



Discutiendo ontología pseudoprocesual en física: un panorama

Discussing Pseudoprocessual Ontology in Physics: An Overview

Discutindo ontologia pseudoprocesual em física: um panorama

Wilfredo Quezada Pulido 0009-0001-0291-686X 
Departamento de Filosofía, Universidad de Santiago de Chile
Santiago de Chile, Chile
wilfredo.quezada@usach.cl

Luis Pavez Flores 0009-0000-8478-8277 
Departamento de Filosofía, Universidad de Santiago de Chile
Santiago de Chile, Chile
pavezfloresluis@gmail.com

→ **Recibido:** 03/01/2026

→ **Aceptado:** 25/04/2026

→ **Publicado:** 11/09/2026

→ **Artículo Dossier II**

“Filosofía y Fundamentos de la Física”

© 2026 Wilfredo Quezada Pulido y Luis Pavez Flores
CC BY 4.0

→ **Cómo citar:** Quezada Pulido, W., y Pavez Flores, L. (2026). Discutiendo ontología pseudoprocesual en física: un panorama. *Culturas Científicas*, 7(1), pp. 87-113. doi.org/10.35588/cc.v7d8355

[RESUMEN]

En este trabajo se examina, basados en trabajo anterior, la ontología procesualista que Phil Dowe ha defendido en el contexto de su concepción general de la causación física, basada en la posesión de cantidades conservadas. Esa ontología, que distingue una entidad causal (procesos causales) y tres no causales (pseudoprocesos, simuladores espaciales y simuladores temporales), asume supuestos físicos y metafísicos que hemos sometido a discusión en varios lugares. En el presente artículo realizamos una síntesis de dicha discusión en la dimensión filosófica y, desde la perspectiva física, formulamos una crítica reductiva de la ontología tetrádica de Dowe analizando en detalle algunos fenómenos lumínicos que parecerían favorecer su concepción. Para ello apelamos a la óptica geométrica y a la óptica ondulatoria y mostramos que, en esas áreas, una descripción ontológica de tales fenómenos apelando a pseudoprocesos es prescindible y puede ser sustituida simplemente por una descripción en términos de simuladores espaciales y temporales. A continuación, nos concentramos en el fenómeno de las sombras o ausencia de luz que Dowe usa insistentemente para motivar la indispensabilidad de asumir los pseudoprocesos en su ontología. En este caso, mostramos, contra Dowe, que tales fenómenos deben ser reinterpretados como otro tipo de fenómenos lumínicos, los cuales se comportan ontológicamente como todos mereológicos temporales y que, además, pueden portar cantidades conservadas. Tal conducta permite caracterizarlos adecuadamente más bien como tipos de simuladores temporales, reduciendo así su estatuto ontológico autónomo.

[PALABRAS CLAVES]

cantidades conservadas, simuladores físicos, relatividad especial, óptica geométrica, física de sombras

[ABSTRACT]

In this paper, drawing on previous work, we examine the processualist ontology that Phil Dowe has defended in the context of his general account of physical causation, based on the possession of conserved quantities. This ontology, which distinguishes one causal entity (causal processes) and three non-causal entities (pseudoprocesses, spatial worms, and temporal worms), assumes physical and metaphysical commitments that we have discussed elsewhere. In the present article, we synthesize this discussion from the philosophical perspective and, from the physical perspective, formulate a reductive critique of Dowe's tetradic ontology by analyzing in detail some optical phenomena that would seem to support his view. To this end, we appeal to geometrical optics and wave optics and show that, in these areas, an ontological description of such phenomena in terms of pseudoprocesses is dispensable and can simply be replaced by a description in terms of spatial and temporal worms. We then focus on the phenomenon of shadows, or the absence of light, which Dowe repeatedly uses to motivate the indispensability of positing pseudoprocesses in his ontology. In this case, we show, against Dowe, that such phenomena should be reinterpreted as another type of optical phenomenon, which behaves ontologically as temporal mereological wholes and which, moreover, can carry conserved quantities. Such behavior allows them to be more appropriately characterized as types of temporal worms, thereby reducing their autonomous ontological status.

[KEY WORDS]

conserved quantities, physical worms, special relativity, geometrical optics, physics of shadows.

Introducción

En años recientes ha cobrado interés estudiar la causación física como un tipo de conexión en términos de procesos que conservan cantidades físicas y filósofos como W. Salmon y P. Dowe han formulado esta concepción de una manera muy precisa. En esta formulación se caracterizan con relativa claridad aquellos procesos que deberían contar como causales desde el punto de vista de la física contemporánea y, en particular, desde el punto de vista de la relatividad especial. Así, un proceso causal (PC) en dicha concepción es una línea de mundo de un objeto que posee una cantidad física conservada, y ésta es determinada por las leyes que gobiernan la conservación de toda cantidad física de acuerdo con nuestras mejores teorías físicas. Junto con ello, se sigue que, en acuerdo con la relatividad especial, tales procesos deben respetar el límite para la velocidad de cualquier objeto, la velocidad de la luz en el vacío (límite C), esto es, no son admisibles procesos causales superlumínicos. Esta característica plantea un problema bien conocido cuando la relatividad especial se interpreta causalmente, debido a que, como hizo notar H. Reichenbach en la primera mitad del siglo XX, no es difícil mostrar que podemos obtener efectivamente secuencias físicas, compatibles con la relatividad especial, que violan el límite C y que Reichenbach llamó secuencias causales irreales. Más allá de la realidad física de estas secuencias, este hecho implica que cualquier teoría de causalidad física basada en cantidades conservadas y formuladas en el marco de la teoría de la relatividad especial (TRE), debe distinguir entre PC genuinos y las mencionadas secuencias irreales. La propuesta original de Dowe implementa metafísicamente dicha distinción diferenciando entre dos tipos de entidades, los PC como ya han sido definidos, y los pseudoprocesos causales (PSP), esto es, entidades que no poseen cantidades conservadas y pueden violar C, y que capturan entonces las secuencias señaladas por Reichenbach. Esta ontología dual -inicialmente muy eficiente para tratar casos clásicos de pseudoprocesos- enfrenta presiones mayores cuando se le plantean ejemplos complejos y, sin embargo, físicamente compatibles con la relatividad especial, por ejemplo, entidades mereológicas cuyas partes individuales poseen cantidades y que, para efectos de la relatividad especial, se comportan como gusanos espaciotemporales clásicos. Ya que tales entidades pueden superar claramente el límite C, Dowe -en orden a acomodarlas en su teoría- ha respondido reinterpretándolas y, al hacer eso, se ha visto forzado consecuentemente a modificar su ontología física introduciendo dos tipos de cuasi entidades adicionales, que él denomina en inglés *gerrymanders* o *simuladores* físicos, en español, y que pueden ser de naturaleza temporal o espacial. Es decir, podemos tener simuladores temporales o *timewise gerrymanders* (TWG) o simuladores espaciales o *spacewise gerrymanders* (SWG). De esta manera, Dowe introduce una taxonomía ontológica tetrádica más compleja asociada a su teoría original. Esta ontología física, construida sobre la base de la división entre lo causal y lo no causal, se subdividirá, en este último caso, en tres entidades: PSP, SWG y TWG. Sin embargo, en este nuevo reino pseudocausal, Dowe retiene un rasgo de realidad física para los PSP y los SWG, pues defiende que estas dos pseudoentidades comparten con los PC el poseer identidad a través del tiempo como una propiedad metafísica primitiva, propiedad de la que los TWG no pueden gozar, lo que los vuelve físicamente irreales. Dada esta condición, él declara a estos últimos basura espacio-temporal (*spatio temporal junk*).

Ya que esta reelaboración ontológica tetrádica ha perdido mucho de la simplicidad de la propuesta original y es motivada por supuestos metafísicos que resultan ser objeto de permanente discusión, parece inevitable confrontar sus fundamentos físicos mediante varias preguntas. La primera pregunta es si es posible definir con mayor precisión las entidades no causales de la ontología de Dowe, en particular, los simuladores espaciales (SWG) y temporales

(TWG). La segunda es si, bajo la relatividad especial, cualquier descripción de estados físicos, dado cualquier marco de referencia para ellos, permite mantener inalterada la distinción ontológica entre los dos simuladores físicos que Dowe propuso para acomodar su interpretación procesualista inicial. La tercera es si, en el mismo contexto de la relatividad especial, pero en el área del electromagnetismo o la óptica geométrica, podemos encontrar tales distinciones realizadas. Si las dos primeras preguntas recibiesen respuestas negativas, y la distinción entre SWG y TWG no parece, después de un examen físico detallado, sostenible, entonces cabría preguntarse si la misma distinción -la más importante para Dowe- entre PC y PSP, está bien fundada, de acuerdo con los criterios definicionales propuestos por el mismo filósofo australiano. Finalmente, si para la última pregunta también se puede ofrecer una respuesta negativa basada en los mismos dominios de la física a los que apela Dowe, entonces resulta inevitable inquirir por un diagnóstico general que explique por qué la propuesta tetrádica de Dowe está aparentemente destinada a fallar.

Las anteriores preguntas proveen entonces el curso de argumentación que se seguirá en el presente trabajo y que se encontrará a continuación en cada una de sus secciones.

1. Aclarando la ontología no causal de Dowe

Se debe tener presente que la descripción de la ontología no causal de Dowe se despliega sobre el trasfondo de una visión procesualista del dominio de la física y, por ende, las únicas entidades fundamentales de la física en ese caso serán los procesos causales. Ya que su teoría de estas últimas entidades se enmarca explicativamente, a su vez, en las herramientas conceptuales que provee la TRE, la descripción de las entidades no causales debe tomar inicialmente como trasfondo a dicha teoría.

