

LA LUZ COMO FLUIDO

CAMINO, NÉSTOR

Complejo Plaza del Cielo – CONICET-FHCS UNPSJB
nestor.camino@speedy.com.ar

RESUMEN

Se presentan resultados y reflexiones sobre un experimento mental relacionado con la naturaleza de la luz, propuesto a estudiantes y profesores de diferentes edades, en funciones de planetario, clases universitarias y talleres de formación docente. El experimento requería imaginar una esfera metálica, en cuyo interior había una fuente puntual de luz blanca, sobre la cual se perforaron pequeños agujeros, discutiendo de qué manera variaría la intensidad de la luz proyectada sobre una pantalla por uno de esos agujeros, si se modificara la cantidad de agujeros en la esfera. Varias de las respuestas recogidas podrían interpretarse como si la concepción sobre la luz fuera la de una sustancia material, específicamente un fluido. Luego de citar modelos históricos y trabajos de investigación en educación que refieren a tal concepción, se analizan algunas situaciones físicas reales relacionadas con el experimento propuesto, discutiéndose sus implicaciones didácticas. Las conclusiones del presente trabajo, aunque significativas para el contexto en el que se desarrolló, son necesariamente insuficientes y muestran la importancia de profundizar en estudios similares sobre las distintas concepciones sobre la luz, ya no en sus aspectos clásicos (color, propagación, formación de imágenes, visión, sombras, etc.) sino en lo que respecta a su naturaleza más profunda.

Palabras clave: naturaleza de la luz, concepciones, fluido, didáctica de la astronomía, situaciones reales.

INTRODUCCIÓN: LOS ORÍGENES DEL PRESENTE TRABAJO

El trabajo presentado tiene sus raíces en dos acciones muy diferentes, ambas con muchos años de desarrollo: la primera, sucede en el Planetario de Esquel; la segunda, en una cátedra universitaria de Física para futuros biólogos. En ambos casos, la luz ha sido protagonista desde siempre, no sólo por estudiar sus efectos sino por la búsqueda de desvelar y comprender cuáles son las concepciones que sobre su naturaleza tienen quienes están aprendiendo.

Planetario con sistema de proyección por agujeros

El Planetario del Complejo Plaza del Cielo (Figura 1) fue inaugurado el 17 de mayo de 1995. El equipo (EX3) fue donado por la empresa GOTO de Japón, manteniéndose desde entonces un plan de trabajo sistemático con funciones semanales para escuelas y público en general. El sistema de proyección es muy sencillo, pero altamente confiable y de buena calidad.



Figura 1

- a: Planetario de Esquel. b: Planetario funcionando.
c: Detalle de la esfera metálica con los agujeros/estrellas de la Cruz del Sur.
d: Detalle de la proyección del campo estelar de la Cruz del Sur.

El proyector consiste en dos semiesferas metálicas (hemisferio Sur y hemisferio Norte celestes), en cuyo interior hay pequeñas lámparas; ambas semiesferas están unidas, ubicándose en sus bordes un anillo de goma sobre el cual acciona el motor que posibilita simular el movimiento diurno. En la esfera existen aproximadamente 500 agujeros de distintos tamaños, a través de los cuales pasa la luz de las lámparas, proyectándose sobre la cúpula el mismo número de estrellas, cuya apariencia es la de círculos de luz. Los diámetros de los discos de luz que representan a las estrellas están codificados por brillo: a mayor diámetro mayor brillo (menor magnitud) y viceversa, incluyéndose aproximadamente las estrellas más brillantes hasta magnitud visual +4, de todo el cielo.

A lo largo de los centenares de funciones desarrolladas, hemos ido recogiendo preguntas y comentarios sobre las características del brillo de las estrellas proyectadas, muchos de los cuales refieren a que el brillo de cada una de las estrellas sobre la cúpula está relacionada/determinada por la cantidad de agujeros del proyector. Es decir, el brillo superficial de un disco estelar particular, visible sobre la pantalla del Planetario, podría variar si hubiera menos agujeros abiertos en la esfera metálica (o si hubiera más). Se vincula el brillo de cada círculo de luz, producido por la proyección del haz de luz que pasó por el agujero correspondiente, con la existencia de todos los demás agujeros. A pesar de que también se tome en cuenta el tipo de lámpara que haya en el centro de la esfera, la distancia de los agujeros a la pantalla y el diámetro de cada agujero, muchas personas (de todas las edades) asignan como causa principal para el brillo final de cada círculo a la existencia de los demás.

