de la energía, muy lejos del peso que tienen los combustibles fósiles que totalizan más del 80% de la matriz energética primaria.

C. Perspectivas ecoeficientistas y críticas

Para poder establecer alguna relación entre la mirada de los autores y las perspectivas ecoeficientistas y críticas, se consideró cómo en estos textos se concibe a la tecnología con relación a su rol para resolver o eventualmente ocasionar problemas ambientales, y en si se considera que en el abordaje de esta problemática es necesario contemplar aspectos más amplios de la sociedad.

El texto que tiene una perspectiva más explícita es, sin lugar a duda, el de Hewitt (2016). Por ejemplo, expresa que:

La tecnología es un arma de doble filo que puede ser tanto útil como dañina.(...) Es tentador culpar a la propia tecnología de problemas como la contaminación, el agotamiento de recursos e incluso la sobrepoblación. Sin embargo, dichos problemas no son culpa de la tecnología, más que la lesión de un arma es culpa del arma. Son los seres humanos quienes utilizan la tecnología, quienes son responsables de cómo se usa. (...) Vale la pena remarcar que ya se cuenta con la tecnología para resolver muchos problemas ambientales.(...) La promesa de la tecnología es un mundo más limpio y sano. Las aplicaciones sabias de la tecnología pueden conducir a un mundo mejor. (Hewitt, 2016, pp. 14-15)

Aquí, como en otras secciones, se observa que hay una fe importante en la tecnología, incluso aceptando sus riesgos como más arriba se comentó. Este optimismo tecnológico se puede ver en algunos temas específicos. Veamos dos ejemplos. Uno, en la confianza en que se pueda resolver el problema de los residuos radiactivos: *“Existe la posibilidad de que los desechos nucleares no importunen a las generaciones futuras de manera indefinida, como suele pensarse”*

(p. 644). Otro, en la introducción de tecnologías que se encuentran hace mucho sin lograr superar desafíos técnicos, como los generadores magnetohidrodinámicos (MHD): *“La energía MHD de baja contaminación ya se usa en algunos lugares del mundo. Espera un poco, quizás verás más energía de plasma con MHD”* (p.277).

Dicho lo anterior, recordemos que el autor aborda y problematiza la cuestión del crecimiento (económico, de uso de recursos). Respecto de los riesgos tecnológicos, reconoce que muchas veces se detectan tardíamente (p. 14). Las perspectivas presentadas no son excluyentes, por lo que podemos conjeturar que el autor se encuentra más cerca de una perspectiva ecoeficientista, aunque presente también cierta mirada crítica.

Un registro distinto de estos temas se observa en Giancoli (2009) que plantea que *“la solución a las necesidades energéticas del mundo no sólo es tecnológica, sino también de carácter económico y político”* (p. 1140).

Por su parte en Serway y Jewett (2019b) se incluyen otros elementos. Por ejemplo, sobre el cambio climático se menciona el Acuerdo de París, y cuando refiere a este tema dicen:

Además de sus aspectos científicos, el calentamiento global es un problema social con muchas facetas. Estas facetas abarcan la política y la economía internacional, porque el calentamiento global es un problema mundial. Cambiar nuestras políticas requiere costos reales para resolver el problema. El calentamiento global también tiene aspectos tecnológicos, y los nuevos métodos de fabricación, transporte y suministro de energía deben diseñarse para desacelerar o revertir el aumento de la temperatura. (Serway y Jewett, 2019b, p.1155)

En los textos de Giancoli (2008, 2009), como de Serway y Jewett (2019a, 2019b), no aparecen otras valoraciones como las comentadas. En general, la mirada sobre las tecnologías no explicita un optimismo comparable al que se observa en Hewitt (2016). No hay elementos suficientes para ubicar a Giancoli (2008, 2009) y a Serway y Jewett (2019a, 2019b) en alguna perspectiva, aunque las opiniones citadas puedan corresponderse más con una mirada crítica. Finalmente, no encontramos en los libros de Young y Freedman (2018a, 2018b) valoraciones explícitas sobre estas cuestiones.

IV. CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado, estamos en condiciones de afirmar que la inserción de la cuestión ambiental se presenta asumiendo y combinando distintas modalidades: 1) la inclusión de secciones específicas focalizadas en una temática; 2) la transversalización de las temáticas en el desarrollo de contenidos disciplinares; 3) el planteo de problemas en donde se debe resolver algún ejercicio de física vinculado al tema ambiental; 4) la propuesta de problemas, donde lo ambiental aparece como contexto o presentación, pero en donde el ejercicio a resolver no tiene mucha vinculación; y 5) como motivación, por ejemplo al inicio de capítulos.

Veamos algunos ejemplos: 1) El cambio climático o las distintas fuentes de energía (entre ellas las renovables) aparecen como secciones específicas en algunos textos (por ejemplo en Hewitt, 2016, y Giancoli, 2008); 2) en el marco del contenido disciplinar de espectros moleculares se introduce el cambio climático (Young y Freedman, 2018b); 3) problemas en donde se calcula la energía proveniente del Sol que puede generar con determinada superficie, como la de un auto o techo, relacionándolo con el consumo (Serway y Jewett, 2019a); 4) problemas en donde se introduce un vehículo alimentado por energía solar, pero donde luego se hace algún cálculo de cinemática (Young y Freedman, 2018a); 5) como motivación para un capítulo sobre la ley de Faraday se habla de una visita a un parque eólico, plantando algunas preguntas que luego serán retomadas (Serway y Jewett, 2019b).