1.1. Los PSP

Rasgos fundamentales de un PSP, tal como se derivan de la teoría original de Dowe (Dowe 1992, 1995a, 2000) y discusiones consecuentes (p.ej. Salmon 1994, 1998, Hitchcock 1995, Kistler 1999, entre otros autores), serán los siguientes:

1. Los PSP, como un todo, no poseen cantidades físicas conservadas
2. Los PSP pueden adquirir velocidades mayores, menores, o iguales a la velocidad límite de la luz en el vacío C
3. Los PSP no pueden transferir cantidades físicas mediante interacciones causales
4. Los PSP manifiestan continuidad y se pueden representar como cosmolíneas minkowskianas
5. Los PSP como procesos extendidos en el tiempo poseen identidad temporal

1.2. Los TWG

En Quezada y Pavez (2024), se exponen los cinco rasgos de los TWG que se indican a continuación.

1. Los TWG son extensiones temporales compuestas de diferentes procesos temporales individuales
2. Los TWG carecen, como un todo, de identidad objetual en el tiempo
3. Los TWG poseen CC estables a lo largo de su trayectoria en el espaciotiempo en la medida que sus componentes mereológicos las poseen
4. Los componentes de un TWG no transfieren sus CC entre sí ni a otros procesos, en la dirección en que aparecen
5. Un TWG puede ser representado en el espacio tiempo como una entidad continua, debido a que cada una de sus partes espaciales y puntuales parecen evolucionar en el tiempo continuo.¹

Junto con estas cinco características, incluimos una sexta relativa a las velocidades de la luz en el vacío, relevante en su comparación con los PSP (Quezada y Pavez 2011, 2016). Es la siguiente.

6. Los TWG pueden presentarse con velocidades mayores, menores, o iguales a la velocidad límite de la luz en el vacío C

Para dar una idea simple de un TWG basta con imaginar distintas bolas de billar que se posicionan en distintos lugares contiguos, en una dimensión espacial, a lo largo de la línea temporal. Al considerar cada bola contigua en el transcurso del tiempo se generará una suma mereológica X de la secuencia temporal constituida. Cada bola es un objeto diferente a su vecina inmediata, aunque similar en su forma y masa. La secuencia X puede ser representada entonces en un espacio tiempo bidimensional de Minkowski como sigue.

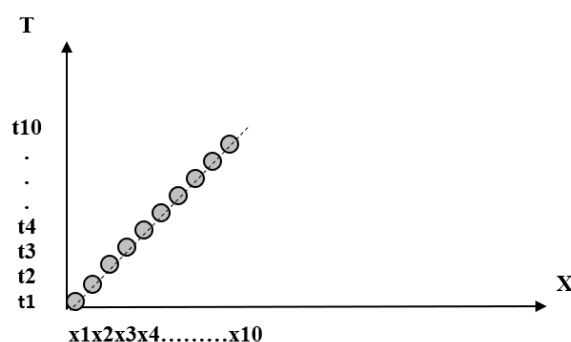


Figura 1: Representación de un TWG en un espacio-tiempo de Minkowski en dos dimensiones (X, T), donde cada bola, como parte de una fila de diez bolas, es considerada en forma sucesiva en el tiempo.

¹Cf. Quezada y Pavez (2024). pp. 202-209, para completos detalles.

1.3. Los SWG

1. Los SWG son extensiones espaciales compuestas de diferentes procesos individuales espaciales, pero que evolucionan como un solo objeto en cada intervalo de tiempo
2. Los SWG poseen identidad objetual en el tiempo, propiedad que comparten con los PC
3. Los SWG poseen CC estables a lo largo de su trayectoria en el espaciotiempo en la medida que sus componentes mereológicos las poseen
4. Las cantidades conservadas en un SWG pueden ser transferidas tanto entre sus componentes como aditivamente por el propio SWG a otros objetos físicos
5. Un SWG puede ser representado en el espacio tiempo como una entidad que despliega continuidad en virtud de evolucionar como un todo espacial no puntual generando una superficie espaciotemporal en dicho marco

Si se desea dar un ejemplo muy simple de un SWG, que reúna las características mencionadas, se puede retomar el TWG descrito en la sección anterior, que consiste en una secuencia X de diez bolas de billar tomadas una a una y de manera sucesiva en el tiempo, pero esta vez fijando la atención sólo en la coexistencia de sus componentes; es decir, tomando las diez bolas de billar en su conjunto como un bloque de bolas de billar que evolucionan contemporáneamente. De esta manera, de acuerdo con la concepción de Dowe de los SWG, las diez bolas contiguas en el espacio califican como un objeto único, constituyendo un SWG similar a un cuerpo extenso y rígido, pero hecho de bolas de billar desconectadas entre sí. Lo podemos graficar mediante la siguiente figura.

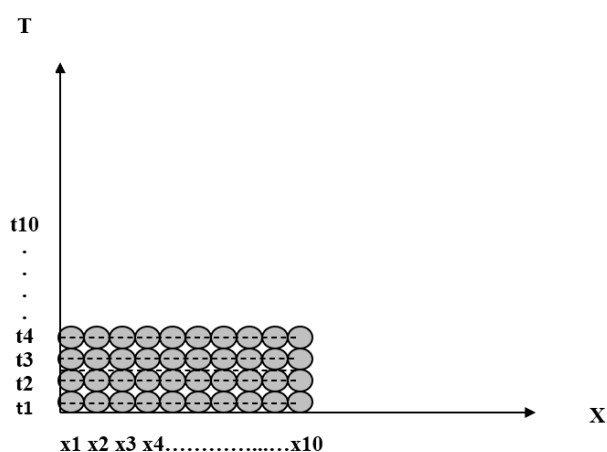


Figura 2: Representación de un agregado de bolas en una dimensión espacial X que evolucionan juntas en el tiempo, generando una línea de simultaneidad en el espacio de Minkowski, indicada por cada línea segmentada paralela al eje X .

Es evidente además que podemos construir este agregado con objetos contiguos evolucionando en conjunto en la línea temporal de naturaleza física muy diferente (bolas, lápices, relojes, manchas de luz, etc.).

2. ¿Existe una distinción genuina entre TWG y SWG en TRE?

Como ya se dijo, un TWG es una supuesta entidad que se puede representar de manera continua en el espacio tiempo de Minkowski. Por lo dicho también anteriormente, los TWGs no necesitan tener límites de velocidad y pueden presentarse en cualquier región del espacio tiempo. De esta manera, si nos focalizamos en un TWG superlumínico y lo graficamos en el espacio de Minkowski, aparecerá representado por una línea de mundo de tipo espacio, lo que indica no sólo una relación entre espacio y tiempo mayor que C (o velocidad mayor que C), sino que, además, su orden temporal se verá alterado. Esto último, es coherente con el diagnóstico de la teoría de CCs de Dowe, puesto que se trataría de una representación de basura espacio temporal.

Por otro lado, un SWG -considerado ahora como un objeto extenso genuino-, no podría alcanzar velocidades ni lumínicas ni superlumínicas, ya que, según la TRE, los objetos materiales no pueden alcanzar la velocidad de la luz, menos aún superarla. De esta manera, el orden temporal de un SWG deberá permanecer inalterado en su evolución en el espacio tiempo. Desde la perspectiva de la TRE entonces, esto último lo debería distinguir fundamentalmente de un TWG. Esta forma de caracterizar la diferencia entre las dos entidades *gerrymandered* tiene consecuencias fundamentales que pasamos ahora a explorar.

En primer lugar, si retomamos el examen de un TWG, por ejemplo, el caso de las bolas de billar sucesivas en la figura 1, podemos admitir, como hemos dicho, la posibilidad física de relacionar el espacio cubierto por ellas y el tiempo transcurrido, de tal manera que el TWG pueda resultar ser superlumínico. Esto significa, según la TRE, que es posible contar con otro sistema de referencia, con velocidad relativa al primero, donde se observen todos los componentes del TWG al mismo tiempo o de manera simultánea. Es decir, el TWG súper lumínico completo para un primer observador, en todo el tiempo de su definición (Δt), se transforma en el inicio temporal simultáneo de un SWG para un segundo observador (ya que en este último sistema de referencia se consideran todas las bolas en simultáneo en el instante t_0). Además, es completamente posible imaginar un tercer observador en otro sistema de referencia, en movimiento relativo a los otros dos sistemas, para el cual el TWG original invierte su orden temporal ($-\Delta t$). De manera recíproca, si se considera ahora un sistema de referencia, donde en t_0 (tiempo instantáneo) se dé el inicio simultáneo de un SWG (como el bloque de las diez bolas de billar tomadas todas juntas, por ejemplo), entonces se podrá contar con algún sistema de referencia alternativo, con velocidad relativa al primero, que observe sucesivamente cada una de las bolas, en un sentido del tiempo (Δt), mientras que otro sistema alternativo, con velocidad relativa, observaría el tiempo sucesivo en sentido inverso ($-\Delta t$).

En consecuencia estricta con nuestro análisis, se sigue que un instante de tiempo, t_0 , del tiempo de definición de un SWG, para un dado observador, será un TWG para otro observador (Δt). Así, cada instante de tiempo del SWG, en un sistema de referencia, tendrá su correspondiente TWG en otro sistema, y recíprocamente. Luego, un SWG que se sostiene, según Dowe, como objeto extenso con identidad en el tiempo, debido a la coexistencia instantánea de los distintos componentes durante cada uno de los instantes de tiempo del intervalo de definición, relativiza su identidad, pues se vuelve en otro sistema (para cada instante de dicho intervalo de tiempo) un TWG y, por lo tanto, un conjunto de TWGs en el intervalo de tiempo de definición del SWG. Es decir, un objeto extenso y genuino en la teoría de CCs de Dowe, con

identidad en el tiempo, se transformaría, en cada instante de tiempo ($t_0, t_1, t_2, \dots$) -usando la expresión de Dowe- en basura espacio temporal para un segundo sistema de referencia. Como sabemos, una consecuencia física de la TRE es que la simultaneidad espacialmente puntual resulta ser absoluta y que la simultaneidad espacialmente extensa, en la dirección del movimiento relativo de los sistemas, resulta ser relativa. Obviamente el argumento que hemos desarrollado hasta aquí sobre la relación entre un SWG y un TWG concierne directamente a la noción de simultaneidad relativa.