Luz para biólogos

Desde hace ya treinta años, trabajamos en la cátedra de Física II (Electromagnetismo y Óptica), del Ciclo Básico de la Licenciatura en Ciencias Biológicas (FCN, UNPSJB Sede Esquel). Desde siempre, hemos intentado hacer fuerte énfasis en la relación de la luz con los distintos aspectos que hacen al ecosistema terrestre, con el fin de que los futuros biólogos tengan en su formación elementos que les brinden una visión de mundo integradora y más amplia en cuanto a las relaciones espaciales, temporales, energéticas, entre otras, de la vida en la Tierra, y potencialmente en otros ecosistemas, con las distintas características de la luz.

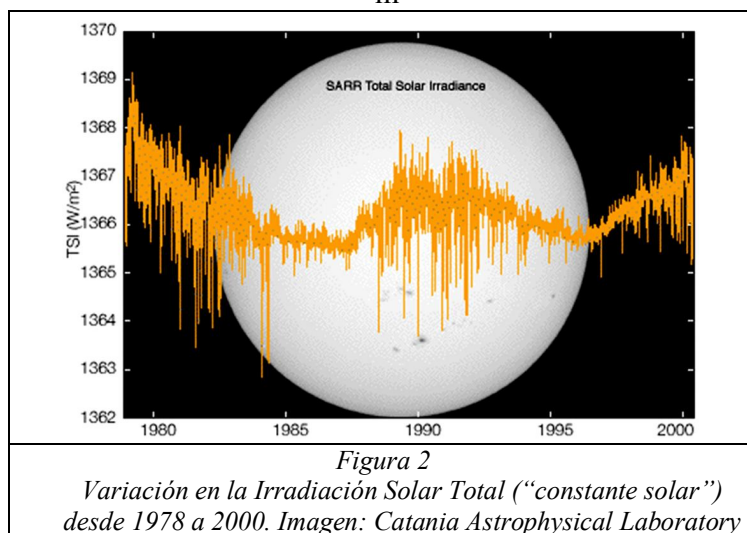
Un ejercicio ya tradicional es estimar la cantidad de energía que recibe la Tierra a través de la luz solar que incide sobre nuestro planeta, definiendo luego la “constante solar”, y discutir qué sucede con la energía que, también proveniente del Sol, no interactúa con este planeta.

El cálculo es relativamente sencillo y requiere de geometría, proporcionalidad e imaginación tridimensional. La secuencia didáctica en general consiste de los siguientes puntos:

- Asumir que la Tierra es esférica, con un radio de 6.400 km, y que sólo una mitad recibe luz solar en cada instante. Considerar luego a la semiesfera iluminada como un disco del mismo diámetro, y calcular su superficie: $S_{\text{Tierra}} \approx \pi(6.400 \text{ km})^2 \approx 128.679.63 \text{ km}^2$.
- Asumir que la órbita terrestre es una circunferencia, con un radio de 150.000.000 km, y estimar la superficie de una esfera del mismo radio: $S_{\text{Órbita}} \approx 4\pi(150.000.000 \text{ km})^2 \approx 282.743.338.823.081.391 \text{ km}^2$.
- Calcular entonces cuál es la relación entre la superficie del disco terrestre con la superficie de la esfera orbital: $\frac{S_{\text{Tierra}}}{S_{\text{Órbita}}} \approx \frac{128.679.63 \text{ km}^2}{282.743.338.823.081.391 \text{ km}^2} \approx 4,6 \cdot 10^{-10}$.
- La relación de las respectivas superficies posibilita tomar conciencia de que de la enorme cantidad de energía que instantáneamente se propaga a través de la luz solar en una esfera de radio igual a la distancia media Tierra-Sol, se transfiere a nuestro planeta sólo una mínima porción, la que expresa ese número tan pequeño: $0,00000000046 (4,6 \cdot 10^{-10})$.