Los temas referidos como la Triple Crisis Planetaria tienen inclusiones muy desiguales. Las categorías analíticas que más se encuentran presentes son el Cambio Climático y algunos contenidos que pueden agruparse en Contaminación, tales como: radiación y desechos nucleares. En cuanto a los temas que sí aparecen, una cuestión a señalar es que en muchos casos se exponen de modo disperso (por ejemplo, energías renovables en algunos casos y formas de uso de la energía), posiblemente dificultando su incorporación en los contenidos a desarrollar en un curso de física. Sobre el abordaje de la cuestión de la energía en general se pueden observar ciertos sesgos y ausencias, tal como fue analizado en la sección III.B.

En los textos estudiados se evidencian distintas aproximaciones en torno a cómo valorar el rol de las tecnologías y su relación con una discusión más amplia de los aspectos sociales, económicos y políticos de los problemas ambientales, que van desde una mirada más optimista acerca del rol de la tecnología (perspectiva ecoeficientista) a consideraciones más ancladas en una perspectiva crítica, aunque, en general, los posicionamientos explícitos son limitados en la mayoría de los textos.

Finalmente, con el fin de ampliar las posibilidades de trabajo educativo en torno a la dimensión ambiental, es posible que la inclusión de un abordaje más conceptual y cualitativo en diversas temáticas permita enriquecer su tratamiento

sin desdibujar aquello que se suele considerar como contenidos estrictos y específicos de la física. Esto podría hacerle un lugar a aquellos temas y problemáticas ambientales que se encuentran ausentes, además de permitir una problematización más significativa de los que sí se encuentran presentes. En este sentido, consideramos que la elaboración de dispositivos, materiales y recursos propios, que incorporen las problemáticas mencionadas y las perspectivas de trabajo expuestas, además de otras posibles, resulta una tarea ineludible frente a un presente complejo y un futuro incierto en materia ambiental. El estudio que aquí presentamos, justamente, es un análisis exploratorio necesario que esperamos nos permita continuar con una etapa de profundización en esta línea de investigación.

REFERENCIAS

- Giancoli, D. (2008). *Física para ciencias e ingeniería - Volumen 1 (4ta ed.)*. México: Pearson Educación.
- Giancoli, D. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna - Volumen 2 (4ta ed.)*. México: Pearson Educación.
- Gomes, R. (2012). Análisis e interpretación de datos de investigación cualitativa. En C. Souza Minayo, *Investigación social: teoría, método y creatividad* (85-114). Buenos Aires: Lugar.
- Hewitt, P. (2016). *Física conceptual (12va ed.)*. México: Pearson Educación.
- Ley 27621 de 2021. Para la Implementación de la Educación Ambiental Integral en la República Argentina. Fecha de publicación 03/06/2021. Recuperado de <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/245216/20210603>
- Martínez Alier, J. (2006). *El Ecologismo de los pobres (2da ed.)*. Barcelona, España: Icaria.
- Naciones Unidas (2012). *La sostenibilidad del desarrollo a 20 años de la cumbre para la tierra. Avances, brechas y lineamientos estratégicos para América Latina y el Caribe*. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e1f6be1d-0b2c-4710-bcbe-3bb2000f079e/content>
- Navone, H.D., Moskat, V. y Fourty, A. (2016). Análisis exploratorio sobre la presencia de contenidos de física ambiental en los diseños curriculares jurisdiccionales de profesorado en física. *Ciencia y tecnología 2016: divulgación de la producción científica y tecnológica de la UNR (1730-1737)*. Rosario: UNR Editora. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario. Recuperado de https://www.fceia.unr.edu.ar/~puf/FisicaEducativa/Trabajos2016/JorCyT_IX_UNR_FisiAmbDCJs.pdf
- Navone, H. D., Niell, L., Bertoldi, M., Menchón, R. y Fourty, A. L. (2020). La cuestión ambiental en la Revista de Enseñanza de la Física (2015-2019). *Revista De Enseñanza De La Física*, 32, 271–278.
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., Donges, J.F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Weber, L. y Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37),1-16. doi: 10.1126/sciadv.adh2458
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sorlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2): 32. Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Serway R. y Jewett J. (2019a). *Física para ciencias e ingeniería 1 (10va ed.)*. México: Cengage Learning.

Serway R. y Jewett J. (2019b). *Física para ciencias e ingeniería 2 (10va ed.)*. México: Cengage Learning.

United Nations Environment Programme (2017). *Towards a Pollution-Free Planet Background Report*. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/21800/UNEA_towardspollution_long%20version_Web.pdf

Young H. y Freedman, R. (2018a). *Física universitaria con física moderna 1 (14va ed.)*. México: Pearson Educación.

Young H. y Freedman, R. (2018b). *Física universitaria con física moderna 2 (14va ed.)*. México: Pearson Educación.