A continuación, damos un ejemplo directo que ilustra cómo resulta inevitable rechazar una distinción fundamental entre las dos no entidades o simuladores de entidades analizadas. Supóngase que cinco monedas son observadas simultáneamente en t_1 por el observador S, es decir, representan el inicio temporal de un tipo de SWG para S, las que evolucionan regularmente en el tiempo como un todo mereológico para dicho observador. Sin embargo, al considerar las observaciones realizadas desde los sistemas S' y S'' las cinco monedas, que para el observador S se dan de manera simultánea en t_1 , representan un tipo de sucesión temporal además con tiempos invertidos, al compararlos entre sí; es decir, el inicio temporal de un tipo de SWG representan ahora tipos de TWG tanto para S' como para S'' . De esta manera, se puede apreciar un mismo origen genealógico para un fenómeno físico que puede ser reputado o como el inicio de un SWG o como un TWG, lo que permite ejemplificar, en ese contexto, la tesis de un origen común para ambas cuasi entidades.

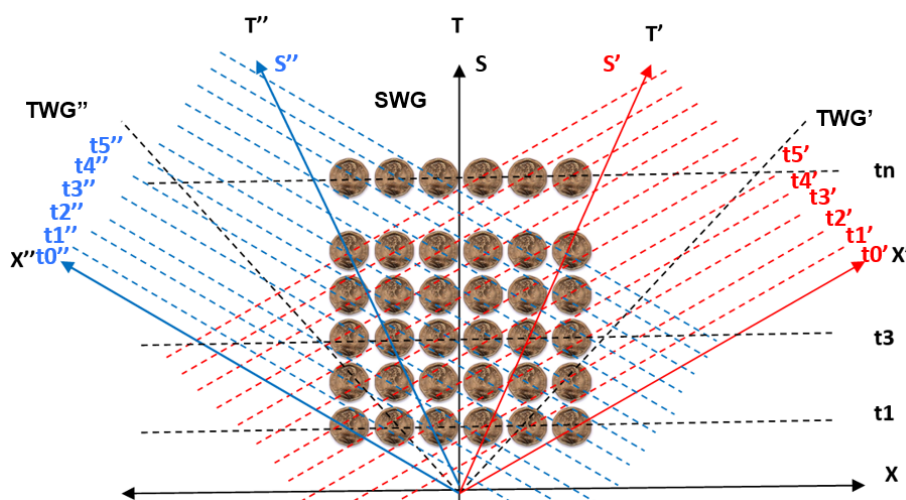


Figura 3: Espacio tiempo de Minkowski en 2D. Seis monedas en línea sobre el eje X que evolucionan como un bloque mereológico en el tiempo T para S. Para S' y S'' , lo que S observa en t_1 , es observado sucesivamente en distintos tiempos e invertidos.

De acuerdo con la ilustración anterior, el contraste defendido por Dowe no puede estar físicamente bien fundado pues, como se observa, en su origen genealógico los componentes temporales de un SWG se pueden interpretar, dependiendo del sistema de referencia, como evidentes TWG. Esto debería, por supuesto, ser suficiente para conducirnos a reconsiderar la necesidad de mantener una distinción entre ambas no entidades o simuladores en la TRE.

3. Avanzando en la reducción de pseudoentidades en la ontología de Dowe

Dado el resultado anterior, se vuelve de interés examinar si él pudiera ser extendido a los propios PSP, las pseudoentidades que la propuesta de Dowe siempre puso al centro de su análisis. Para ello es importante tener presente que nuestra argumentación hasta ahora estuvo focalizada en el dominio de los fenómenos mecánicos en TRE. Lo que debemos hacer, si queremos avanzar a una reducción mayor que involucre a los PSP, es extender esa argumentación al dominio de los fenómenos ópticos y electromagnéticos, concentrándonos fundamentalmente en secuencias de puntos lumínicos móviles y en la distinción entre velocidades de fase y velocidades de grupo al medir efectos de propagación de la luz, dado que son estos fenómenos aquellos que Dowe utiliza como sus ejemplificaciones favoritas de PSP. En estos dominios específicos, pondremos entonces el énfasis en la relación PSP-TWG con el propósito de establecer si ambas pseudoentidades terminan también por indistinguirse, lo que debería, en línea con lo mostrado en la sección anterior, llevar a un colapso de todas las entidades no causales en una sola categoría, simplemente la categoría de los objetos *gerrymandered* o simuladores de procesos físicos causales.

Aunque es W. Salmon quien desarrolla en Salmon (1984) la teoría de procesos causales y los distingue de los PSP, quien primero tomó nota filosófica de estos últimos en el contexto de la TRE, llamándolos “secuencias irreales”, como ya adelantamos en la introducción, fue Reichenbach en su clásico *The Philosophy of Space and Time* (Reichenbach 1957, 1st ed. 1928). Reichenbach mismo en un escrito posterior nos entrega el que más tarde será tal vez el más emblemático de los ejemplares de un PSP, un punto de luz que se mueve radialmente describiendo una traza, la que a cierta distancia puede violar la rapidez de la luz C . Él nos dice: “Otro ejemplo podría ser el movimiento lateral de un rayo de luz enviado por un faro rotando rápidamente, el cual [para un observador] a una cierta distancia tiene una rapidez mayor que la luz” (Reichenbach 1957, p. 148). A primera vista, podemos modelar el flujo de luz generado por el faro como una recta dirigida sin espesor que lleva consigo todas las cantidades dinámicas y que avanza a velocidad C . El rayo de luz, como sabemos, es el elemento básico de análisis en óptica geométrica. Dicho lo anterior podemos examinar ahora los ejemplos relevantes de PSP que a Dowe le interesaban.

a. Examinando trazas de luz superlumínicas

Podemos analizar el comportamiento del rayo de luz mencionado por Reichenbach de manera simple considerando, para efectos de nuestra argumentación, un rayo de luz que se proyecta ya sea sobre una pared plana o sobre una pared con curvatura circular (ver la figura siguiente). En cualquiera de estos casos la velocidad del punto proyectado sobre la pared (PSP) cubre todo el espectro de velocidades posibles, es decir, su velocidad puede resultar ser sublumínica, lumínica o superlumínica dependiendo de las magnitudes que se utilicen, tanto en la rotación del foco emisor como en las distancias involucradas desde el foco hasta la pared.

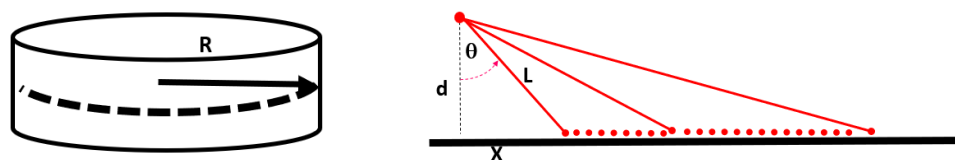


Figura 4: Rayo de luz que nace en un foco que rota y que se proyecta sobre una pared. A la izquierda los puntos de luz se proyectan sobre una pared circular de radio R . A la derecha el foco que está a una distancia d , gira describiendo un ángulo θ , generando las distancias variables del rayo L y del punto que se mueve en la pared X .

Concentrémonos en el caso en que el PSP tiene una velocidad superlumínica, que es el que ha generado mayor interés histórico, además de resultarnos útil para nuestra argumentación. En este caso, el conjunto de puntos lumínicos aparenta moverse homogéneamente sobre la pared, plana o curva, con una velocidad superior al límite C . Describamos cómo se origina esto. El rayo de luz sale del foco emisor dirigiéndose hacia la pared, portando una CC en toda su trayectoria de ida (energía). Al llegar a la pared, y debido al giro que realiza el foco emisor, el rayo de luz se desplaza lateralmente. Cada una de las partes del rayo de luz interactúa tocando cada una de las partes de la pared (las que también poseen sus propias cantidades conservadas dinámicas), reflejándose en cada una de ellas, como muestra la figura anterior.

Nos parece del todo intuitivo considerar que las partes de la pared donde van pasando los rayos de luz -por muy homogénea que parezca- son objetos materiales diferentes en los distintos tiempos en que la luz los ilumina. Por otro lado, no es tan claro ni intuitivo que los puntos de la secuencia de luz, que se forman a partir de las partes del mismo rayo de luz, no sean objetos diferentes entre sí, como esperaríamos si aquella fuese un PSP. De hecho, dada la naturaleza homogénea del flujo de la luz y su invariante velocidad de propagación, los puntos sucesivos parecen formar una única entidad con identidad en el tiempo, tal como lo indica Dowe. Sin embargo, como mostraremos a continuación, no la tiene. Para ello imaginemos que podemos hacer una pequeña zanja en la pared plana de la imagen anterior por donde pasará el punto de luz en su aparente movimiento secuencial, como ilustra la siguiente figura. Se trata de una especie de trampa de luz (aunque ejemplificamos para una pared plana, también funciona para una pared curva).