- Se introduce aquí la denominada “constante solar”, que expresa la cantidad de energía que llega a través de la luz del Sol, a una superficie unidad en cada segundo, ubicada fuera de la atmósfera terrestre, sobre el Ecuador. La “constante solar” (Irradiación Solar Total, simbolizada con la letra “F”) no es en realidad una constante, ya que depende del funcionamiento del Sol (tanto en sus ciclos periódicos como en sus permanentes e impredecibles eventos) y de la siempre variable distancia entre la Tierra y el Sol (Figura 2).

Su valor promedio se toma como: $f = 1361 \frac{W}{m^2}$ (NASA, Climate and Radiation, 2015).



- Dado que este parámetro, la “constante solar”, es un indicativo de la energía disponible, en todo el espectro, por el planeta Tierra, la cual condiciona luego todos los demás procesos que en particular estudia la Biología (clima, fotosíntesis, evolución, etc.), es en este momento en que cabe la pregunta: ¿cuántos planetas idénticos a la Tierra podrían ubicarse en la esfera de radio Tierra-Sol, recibiendo entonces la misma cantidad de energía (es decir, con la misma “constante solar”)? Tomando la inversa de aquel número tan pequeño, llegamos a una cantidad enorme: 2.197.265. 625 planetas. Es decir, si supusiéramos “resueltas” todas las cuestiones dinámicas (gravitatorias, etc.) y pudiéramos ubicar planetas idénticos a la Tierra uno al lado del otro hasta cubrir toda la esfera de radio 1 ua (la unidad astronómica, ua, es la distancia media Tierra-Sol, 149.597.870,700 km), podrían coexistir más de dos mil millones de ecosistemas, todos con el mismo valor de la “constante solar”.
- Sin embargo, a través de estos muchos años de trabajo con estudiantes de Biología (como así también en muchos talleres de formación docente, con maestros y profesores), casi todos se sorprenden de este resultado, y discuten, algunos enfáticamente, sobre la “competencia” por la energía disponible entre estos millones de planetas contiguos. Es decir: cuesta imaginar que si existieran otros planetas idénticos al nuestro, contiguos, la energía disponible por el ecosistema terrestre no se vería afectada en lo más mínimo. Se expresa que, quizás, habría menos energía disponible, cada vez menos cuantos más planetas hubiera en la región para “compartir” la energía que llega del Sol.

En las situaciones descriptas, el razonamiento de que la existencia de más o menos agujeros por donde pasa la luz proveniente del interior de una esfera metálica afectaría a la intensidad luminosa de la luz proyectada por cada uno de ellos, o la posible competencia entre planetas contiguos por la luz solar, podría estar remitiendo a una concepción sobre la luz como una sustancia material, como un fluido más específicamente. Tal posibilidad no es extraña, ya que tanto en la Historia (culturas, religiones, ciencia, conocimiento de sentido común) como en los estudios relativamente actuales sobre concepciones sobre la luz, pueden rastrearse modelos asociados a la luz como fluido.

LA LUZ COMO FLUIDO EN LA HISTORIA Y EN LAS IDEAS DE LA GENTE

Desde la más lejana antigüedad, las imágenes y/o modelos con que se han representado la gran mayoría de fenómenos reconocidos como de gran importancia por los distintos pueblos de la Humanidad, han estado relacionados con la idea de un fluido: desde los aspectos espirituales, trascendentales, religiosos, míticos (Park, 1999; Zajonc, 1995), hasta la electricidad, la energía, el calor, el fuego, el éter (Holton *et al.*, 2004), y por supuesto la luz (Ronchi, 1970; Cantor, 1983).

Es de suponer que la metáfora de la luz como fluido deviene inicialmente del agua y su movimiento: ríos, crecidas. Según Happel (2002), y ya siglos después, muchos quienes aún sostenían esta imagen estaban relacionados con la Revelación cristiana y enfatizaban la dimensión “espiritual” de la luz; en especial, cabe destacar el rol de la luz en las Escrituras judeo-cristianas y la importancia de Cristo como “luz del mundo” y la imagen de la vida emanando de Dios como flujo de agua en un proceso dador de vida.