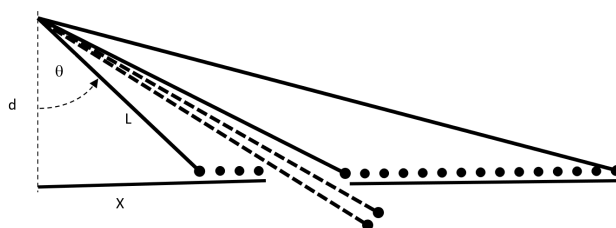


Figura 5: Un rayo de luz L que sale de un foco que rota, proyecta puntos de luz en la posición variable X de la pared, y que se pierde en una trampa de luz en la última, para posteriormente seguir proyectándose sobre ella.

La idea es que al enviar luz hacia la pared y hacerla pasar coordinadamente, por ejemplo, de izquierda a derecha, deberíamos chequear si al ingresar primero por la parte izquierda de la zanja, y desaparecer en ella, aparecerá nuevamente por su parte derecha. Si se tratara

de un mismo punto de luz (un mismo objeto con identidad en el tiempo), este caería a la trampa y se iría por ella sin volver a aparecer jamás por su derecha. Sin embargo, al realizar el experimento de la secuencia de puntos que se mueven en la pared con la zanja incluida, veríamos que el punto reaparece nuevamente después de pasar por la zanja, mostrando con ello que cada punto luminoso, o cada parte del rayo, es diferente del anterior. Es decir, los puntos o manchas lumínicas que aparentan moverse en el muro, como una entidad única con identidad en el tiempo, en la dirección de movimiento, son en realidad distintos objetos lumínicos en los distintos instantes de tiempo.

De acuerdo con esto, considerar los puntos lumínicos que se proyectan como una traza en la pared como partes diferentes del mismo flujo de luz, cada una de ellas poseyendo CC, resulta ser más explicativo, y mucho más consistente con la física, que considerar la secuencia de puntos lumínicos como un único objeto que no posee CC, como pretendía Dowe en su teoría inicial. Sin embargo, no debemos olvidar que los puntos de luz que forman la secuencia, la cual carece de identidad en el tiempo, aun cuando posean CC (al igual que las partes de la pared) no las transmiten en la dirección en que la secuencia aparenta moverse.² Es decir, y de acuerdo con lo dicho, el todo mereológico de los puntos de luz califica, en contra de la categorización propuesta por Dowe, como algo similar a un TWG antes que como un PSP. Si esto es correcto, la única diferencia significativa que podemos constatar entre un TWG material y el PSP lumínico (pero ahora mejor candidato a TWG lumínico) parece ser sólo de naturaleza física. Por otro lado, y de acuerdo con la TRE, al considerar ambas líneas de mundo en un espacio de Minkowski, tanto la secuencia de las partes de la pared como la secuencia de los puntos de luz, pueden ser representadas en el espacio tiempo de Minkowski como líneas de tipo espacio o espacialoides. Esto, como sabemos, permite contar con observadores para los cuales el orden temporal de la secuencia puede ser invertido. Esto último fortalece más aún la tesis de que un PSP de naturaleza lumínica es una cuasi entidad carente de identidad en el tiempo, y que, por lo tanto, quedaría mejor clasificado como TWG, contradiciendo lo planteado por Dowe.

Así, se debe concluir que, si consideramos los puntos de luz que se mueven en la pared bajo los preceptos de la física clásica, e interpretamos, en particular, los fenómenos lumínicos bajo el modelo de la óptica geométrica, las propiedades 2 y 3 de los TWG materiales también pasan a ser atributos de los puntos de luz de este clásico PSP, según Dowe.

b. Frentes de onda, velocidades de fase y velocidades de grupo

Si la teoría de CC de Phil Dowe tratara sólo sobre casos de PSP de puntos de luz descritos por medio de un modelo de óptica geométrica, el argumento dado más arriba sería suficiente para defender la tesis de que los PSP lumínicos pueden ser reducidos a la categoría de TWG lumínicos; sin embargo, esto no explicaría todavía cómo reduciríamos de la misma manera un ejemplo aparentemente recalcitrante de PSP, esto es, un proceso con identidad en el tiempo pero cuya carencia de CC se extiende también a sus propias partes. El ejemplo aludido trata

²En términos vectoriales más rigurosos, en este ejemplo en particular hay una componente del choque del rayo con la pared que empuja en la dirección del movimiento de los puntos de luz y otro en la dirección perpendicular. Es suficiente con considerar la componente perpendicular como incapaz de transmitir cantidades para velocidades sublumínicas; sin embargo, cuando los puntos superan la velocidad de la luz, ambas componentes de la interacción quedan imposibilitadas de conectar en la dirección del movimiento.

sobre ondas en la superficie del agua y considera puntualmente el movimiento de los frentes de onda. Según la descripción ofrecida por Dowe, la velocidad de fase de una onda en el agua -que se diferencia de la velocidad del grupo de ondas- corresponde a la velocidad de un PSP, puesto que el frente de onda que se mueve con velocidad de fase no posee CC y se puede mover incluso con una rapidez superlumínica (Dowe 2000, p.94). Aunque la propuesta de Dowe versa sólo sobre la distinción entre la velocidad de fase y velocidad de grupo en ondas mecánicas en el agua, resulta a nuestro juicio del todo pertinente preguntarse si dicha distinción y clasificación se mantiene inalterable en un modelo ondulatorio para la luz, y de ser esto así, qué consecuencias arroja sobre las propiedades de un PSP con velocidad de fase en cualquier onda material y, en particular, en la propia onda de luz. Hecho este análisis, revisaremos si las consecuencias que se extraigan aportan luces para la cuestión de la distinción ontológica entre PSP y TWG.³ Es lo que examinaremos a continuación.

4. Los nuevos argumentos: óptica ondulatoria, velocidades de fase y de grupo⁴

Motivados por el contenido de la cita anterior, avanzaremos ahora a examinar el modelo ondulatorio de la luz en la física clásica. Nuestro interés en este caso es revisar las nociones de velocidad de fase y velocidad de grupo, y determinar cómo sus componentes se pueden relacionar con las nociones ontológicas en discusión, esto es, los PSP y los TWG.

Supongamos que contamos con una fuente de luz puntual en algún lugar del espacio y que representamos su propagación, como lo ilustra la figura 6. La luz se propaga con simetría esférica hacia todas las regiones espaciales. Si procedemos metodológicamente y recortamos una cierta región local y focalizada de la onda esférica, podemos contar entonces con un modelo de una onda plana. A la derecha de la figura 6 se ilustra esta última situación.

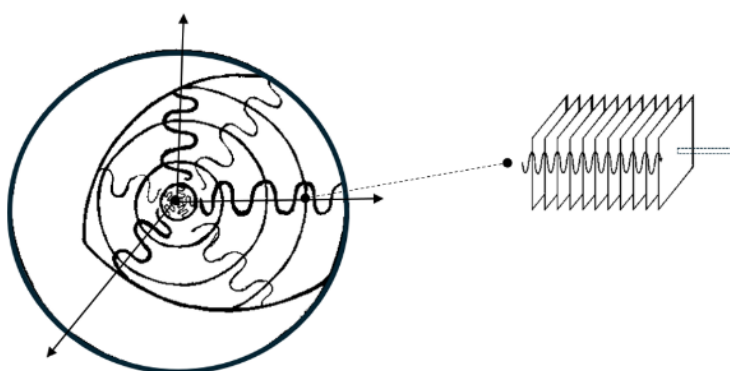


Figura 6: A la izquierda se representa una onda esférica tridimensional. A la derecha un zoom de una parte local de la onda esférica que puede ser modelada como una onda plana.

³Kistler (Kistler 2006, pp. 59-62), con el propósito de criticar la teoría de causación de Dowe y su distinción PC-PSP, apela también a las nociones de velocidad de fase y velocidad de grupo en el contexto de un modelo ondulatorio para la luz.

⁴Estos argumentos se encuentran también expuestos en detalle en artículo que esperamos aparezca este año.

La onda plana muestra sus frentes de onda como planos sucesivos y paralelos. Cada frente de onda mostrado representa a una elongación máxima, razón por lo cual dos frentes de onda consecutivos determinan el largo de onda, λ . Por otro lado, el rayo-vector perpendicular dibujado frente al tren de ondas, indica la dirección y sentido en que viaja la onda.

En óptica física, la luz es considerada básicamente una onda electromagnética transversal. Esto significa que sus componentes son campos variables en el espacio y el tiempo, que oscilan de manera perpendicular a la dirección de propagación. El sentido de la velocidad de propagación de la onda es siempre normal al plano de oscilación de los campos y se propaga en el vacío con velocidad C . Una primera imagen o representación simple de una onda de luz plana sinusoidal y monocromática, puede ser como sigue.

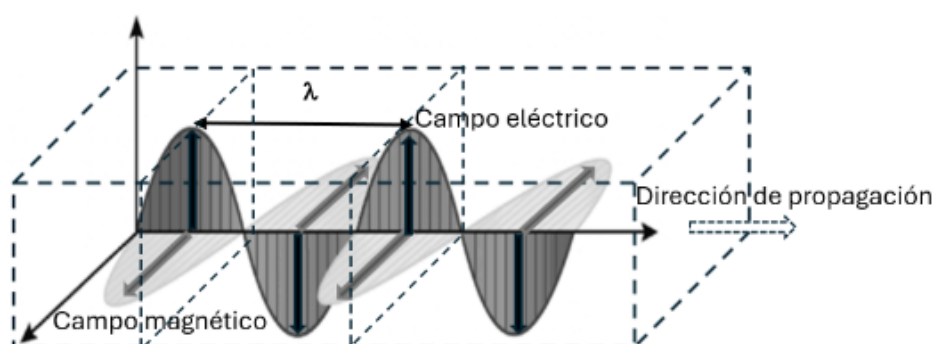


Figura 7: Onda de luz plana básica y monocromática en 3D, mostrando los dos planos de oscilación, la dirección de propagación y la longitud de onda λ .

Aunque la representación hace alusión a una onda de luz monocromática simple, debemos tener presente que las ondas de luz son generalmente ondas policromáticas complejas que resultan de la superposición de muchas ondas simples. Se hace necesario entonces incorporar a nuestro análisis conceptos como velocidad de fase (V_f) y velocidad de grupo (V_g). La siguiente imagen ilustra una onda como resultado de la superposición de dos ondas planas de longitudes de onda λ y λ' , respectivamente.⁵

⁵Hay muchas maneras de superponer ondas simples. Se pueden superponer ondas de igual frecuencia o distinta frecuencia, de igual fase o distinta fase, de igual velocidad o distinta velocidad. La superposición de ondas de distinta frecuencia con pequeñas diferencias genera como resultado un paquete de ondas o un grupo de ondas (para detalles cf. Marchenko et al. 2003, parte I, cap. 2).

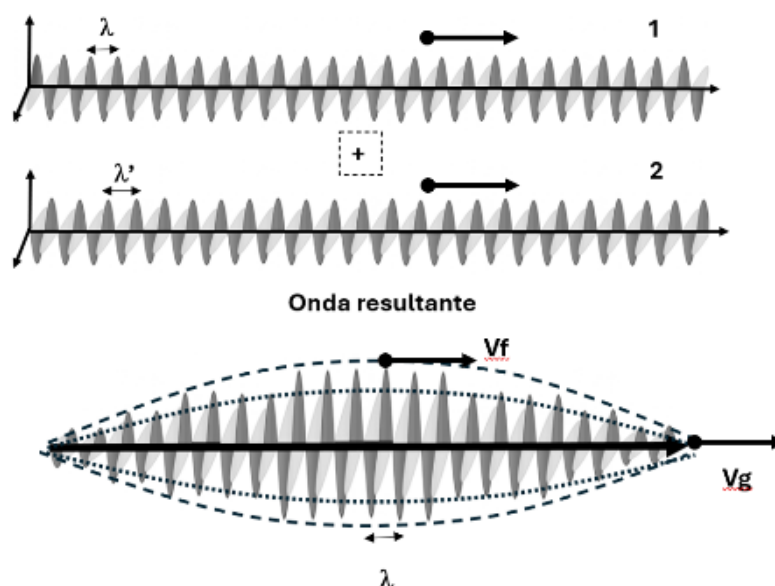


Figura 8: Dos ondas de luz con longitudes de onda muy similares (λ y λ') se superponen dando origen a un paquete o grupo de ondas. Como la longitud de onda promedio en la resultante interna es similar a sus componentes, la llamaremos simplemente λ .⁶

Se puede mostrar fácilmente, a partir de un modelo físico de superposición de ondas, que la velocidad de grupo, V_g , depende de la velocidad de fase, V_f , y de su cambio con respecto a la longitud de onda. Es decir, $V_g = V_f - \lambda dV_f/d\lambda$,⁷ donde el último término, que muestra cómo cambia la velocidad de fase con el cambio de la longitud de onda, resulta distinto de cero para un medio dispersivo. De acuerdo con esta relación, el grupo de ondas de luz que se transmite en un medio no dispersivo, como en el vacío, lleva una velocidad de fase idéntica a la de grupo, es decir, $V_g = V_f = C$.

La velocidad de fase, por un lado, lleva información relacionada con la dirección en que se mueven los frentes de ondas como un todo y la velocidad de grupo, por otro, lleva información relacionada con el movimiento y transmisión de las CC y apunta en la dirección del movimiento del grupo, coincidiendo su dirección con la dirección de los rayos de luz expuestos en secciones anteriores⁸. Aunque ambas velocidades, V_f y V_g , son numéricamente iguales a C en el vacío, sin embargo, al momento en que la onda de luz interactúa con algún medio reflector, alguna de sus componentes puede alcanzar velocidad superlumínica. Veamos cómo esto último puede ocurrir.

Para focalizar nuestra descripción en el movimiento súper lumínico de los frentes de onda, realizaremos una simplificación geométrica de la onda resultante, manteniendo lo esencial y relevante del grupo de ondas. Estos elementos esenciales son los frentes de onda extensos que representan el lugar de máxima oscilación, la separación que hay entre ellos, λ , el vector de

⁶No destacamos en la imagen la longitud de onda del grupo o pulso, que viaja a velocidad de grupo, por no ser relevante para la explicación pretendida.

⁷Para más detalles véase Jenkins y White 2001, pp. 251 y 252.

⁸En un modelo de onda de luz premaxwelliano se puede utilizar el enfoque de Huygens y Fermat para diferenciar un frente de ondas de un rayo de luz. Por otro lado, ya desarrollado el enfoque de Maxwell, podemos hablar de campos electromagnéticos transversales a la dirección del vector perpendicular que queda representado por el vector de Poynting (para detalles cf. Marchenko et al. 2003, parte I, cap. 4, y Sibley 2021, cap. 10).

velocidad de fase, V_f , que muestra el movimiento del frente de onda o fase de la onda, y el vector de velocidad de grupo, V_g , que representa la dirección de movimiento del grupo de ondas o centroide de las ondas, como se muestra en la siguiente ilustración. Según esta nueva figura, el vector azul representa la velocidad de fase, V_f , y el de color rojo, la velocidad de grupo, V_g .

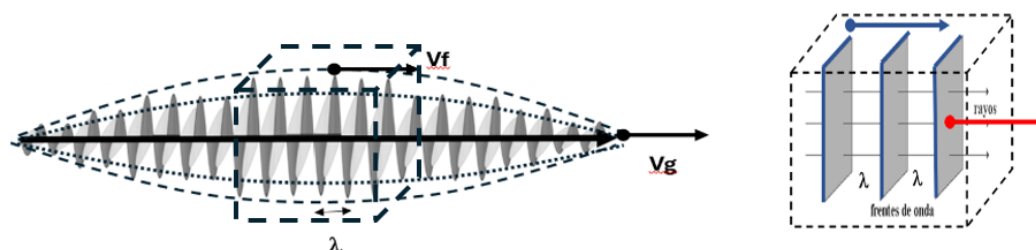


Figura 9: Representación geométrica del grupo de ondas. En este caso los factores relevantes son los frentes de onda extensos, la longitud de onda y la dirección de los vectores velocidad de fase y velocidad de grupo.

De todo el camino óptico desarrollado por una onda de luz nos interesa examinar exactamente el momento en que el rayo de luz central del flujo (rayo rojo, que representa a la V_g) incide en un punto de un espejo reflector (punto rojo de la imagen superior derecha de la siguiente figura), y observar cómo los frentes de onda, representados por las líneas azules perpendiculares al rayo rojo, se comportan en la incidencia y reflexión en el espejo, debido básicamente a su extensión espacial. Para cumplir este objetivo ofrecemos abajo una vista lateral de la ilustración anterior seleccionando la incidencia a la superficie reflectante de las líneas del frente de onda que barren la dirección X del plano (X,Y) seleccionado.

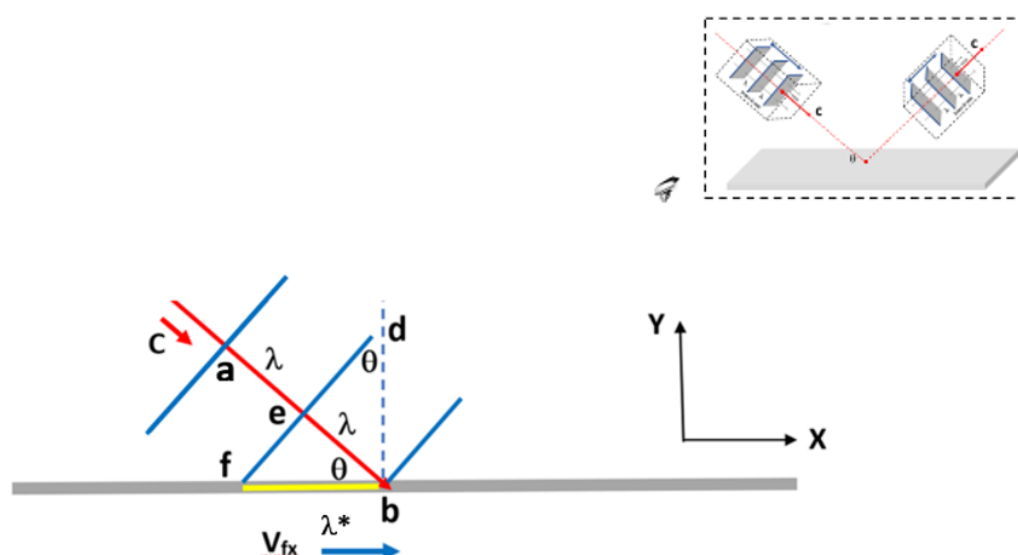


Figura 10: Recorte bidimensional de la onda que incide sobre una superficie reflectante. Los elementos a considerar son la longitud de onda, λ , la longitud de onda ampliada, λ^* , la componente de la velocidad de fase en el eje X y los puntos a, b, d, e y f.