En lo que respecta a concepciones sobre la luz más cercanas a lo que hoy denominamos científico, desde siglos antes de Cristo y a través de toda la Historia existieron dos fuertes concepciones: la corpuscular y la ondulatoria, con sus diversas características y variantes. Sin embargo, hubo una tercera concepción (Cantor, *op. cit.*): la luz como una sustancia, un fluido material extremadamente delicado, muy rápido y sutil, en general denominado *lumen*, que tuvo un papel fundamental en particular para Francesco María Grimaldi (1618-1663), tal como lo presenta Vasco Ronchi (1970), cuya teoría dialogaba/confrontaba contemporáneamente con las ideas de Descartes, Huygens y el joven Newton.

Más allá de que la teoría de la luz como sustancia y fluido fue abandonada hacia fines del Siglo XVIII y principios del Siglo XIX, muchas de sus imágenes perduran: aún seguimos denominando *fuentes* de luz al Sol y a una lamparita, y la “constante solar” aún se calcula como un *flujo* del vector de Poynting (Jenkins *et al.*, 1976), entre muchos otros ejemplos de la ciencia actual y del sentido común de todos nosotros.

A partir de la década de 1970, cuando comienzan los estudios sistemáticos sobre concepciones acerca de los distintos conceptos propios de las disciplinas científicas actuales, en especial la Física, se reportan en la bibliografía específica algunas ideas de chicos sobre la luz: en especial cabe mencionar la serie de trabajos de Guesne, sintetizados en el ya clásico libro sobre ideas de chicos y adolescentes en distintas áreas de la ciencia (1989). En esa publicación, Guesne presenta algunas ideas de chicos que describen a la luz como si fuera una sustancia que puede “doblar los obstáculos”, parecido a como lo hace el agua.

Reiner (1987) trabaja con chicos de 12/13 años, quienes pareciera que conceptualizan a la luz como una corriente de líquido de algún tipo. A su vez, Reiner *et al.* (2000) comentan que los estudiantes que son capaces de diferenciar a la luz tanto de la fuente como del receptor, muestran sin embargo cierta tendencia a considerarla de naturaleza material. Estos hallazgos se repiten en la edad adulta: Smith (1987) trabaja con maestros de escuela primaria quienes explican la luz y las sombras desde una concepción material. Reiner *et al.* (*op. cit.*) concluyen que estas ideas pueden tener su origen en el esfuerzo por utilizar modelos del mundo macroscópico, material, con la luz, lo que hace que ésta finalmente tenga asociadas, entre otras, las siguientes características: *la luz fluye y puede estar en reposo; la luz se mezcla como si fuera un líquido*. Slotta *et al.* (1995) analizan en profundidad algunas consecuencias de la utilización por parte de expertos y novicios de una ontología como sustancia para la luz y otros conceptos.

ALGUNAS IDEAS RECABADAS EN NUESTRO ESTUDIO

Se presentan a continuación algunos extractos, pocos pero representativos, recogidos a partir de diálogos, textos y dibujos, comentarios informales, etc., en la situación propuesta antes descripta: cómo variaría la intensidad de luz proyectada por un agujero de la esfera metálica si se modificara (disminuyera) el número de agujeros total por los cuales pasa luz. Los nombres indicados son falsos, no así el género, la edad y su actividad.

En la gran mayoría de los casos, la situación inicial se imagina adecuadamente, analizándose los efectos de variables tales como el diámetro de los agujeros, la intensidad de la lámpara interna, la propagación rectilínea de la luz, y la distancia de la esfera a la pantalla:

- “...lo que se vería son esos pequeños agujeritos ya que la parte que no tiene agujeros no se proyectaría, quedaría una esfera más grande con sus mismos agujeros, sería una imitación de la esfera más pequeña. ... Sería una luz con menos intensidad ya que la luz al expandirse va perdiendo intensidad.” (Victoria, 18 años, estudiante de profesorado)
- “La intensidad de la luz va a depender de la distancia entre las dos esferas. Cuando más próximas estén más intensa va a ser la luz y más pequeño el círculo proyectado en la pantalla.” (Yamila, 23 años, estudiante de profesorado)

Al analizar qué sucedería si se disminuyera la cantidad de agujeros, las respuestas son variadas, muchas satisfactorias desde una concepción científica (no habría variación alguna sobre la intensidad de la luz proyectada por un agujero sobre la pantalla):

- “La intensidad no varía. Depende de la fuerza (sic) de la luz.” (Lara, 19 años, estudiante de profesorado)
- “A mi criterio la intensidad va a ser la misma, ya que cambia la cantidad de agujeros..., no la distancia.” (Ailén, 19 años, estudiante de profesorado)
- “Si supongo que los agujeros son del mismo diámetro, habría menos zonas iluminadas, pues no cambiaron las condiciones iniciales de fuente de luz y distancia, sería igual al anterior.” (Edgar, 50 años, profesor de secundario)

Mientras que otras respuestas podrían interpretarse desde la concepción de luz como sustancia, como si fuera un fluido material:

- “Creo que tendría más intensidad ya que la luz encuentra menos espacio para dispersarse.” (Victoria, 18 años, estudiante de profesorado)
- “Un poco más fuerte, porque hay menor cantidad de agujeros y la luz ‘se divide’ menos.” (Ioana, 19 años, estudiante de profesorado)
- “La intensidad de la luz sería mayor a que si hubiera 5000 agujeros”. (Brenda, 20 años, estudiante de profesorado)
- “Al haber menos agujeros la luz se proyectaría con mayor intensidad.” (Geraldine, 21 años, estudiante de profesorado)
- “La intensidad aumentaría, quedarían en la pantalla más definidos los círculos proyectados por los agujeros.” (Alejandra, 30 años, profesora de secundario)
- “La intensidad sería mayor, al disminuir la cantidad de agujeros.” (Ayelén, 28 años, profesora de secundario)
- “...saldría con mayor intensidad siendo los agujeros del mismo tamaño y suponiendo que el tamaño de la esfera es mediano, tendría menos lugares por los que salir...” (Jorge, 42 años, bibliotecario)

ANÁLISIS DE OTRAS SITUACIONES FÍSICAS SIMILARES

Se describen a continuación otras dos situaciones físicas reales, cuya estructura conceptual es idéntica a las ya descritas de la proyección en un planetario y de la “constante solar”. Una de ellas hace referencia a la distribución de antenas parabólicas receptoras de señales satelitales, y la otra hace referencia a un desarrollo teórico, de gran proyección hacia el futuro de la especie humana en el entorno astronómico: la esfera de Dyson.

Cabe destacar que, en todos los casos, la situación es físicamente idéntica, más allá del contexto propio de cada una de ellas; es decir, no se trata aquí de analogías ni de metáforas, sino de contextos diferentes en los cuales se ponen en juego los mismos conceptos y procesos. Por esta razón, el diagnóstico presentado en este trabajo tiene importancia debido a que su rango de aplicabilidad es muy diverso y actual, aunque casi nunca considerado en la enseñanza de las ciencias, en cualquiera de los niveles del sistema educativo argentino.

Lo cotidiano de las antenas satelitales (y de otros detectores de luz)

Desde hace relativamente pocos años, el paisaje sobre los techos de nuestras casas y edificios ha variado sustancialmente: de una maraña de antenas en forma de “parrilla”, destinadas a recibir las señales de los canales de televisión “por aire”, hemos pasado a una “floración” de discos de distintos tamaños y colores, mirando al cielo aunque no al Sol, recibiendo las señales de pequeños satélites artificiales que, aún de noche, son invisibles para todos nosotros. Cabría preguntarse, entonces, si cuando en un edificio o en un barrio el número de antenas aumenta de manera tan abundante, no estarían unas compitiendo con las otras por la luz que reciben de su correspondiente satélite. Es decir, ¿en mi casa tendré menor calidad de señal debido a que todos mis vecinos han contratado también ellos televisión satelital? (Figura 3) Esta idea, muy común cuando se pregunta por esta situación a chicos y grandes, está también sustentada, obviamente sin concientizarlo, en una concepción de luz como una sustancia material, un fluido que baña la zona y del cual cada antena debe tomar su parte compitiendo por coleccionar luz con las que la rodean.

La dependencia social e individual en la tecnología de telecomunicaciones satelital es nuestra realidad más cotidiana y será aún más intensa en los años por venir. El ejemplo propuesto con las antenas satelitales receptoras de televisión puede complicarse aún más si pensamos en los celulares, GPS, y otros dispositivos ya habituales en la sociedad mundial.