En primer lugar, tenemos la onda de luz, que está representada en parte por el rayo de color rojo (velocidad de grupo) y en parte por el frente de onda a través de las líneas azules perpendiculares al rayo rojo (que se mueve con velocidad de fase). El grupo de onda, dirigido diagonalmente por el rayo rojo, al momento de desplazar un frente de onda desde el punto **a** hasta el punto **e**, necesita recorrer la distancia λ (que separa dos centros de frente de onda), como muestra el modelo geométrico mismo. La velocidad de propagación del rayo rojo tiene el mismo valor que la velocidad de grupo (V_g) y el mismo valor de la velocidad de fase (V_f), es decir, en la dirección diagonal, se cumple que: $V_g = V_f = \nu\lambda = C$, donde ν es la frecuencia de los frentes de onda.⁹ En segundo lugar, y ateniéndonos a la anterior imagen, en el mismo tiempo que el punto **e** se desplaza hasta el punto **b**, el frente de onda azul (línea azul intermedia) se desplaza haciendo un barrido desde el extremo inferior izquierdo, **f**, hasta el punto **b** (que hemos destacado con una línea amarilla en la dirección X). Claramente la línea amarilla tiene una magnitud $\lambda^* > \lambda$, lo cual evidencia que el frente de onda, en esa región del espacio, al contar con la misma frecuencia, ν , pero con una longitud de onda incrementada, λ^* , viaja a una velocidad superlumínica o superior a C . De hecho, se obtiene fácilmente que en la dirección X, correspondiente a la rapidez con que se barre el frente de onda en la superficie reflectante, $V_{fx} = \nu\lambda^* > C$.¹⁰

A continuación ilustramos cómo el frente de onda extenso barre la extensión de la pared o superficie reflectora punto a punto, e instante a instante, donde cada punto de interacción puede ser interpretado como el lugar donde golpea cada rayo representante de cada parte del frente de onda perpendicular a él y que tiene velocidad de grupo C en la dirección diagonal.

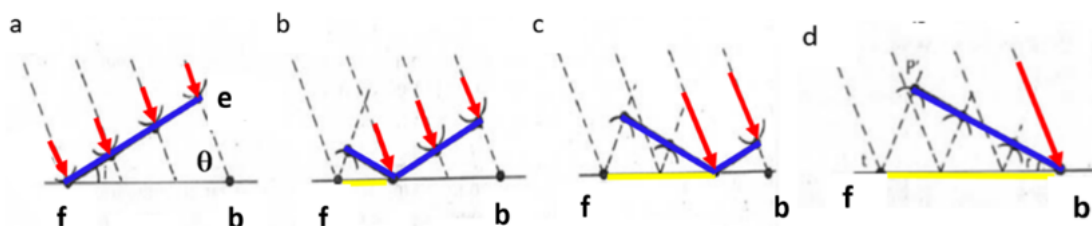


Figura 11: Barrido del frente de onda en una superficie reflectante que se mueve a velocidad superlumínica en la dirección X.

A partir de las dos figuras anteriores se pueden demostrar fácilmente las siguientes relaciones, para la dirección espacial X, de la velocidad de fase y de la velocidad de grupo, respectivamente:

1. $V_{fx} = C / \cos \theta \geq C$, velocidad superlumínica
2. $V_{gx} = C \cos \theta \leq C$, velocidad sublumínica¹¹

⁹Nótese que en el vacío y en la dirección diagonal representada por el rayo rojo, las velocidades de grupo y de fase coinciden sin ningún problema con el valor de C y nada, en dicha dirección, tiene velocidad ni sublumínica ni superlumínica.

¹⁰El lector atento puede preguntarse de la misma manera sobre lo que pasa con la velocidad de grupo V_g en la dirección X. La respuesta es que en dicha dirección X la velocidad de grupo es sublumínica, como mostraremos en lo que sigue.

¹¹También es posible demostrar componentes similares para la dirección Y, cuestión que no necesitamos desarrollar acá.

De estas relaciones se sigue que la luz porta, de manera intrínseca, CCs a través de la propagación del grupo de ondas¹². Sin embargo, se debe considerar también que en su modo de interactuar con el medio reflector y avanzar a través de él, la onda descompone sus partes espaciales, en el eje X, en una parte sublumínica, que, como dijimos, porta y transmite las CC, y otra parte superlumínica, que resulta de la rapidez de distribución de las CC sobre la superficie reflectante, pero no de la transmisión en dicha dirección, y que son igualmente esenciales a la onda. El efecto superlumínico observado se explica entonces dado que las partes distribuidas del frente de onda, que como un todo mereológico representan el barrido completo de **f** hasta **b**, no pueden estar conectadas causalmente entre sí en la dirección X del movimiento aparente.

Las velocidades de las partes coexistentes de un frente de onda, que Dowe interpretaba en el contexto de su teoría como clásicos PSP, bajo el modelo de la óptica ondulatoria, pueden avanzar en la dirección de la velocidad de grupo con su misma rapidez. Sin embargo, las mismas partes, cuando son constreñidas por la superficie reflectora a avanzar en una dirección distinta a la velocidad de grupo, adquieren una velocidad superlumínica (en nuestro caso, en la dirección X del reflector). Sin embargo, como hemos visto, dichas partes, distinguibles una de otra, en su interacción punto a punto con la superficie reflectora sí poseen CC, pero no las transmiten ni transfieren en la dirección en que las partes del frente de onda se mueven superlumínicamente. Por tanto, no sólo cada parte del frente de onda posee CC que no se transmiten en la dirección del movimiento con V_f superlumínica, sino que, además, no muestran ni pueden mostrar, como una secuencia completa, identidad en el tiempo.

5. Ontología en óptica ondulatoria: PC, PSP, TWG y SWG

En Salmon 1994, W. Salmon demuestra su escepticismo acerca de la distinción PC-PSP de Dowe proponiendo un contraejemplo según el cual el conjunto de las partes de una pared iluminadas por un rayo de luz supera la velocidad C -si se acepta el criterio de posesión de este último- pues mostraría que puede haber PSP que no transmiten CC pero que de hecho las poseen. En palabras de Salmon, este es el caso si consideramos "la línea de mundo de la parte de la superficie de la pared que está absorbiendo [punto a punto] energía como resultado de ser iluminada" (Salmon 1994, 308) pues este objeto mereológico artificial o *gerrymandered* (como lo llama Dowe) poseería energía, pero no la transmitiría. La réplica al contraejemplo es lo que efectivamente llevará a Dowe a ampliar su ontología introduciendo los simuladores causales que ya hemos analizado en detalle en este artículo. Esta es su respuesta:

.Así, volviendo al ejemplo de Salmon del agregado de las partes de la pared iluminadas secuencialmente, podemos ver que, aunque se genera mediante una

¹²Por último, decir que el producto de las ecuaciones a) y b) ($V_f \times V_g$) da como resultado C^2 , término, que al relacionarlo con el concepto de cuadrivector de la relatividad especial, dará como resultado $C^2 = E^2/p^2$, donde E es la energía y p el momento lineal. Esto es coherente con la idea de que la luz propaga, por un lado, momento lineal en el sentido del rayo, y, por otro lado, energía, distribuida básicamente en el frente de onda extenso. Además, desde la teoría electromagnética de Maxwell, se cumple que $C^2 = E_m^2/B_m^2$, donde E_m y B_m son los valores máximos del campo eléctrico y magnético (para más detalles véase Serway y Jewett 2008, caps. 34 y 39).

única descripción, implica cierta uniformidad y muestra una continuidad espacio-temporal, se trata sin embargo de un *timewise gerrymander*, y no de un objeto en mi definición, ya que no muestra identidad en el tiempo. La mancha en sí es un objeto (aunque no es causal), y la parte completa de la pared es un objeto (como las diez bolas de billar), pero el *timewise gerrymander* no lo es. Por lo tanto, no es un proceso de ningún tipo, y mucho menos un proceso causal; en mi opinión, es basura espacio-temporal."(Dowe 2000, 101).

Finalmente, Dowe complementa, como hemos visto, los TWG con los SWG (aunque definidos de una manera -tal vez demasiado- intuitiva).¹³

Lo fundamental para nosotros de esta respuesta es que, en este escenario físico, Dowe reconoce ahora que, para dar respuesta a fenómenos como los señalados por Salmon, debemos analíticamente distinguir tres elementos cuasi causales: (i) el PSP creado por el movimiento lateral del rayo de luz o secuencia de incidencias del rayo en la pared (ii) el conjunto de partes o parches de la pared que como un todo (como el caso de las diez bolas de billar) forman un SWG y (iii) el agregado completo y secuencial de parches iluminados que se forma en la pared como efecto de su extensión en el tiempo.

Como se observa en la cita anterior, el problema presupuesto por ellas se relaciona desde el punto de vista de los fenómenos lumínicos -que es nuestro foco de interés en el presente trabajo- con la cuestión de cómo interpretar puntos de luz y trazas de ella. La respuesta invocada por Dowe es distinguir, como vimos, entre TWG y SWG. Hacia el final de la última sección, mostramos que esa respuesta no se hace cargo del análisis de sus implicaciones en relación a los elementos locales y aquellos extensos presupuestos en los frentes de ondas de luz. Este descuido analítico lleva, a su vez, a Dowe a interpretar como un PSP un fenómeno que no puede calificar como tal pues posee CC y, sin embargo, carece de identidad en el tiempo, contra todo lo que suponía su respuesta. En lo siguiente consolidaremos estas consecuencias reflexionando sobre los fenómenos de óptica ondulatoria, que ya mostramos, y que se mantienen en línea también con lo que Dowe originalmente propuso.

Para realizar lo anterior retomaremos, en particular, la imagen *a* de la figura 11 de la sección anterior, destacando las entidades asociadas a los todos mereológicos creados por cada frente de onda y las distintas partes de la superficie reflectante (como las ya mencionadas diez bolas de billar). Debemos preguntarnos entonces cómo los caracterizaría Dowe, de acuerdo a su propuesta ontológica tetrádica. Para ello, trazamos óvalos puntuados en el frente de onda y en la traza que seguiría la línea reflectora de las partes del frente de onda o rayos lumínicos en la superficie del reflector, línea que además marcamos con puntos discretos.¹⁴

¹³Dowe 2000, 99.

¹⁴Hay diferencias cuantitativas tanto de trayectorias como de energía absorbida entre un frente de onda reflejándose en una pared opaca y otro reflejándose en un espejo pulido, sin embargo, desde el punto de vista de los elementos cualitativos de las CC involucradas estamos frente al mismo tipo de discusión.