Figura 3

*a: Los techos de edificios en Ashgabat, Turquía. Imagen: RFE/RL.
b: Un edificio invadido por antenas satelitales. Imagen: ITSC DirecTV authorized dealer.*

Sin embargo, pocas veces se piensa de qué manera funcionan tales dispositivos, qué tipo de señal están recibiendo/emitiendo, y de qué naturaleza es tal señal: en definitiva, es luz (en sentido electromagnético, microondas típicamente). Similares argumentos podrían utilizarse para discutir sobre la superpoblación de paneles fotovoltaicos, de invernaderos y secaderos solares, y, más simple y natural aún, de las hojas de las incontables especies de vegetales que generan biomasa a partir de la fotosíntesis: antenas, paneles, hojas, ¿compiten entre sí, agotan la luz disponible si están unos al lado de los otros? ¿De qué manera se comprende el mundo, natural y social, en el que vivimos, según fuera la concepción que sobre la luz tiene cada persona que vive en él?

La Esfera de Dyson y las civilizaciones fuera de la Tierra

El astrónomo Freeman Dyson propuso en 1959 un dispositivo, posteriormente denominado “Esfera de Dyson” (aunque él mismo comentó que se inspiró en una obra de ciencia ficción de 1937, *El hacedor de estrellas*, de Olaf Stapledon), cuya función sería la de colectar la energía solar que no es utilizada por el ecosistema terrestre (u otro cualquiera, en éste u otro sistema planetario).

La Esfera de Dyson consiste en la construcción de una esfera muy delgada, cuyo radio fuera el mismo que el de la órbita terrestre, y que en su superficie interior tendría colectores de la energía que se propaga a través de la luz del Sol. El dispositivo tiene distintas variantes, ya que puede ser completamente cerrada (la Esfera propiamente dicha), o una serie de anillos, o un conjunto de los denominados “Puntos” de Dyson: paneles aislados y también posibles hábitats espaciales, que forman una estructura esférica no cerrada, con todos los paneles orbitando al Sol en forma independiente, y conectados entre sí y con la Tierra (Esfera de Dyson, 2015; Badescu, 1995). (Figura 4)

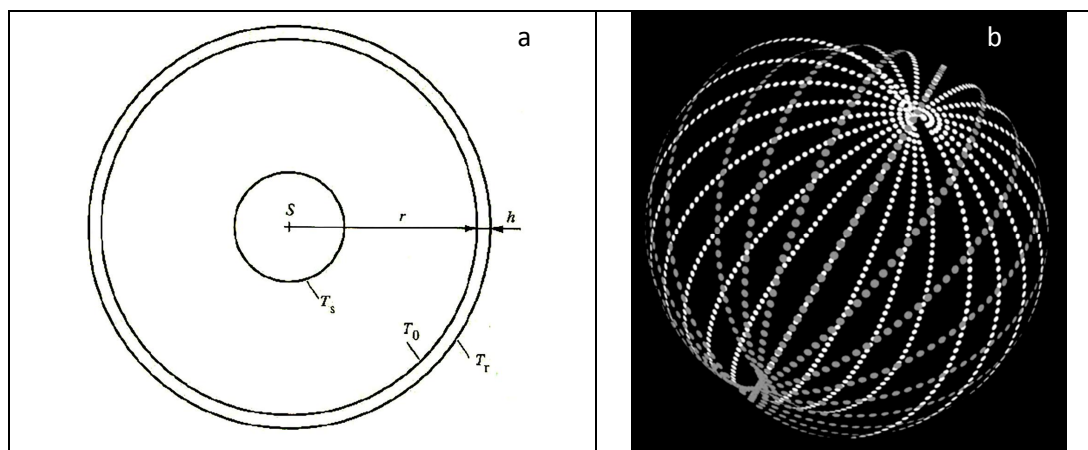


Figura 4.

a: Esquema de una Esfera de Dyson de radio r , espesor h , y temperaturas interior T_0 , y temperatura exterior T_r , rodeando al Sol S , cuya temperatura superficial es T_s .
Imagen: Badescu (1995)

b: Esquemas de un conjunto de Puntos/Anillos de Dyson (Esfera no cerrada). Imagen: [Vedexent](#)

La Esfera de Dyson es utilizada además para especular sobre el futuro de la civilización terrestre en una época medianamente lejana, aprovechando la energía disponible del Sol para subsistir. Kennedy *et al.* (2013) van más allá discutiendo la posibilidad de regular la “constante solar”, a partir del diseño de Puntos de Dyson, lo que se ha dado en llamar “geoingeniería”, uno de cuyos principales objetivos es la regulación del cambio climático, en un proceso no invasivo, reversible y relativamente rápido. Es esta posibilidad de imaginar un futuro posible a partir de estructuras conceptuales actuales y de tecnología potencialmente

accesible, lo que da al tratamiento de la Esfera de Dyson su riqueza didáctica, en especial para el trabajo con los más jóvenes, modeladores y protagonistas del mundo que vendrá.