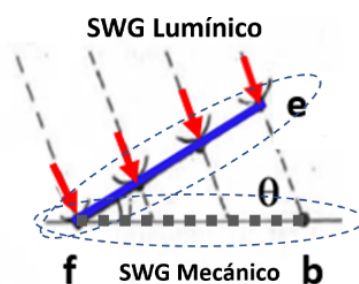


Figura 12: Representación de una extensión de coexistentes lumínicos y mecánicos.

Lo primero que debemos individualizar en este nuevo escenario ontológico son obviamente los procesos causales (PC). Es evidente que, en conformidad con dicha imagen, y de acuerdo con el lenguaje de la teoría de CC de Dowe, las partes de la onda de luz representada por los rayos de luz de color rojo, que avanzan en la dirección diagonal, son PC de luz genuinos que se tramiten con velocidad C^{15} . En segundo lugar, deberíamos enfrentar ahora la cuestión de qué contaría como un PSP en el tiempo que se produce la interacción de la luz con la superficie reflectante de la pared. La respuesta directa de Dowe, como vimos anteriormente, es que corresponde a la velocidad de fase. Es decir, corresponde a la traza que se forma en la dirección en que aparenta moverse, como consecuencia de la interacción del frente de onda con el medio reflectante. Sin embargo, la pregunta es si es físicamente plausible en la ontología extendida de Dowe, tal como la hemos interpretado, aceptar esa respuesta. Como esta cuestión resulta crucial en nuestra reinterpretación, postergaremos su respuesta hasta que hayamos respondido las cuestiones previas de qué contaría como un SWG y un TWG en este escenario.

Retomemos el análisis de los elementos de la imagen. Concentrémonos en el frente de onda, representado por la línea azul, y la línea reflectora en el espejo, representada por puntos discretos. Lo importante es darse cuenta ahora que ambos constituyen, en realidad, manifestaciones de SWG. El primero sería un SWG lumínico, esto es, una entidad lumínica extensa que (como se sigue del análisis hecho en la sección anterior) posee CC como un todo mereológico y cuyas partes coexisten en una línea perpendicular a la dirección en que se mueven y transmiten los PC lumínicos. La segunda línea que va de **f** hasta **b**, constituida por los distintos lugares coexistentes que forman la traza en el espejo reflector, sería ahora otro SWG pero de naturaleza material o mecánica, y que también posee, como un todo, CC. Esta correspondería a la situación física previa a la interacción de la onda de luz con la pared reflectora. Sin embargo, necesitamos ahora caracterizar ontológicamente el proceso completo, lo que hacemos en el escenario que mostramos abajo en la figura 13, desde la imagen **a** hasta la **d**. Esto implica caracterizar la secuencia temporal completa, pues es el efecto de dicha interacción, como vimos, lo que Dowe califica como un PSP. En ella vemos de inmediato que la imagen **a** captura el SWG previo a la interacción con la pared reflectora y las restantes la interacción con ella.

¹⁵Son PC genuinos debido a que poseen CC, tienen identidad en el tiempo y transmiten sus CC en la dirección en la que se mueven.

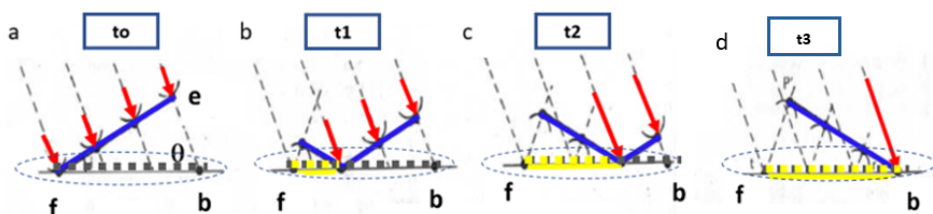


Figura 13: Ilustración de la secuencia temporal, punto a punto, del proceso de reflexión de la luz en la superficie reflectora.

Volvemos entonces a preguntar qué representa en términos ontológicos la secuencia de partes iluminadas desde **f** hasta **b**, que, en otras palabras, corresponde a la misma pregunta que implicaba el contraejemplo formulado por Salmon a Dowe. Ateniéndonos al análisis realizado en la sección anterior, diríamos entonces que las distintas partes sucesivas de la pared material reflectora extensa, que se iluminan desde **f** hasta **b** durante el tiempo de barrido, corresponderían a un TWG material, porque, según Dowe, aunque cada una de sus partes posee CC¹⁶, la entidad como un todo constituye más bien una suma mereológica que no tiene identidad en el tiempo, en la dirección espacial en la que aparece. De ahí que para Dowe resulta inocuo que dicho TWG sea superlumínico. Sin embargo, como ya hemos argumentado en las secciones iniciales, el trazo de pared completo utilizado en el TWG superlumínico descrito para un observador, resultará ser, para un segundo observador en movimiento relativo, un conjunto de puntos coexistentes simultáneos. Es decir, para este segundo observador sería el inicio de un SWG, tal como las diez bolas de billar que menciona Dowe en sus ejemplos de SWG mecánicos.

Por otra parte, ya que los puntos de luz (vistos como la incidencia de los componentes del frente de onda representadas por rayos en la imagen y que barren y forman la línea amarilla) son distintas partes del frente de onda, donde cada una de ellas posee CC en la dirección en que golpean o inciden sobre la superficie, el conjunto sucesivo de puntos lumínicos móviles distintos -por ser un objeto sin identidad en el tiempo en la dirección del movimiento en la pared- debe corresponder entonces a un TWG de radiación lumínica. Aún más, se trata, como se explicó al final de la sección anterior, de un TWG superlumínico que se gesta a partir del frente de onda que cae sobre la superficie o pared reflectante secuencialmente. Es decir, se origina de la llegada a la superficie reflectante de las partes coordinadas de un SWG lumínico o de radiación, en otra dirección. Además, al considerar distintos sistemas de referencia en el marco de la TRE, este TWG de radiación lumínica que viaja superlumínicamente en la dirección **X** por la superficie reflectora, como hemos mostrado exhaustivamente previamente, se revelaría como parte de un SWG para otro observador en movimiento relativo y por tanto, mostraría la vinculación genealógica entre un TWG y un SWG. Como ya hemos indicado, en Quezada & Pavez 2024 argumentamos en detalle a favor de esta tesis para procesos mecánicos. Dado esto, parece inevitable concluir ahora que, al igual que en el caso de tales procesos, en el caso de

¹⁶Dichas CC corresponden a la naturaleza material y mecánica de la superficie reflectante. Por otro lado, aunque la reflexión que mostramos es especular e ideal, es claro que siempre que hay reflexión de luz en una superficie reflectante especular hay un porcentaje de energía, aunque pequeño, que es absorbido por la superficie. Sin embargo, es importante enfatizar que lo que buscamos mostrar aquí es que, con independencia de si las partes energéticas de luz se reflejan o se absorben como efecto de la interacción, en la dirección en que aparece el movimiento superlumínico no hay transmisión de CC, ni en la propia secuencia de luz ni tampoco en la secuencia material del espejo.

estas cuasi entidades creadas por los frentes de onda no se presentan PSP y, por tanto, no hay entidades con identidad temporal involucradas en la dirección del movimiento aparente. Y está claro que en el caso de la secuencia completa de puntos lumínicos en la superficie o pared reflectante en la dirección del movimiento aparente de los puntos de luz lo que hay es un TWG, una cuasi entidad que también carece de identidad objetiva temporal, con cantidades conservadas en cada una de sus partes, pero que no las transmite en la dirección de la secuencia. Es decir, una entidad que cumple claramente con las propiedades 2 y 3 de todo TWG, como señalamos en la segunda sección de este trabajo.

6. Cerrando la ontología procesual no causal: ¿necesitamos los PSP?

Si dado que, en los casos de óptica ondulatoria favorecidos por Dowe para mostrar la realidad de los PSP y basados en la distinción entre velocidad de fase y velocidad de grupo, parece evidente, según lo que hemos argumentado, que aquellos procesos pueden (y deberían) ser reducidos a simuladores físicos, es inevitable plantearse si requerimos en algún sentido la primera categoría en la formulación de cualquier ontología procesual. Otro ejemplo físico paradigmático propuesto por Dowe para motivar la necesidad de admitir este tipo de entidades es el caso de las sombras.¹⁷ Los demás fenómenos (trazas de láser superlumínicas o fenómenos ondulatorios, entre otros), como hemos propuesto, pueden todos quedar capturados por la categoría de los TWG. Sin embargo, hasta ahora no hemos dicho nada acerca de las sombras en particular. Esta sección final busca explorar las razones para, primero, reconsiderar la interpretación de este fenómeno físico en la teoría de Dowe y, en segundo lugar, sugerir que claramente las sombras no pueden ser PSP y deberían ser reclasificados como alguna forma de simuladores físicos. En esta sección sólo sugeriremos las líneas básicas de nuestra argumentación, la que requeriría muchos detalles técnicos que excederían los límites y las pretensiones del presente artículo.

6.1. Las sombras como no entidades

Resulta relativamente fácil especificar la interpretación de sentido común de las sombras pues es tal vez uno de los fenómenos relacionados con la luz con el cual inescapablemente debemos convivir todos los días. Si uno quisiera caracterizar dicha interpretación debería seguramente acordar con los siguientes puntos:

- a. Una sombra es ausencia completa de luz como resultado de la proyección de esta sobre cualquier superficie.¹⁸
- b. Una sombra no puede poseer información física (por ejemplo, energía) en la medida que es el resultado de bloquear su transmisión

¹⁷Cf. Dowe 2000, pp. 64, 76, 77, 86, etc.