Asimismo, esta tecnología fue propuesta por el astrónomo Nikolai Kardashev en 1964 como indicador para clasificar a las posibles civilizaciones extraterrestres en tres grados: I, sólo se utiliza la energía disponible en el propio ecosistema planetario (nosotros, en la actualidad); II, se utiliza una Esfera de Dyson para aprovechar la energía de la estrella central; III, se utiliza esta tecnología para además viajar por la galaxia local. Más aún, se especula que una civilización de tipo I o II sería relativamente sencilla de detectar, debido a que la esfera emitiría radiación infrarroja al espacio, al absorber y reemitir la energía proveniente de la estrella en su centro.

Cada uno de los paneles de Dyson, en cualquiera de sus configuraciones (esfera, anillos, puntos), recibiría la misma cantidad de energía por unidad de tiempo: es decir, no competirían unos con otros por coleccionar la energía disponible, debido a que la luz no se comporta como una sustancia fluida material.

Más allá de lo lejano que pueda parecer este planteo, aún especulativo pero rigurosamente basado en conceptos de la ciencia y la tecnología actuales, el mismo no es ciencia ficción sino que es una de las proyecciones que se piensan en el presente para la especie humana, hacia un futuro de pocos siglos, cuando aún será la luz seguramente una fuente de energía primordial.

REFLEXIONES DIDÁCTICAS Y COMENTARIO FINAL

El presente trabajo es muy acotado en su profundidad como investigación, por ser nada más que el inicio de un proceso que esperamos que tanto nosotros como otros colegas podamos continuar a futuro. Es decir, de ningún modo los distintos aspectos relevados, los resultados y comentarios que presentamos, buscan ser definitivos ni mucho menos agotar otras miradas ni otras interpretaciones a las situaciones estudiadas.

Sin embargo, consideramos que este trabajo tiene su importancia en cuanto a llamar la atención sobre la necesidad y la potencialidad didáctica de diversificar estudios acerca de las concepciones sobre la naturaleza de la luz, y sobre las múltiples relaciones que tales concepciones pudieran tener en la comprensión de situaciones reales. Algunas de estas situaciones reales se estudian habitualmente en casi todos los niveles educativos, aunque dando por hecho sin más que los conceptos de mayor profundidad en la trama lógica del tema en cuestión están presentes en quienes aprenden.

Es claro que una concepción de luz como fluido afectaría/condicionaría fuertemente la posibilidad de construir aprendizajes significativos y rigurosamente científicos en campos tan actuales, importantes y diversos como lo son las telecomunicaciones, el efecto invernadero, el cambio climático, la posibilidad de vida en éste y otros sistemas planetarios, y el desarrollo tecnológico futuro sobre energía solar y sustentabilidad energética en general.

La sistemática utilización de analogías mecanicistas, casi para todos los campos de la Física y áreas relacionadas (en Biología, Química, Astronomía, etc.), han hecho que la visión de mundo que en general se fomenta en las instituciones educativas y medios de comunicación sea fuertemente dependiente de unas pocas ideas básicas, clásicas y antiguas, especialmente aquellas relacionadas con los fluidos: calor, luz, electricidad, y muchos otros conceptos fundamentales, cuya modelización científica actual no se corresponde con entes materiales y fluidos. Reiner *et al.* (2000) afirman que los modelos materiales deberían ser evitados al enseñar tales conceptos, y Slotta *et al.* (op. cit.) concluyen que entonces la enseñanza debería intentar introducir un nuevo lenguaje para los procesos evitando cualquier término que utilice atributos ontológicos de sustancias materiales, para la luz en particular.

El desafío de quienes nos dedicamos a investigar en Didáctica de las Ciencias Naturales es, justamente, cómo diseñar acciones didácticas que no estén basadas en una mirada mecanicista

de aquello que no corresponde a la Mecánica, potenciando la diversidad conceptual, la construcción de modelos diferentes a los clásicos, y brindando una riqueza a la construcción de las visiones de mundo de quienes aprenden acorde con los tiempos en que vivimos, muy complejos y de gran diversidad, preparándonos para un futuro en el que será necesario generar nuevos modelos superadores de los ya agotados, típicamente mecanicistas.

Por lo antes expuesto, valga este trabajo como invitación y recomendación a otros colegas docentes e investigadores para que se realicen trabajos de investigación y de desarrollo didáctico, en áreas prácticamente jamás trabajadas: utilización de planetarios, estudio de la “constante solar”, recepción de señales satelitales, utilización de energía solar en invernaderos y paneles fotovoltaicos, entre otros, los cuales son casi omnipresentes en la vida de la sociedad planetaria actual y en todos, sin excepción y en muchos sentidos, la luz es protagonista, imaginando además futuros posibles, como lo que muestra la especulación científica y tecnológica de la Esfera de Dyson. No debemos dar por hecho que quienes aprenden (y quienes enseñan) sobre luz, han comprendido significativamente cuál es la naturaleza más profunda, justamente, de la luz (Hubbert, 2006; Camino, 2014).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badescu, V. (1995). On the radius of Dyson's sphere. *Acta Astronautica*, 36 (2), pp. 135-138.
- Camino, N. (2014). “La luz en el universo actual”, en *Radiaciones. Una mirada multidimensional*. INFOd, MEN. ISBN 978-950-00-1046-7. Capítulo 2, pp. 33-58.
- Cantor, G. N. (1983). *Optics After Newton: Theories of Light in Britain and Ireland, 1704-1840*. Chapter IV: Fluid theories of Light. Manchester University Press, UK.
- Esfera de Dyson. https://en.wikipedia.org/wiki/Dyson_sphere .Último acceso: 16/08/2015.
- Guesne, E. (1989). “La luz”, en Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A., *Ideas científicas en la niñez y la adolescencia*. Capítulo 2. Morata, Madrid.
- Happel, S. (2002). *Metaphors for God's Time in Science and Religion*. Palgrave-McMillan.
- Holton, G. y Brush, S. (2004). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Segunda Edición corregida y revisada. Editorial Reverté, Barcelona, España.
- Hubbert, P. (2006). Year 12 students' mental models of the nature of Light. *Research in Science Education*, 36 (4), pp 419-439.
- Jenkins, F., White, H. (1976). *Fundamentals of optics*. McGraw-Hill.
- Kennedy, R., Roy, K, Fields, D. (2013). Dyson Dots: Changing the solar constant to a variable with photovoltaic lightsails. *Acta Astronautica*, 82, 225–237.
- NASA, [Climate & Radiation](http://atmospheres.gsfc.nasa.gov/climate/?section=136), Science Research Portal. (2015). <http://atmospheres.gsfc.nasa.gov/climate/?section=136> . Último acceso: 16/08/15
- Park, D. (1999). *The fire within the eye. A historical essay on the nature and meaning of light*. Princeton University Press, NJ, USA.
- Reiner, M. (1987). Real time computer based analysis in physics laboratory, as a means for changing students' conceptual frameworks in physics. Unpublished master's thesis, Technion, Israel Institute of Technology.
- Reiner, M., Slotta, J., Chi, M., Resnick, L. (2000). Naive physics reasoning: a commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1–34
- Ronchi, V. (1970). *The nature of light*. London: Heinemann. Obra original en italiano, (1939).

Storia della luce. Nicola Zanichelli Editores. Bologna, Italia.

Slotta, J., Chi, M. T. H., Joram, E. (1995). Assessing students' misclassification of physics concepts: an ontological basis for conceptual change. *Cog. and Inst.*, 13 (3), 373-400.

Smith, D. C. (1987). Primary teachers' misconceptions about light and shadows. In J. D. Novak (Ed.), *Proc. of the 2nd Int. Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics* (Vol. 1, pp. 445–548). Ithaca, NY: Cornell University.

Zajonc, A. (1995). *Atrapando la luz. Historia de la luz y de la mente*. Ed. Andrés Bello, 2ª Ed., Santiago de Chile.