¹⁸Según el Diccionario de la RAE (<https://dle.rae.es/>) las dos primeras acepciones de la palabra 'sombra' son: 1. Oscuridad, falta de luz, más o menos completa. 2. Imagen oscura que sobre una superficie cualquiera proyecta un cuerpo opaco, interceptando los rayos directos de la luz.

- c. Una sombra no es ningún tipo de entidad, aunque dependa de la relación entre ellas
- d. Una sombra, por c, no puede poseer identidad a través del tiempo
- e. Una sombra proyectada se puede mover en cualquier rango de velocidades, incluso de manera superlumínica

Esta concepción de sentido común, enfrentada a un examen mínimo desde la perspectiva de una física básica de la luz, termina, en el caso de **a** y **b**, por ser refutada de manera simple. Sobre **a** es claro primero que no parece haber nunca ausencia completa o absoluta de la luz. Como sabemos, en física se acostumbra a describir fenómenos de dispersión de la luz en la multiplicidad de objetos que rodean localmente a una sombra, y la implicación natural es que siempre hay en ellas presencia atenuada de luz dispersa. Así, parecería más razonable definir una sombra como la presencia parcial de luz con relación a su entorno. Para mostrar que esta redefinición funciona en principio, es necesario, como ya dijimos, apelar a algún modelo físico preciso para estudiar fenómenos lumínicos. Usaremos inicialmente, para este propósito, el modelo óptico geométrico. De acuerdo con este modelo, la luz en su estructura básica se propaga de manera rectilínea como un conjunto de rayos dirigidos que emergen de una fuente puntual. La propagación rectilínea de los rayos de luz emerge desde la fuente puntual con simetría esférica en todas direcciones. Por lo tanto, resulta obvio imaginar que un objeto opaco que obstaculiza el paso de la trayectoria recta de la luz, proyectará una sombra.¹⁹ Una forma simple de representar esto se muestra en la siguiente imagen.

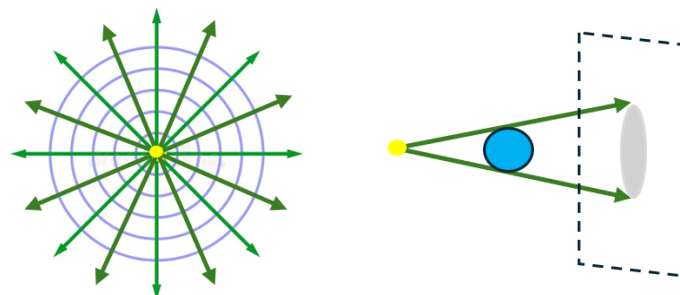


Figura 14: Ilustración de una fuente puntual de luz que diverge con simetría esférica. A la derecha un objeto opaco bloquea el camino rectilíneo de la luz para producir una sombra común.

Sin embargo, esta imagen que ha sido elaborada sin considerar el contexto de interacción con otros objetos sugiere todavía que efectivamente, al considerar sólo la luz que proviene de la fuente puntual, puede haber sombras que sean el resultado de ausencia absoluta de luz. No obstante, al considerar un entorno de objetos reales, donde la luz se refleja y se dispersa en ellos, como se muestra a continuación, la zona original sombreada estará siempre recibiendo rayos de luz dispersos, generando en la zona de la sombra original la presencia de luz degradada.²⁰

¹⁹Si dos partes puntuales y locales de un emisor de luz extenso, por ejemplo, del Sol, emiten al mismo tiempo luz hacia un objeto opaco y extenso, se genera una proyección con una zona llamada umbra y otra zona llamada penumbra, como ocurre en un eclipse solar. No lo ilustramos ni describimos en el cuerpo del artículo por no ser relevante para nuestra argumentación.

²⁰Decimos luz degradada por el hecho de que al sufrir reflexiones en uno o más objetos del entorno ha ido

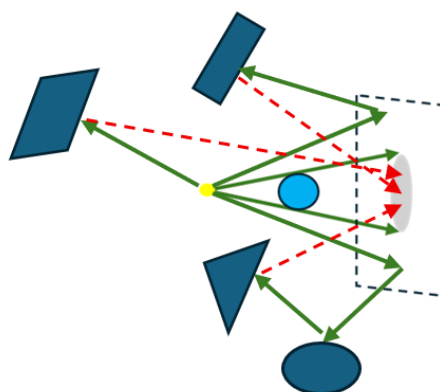


Figura 15: La luz que sale de la fuente puntual amarilla se refleja tanto en la pantalla como en los objetos del entorno enviando luz dispersa y atenuada hacia la sombra que se ha formado en la pantalla, iluminándola gradualmente. Aunque la figura muestra una sola fuente emisora de luz también puede darse el caso de tener varias fuentes de luz a distintas distancias.

De esta manera, afirmar que una sombra es ausencia absoluta de radiación lumínica resulta refutado de manera intuitiva al tomar en cuenta la reflexión múltiple de la luz y su dispersión. Una confirmación simple de esto queda de manifiesto en la siguiente cita de físicos tratando cuestiones de luz y sombras.

“Las sombras proyectadas al aire libre nunca son completamente oscuras. La luz dispersada por el cielo y reflejada por superficies cercanas contribuye a su iluminación. Un fotómetro puede detectar esta luz residual, incluso cuando el ojo humano percibe la sombra como muy oscura.” (Lynch & Livingston, 2001).

Este hecho, relativamente bien conocido en física, sugiere entonces que hay información lumínica en toda sombra, tanto las sombras que se gestan de día (debido a la luz del sol) como las que se gestan de noche (debido a focos artificiales y estrellas lejanas), y que, desde una perspectiva estrictamente física y no fenomenológica, incluso en una sombra que nos parezca completamente oscura, habrá luz. Es decir, todas las sombras tienen información física relevante.²¹ Como consecuencia de esto, las características **a** y **b** del sentido común, como se comentó más arriba, resultan obviamente insostenibles. Ahora bien, evaluar las características **c**, **d** y **e** nos llevará a avanzar a la concepción más sofisticada de las sombras que ha defendido precisamente Dowe y que, en el contexto de este artículo, resulta de toda pertinencia analizar, pues, como indicamos, para él representan uno de los ejemplos paradigmáticos de un PSP.

perdiendo su intensidad. Además, el término degradada permite distinguir la luz dispersa de la luz directa. En la imagen, la luz que es representada por líneas segmentadas es luz degradada que llega a la sombra proveniente del entorno.

²¹Para datos físicos de mediciones de la presencia de luz apelando a sombras en ámbitos no cotidianos, en particular, en cosmología física, véase Mattila *et al.* 2017 (pp. 2133-2151). Véase también para ejemplos observacionales en óptica ambiental, Marcel, M. 1993, que añade ejemplos observacionales y prácticos en exteriores mostrando la misma conclusión desde la óptica ambiental.

6.2. Las sombras como pseudoprocesos

Es claro que Dowe debería estar de acuerdo a lo menos con la característica *b* del sentido común, dada su definición canónica -explicitada en la primera sección de este trabajo (1.2)- de lo que es un PSP. Esa definición implica obviamente que ellos no pueden poseer cantidades físicas. Y, por ende, no portan información que satisfaga cualquier ley de conservación física, por ejemplo, información lumínica con CC. Pueden no obstante tener otras propiedades como velocidad, magnitud, etc. Pese a este acuerdo, la concepción procesualista de Dowe supone un rechazo directo de las características *c* y *d* arriba -aunque no de la *e*-, dada la definición de PSP que sintetizamos en la primera sección, que implica que las sombras son entidades físicas genuinas (PSP) y que, por esa razón, poseen identidad en el tiempo, la que heredan de manera atenuada de los objetos que las proyectan. No obstante, el hallazgo común que las sombras poseen información lumínica relevante y que dichas partes lumínicas son distinguibles permite cuestionar directamente cualquier tesis de identidad temporal de las sombras. Una contraargumentación intuitiva a la concepción de Dowe la ofrece Casati, al poner en duda la pretendida identidad en el tiempo de una sombra como PSP, en el siguiente pasaje más bien largo:

“Al salir de la habitación apago la luz y poco después, cuando regreso, la vuelvo a encender. La sombra de la estatua sobre la mesa antes que se apague la luz ¿es la misma también después de volver a encenderla? Si decimos que es la misma aceptamos la existencia de extrañas entidades intermitentes [...] Si este hecho no nos gusta hemos de responder que hay dos cosas diferentes: la sombra presente antes que yo apagase la luz y la presente después de haber vuelto a encenderla, ¿en qué son diferentes? La lámpara, la mesa y la estatua son las mismas antes o después [...]. Por lo tanto, ha de haber algún otro factor que determina la diferencia. Por ejemplo, la emisión de luz. Es un proceso que seguramente tiene fases diferentes en el tiempo: los fotones que emitió la lámpara antes que yo saliera de la habitación son distintos de los que emitió después que yo volviera a entrar. Pero aquí hay un problema: en cada instante llegan nuevos fotones, por lo tanto, si la identidad de la sombra depende de los fotones, la estatua crea sobre la mesa una sombra distinta mucho más a menudo de lo que quisiéramos: ¡a cada instante hay una sombra nueva! Hemos de llegar a la conclusión de que si las sombras nos parecen entidades con una vida en el tiempo [...] en realidad se trata de una ilusión, de una simplificación de la mente. La sombra entre las seis y las siete es en realidad la suma de innumerables sombras instantáneas. Por lo tanto, estamos ante un dilema: o aceptamos que las sombras son intermitentes, o hemos de aceptar la idea de que su persistencia sea solamente una ilusión.” (Casati 2001, p.57)²²

Aunque en la cita el autor trata la luz como si fuera un conjunto de fotones, la descripción

²²Aunque Casati se refiere a fotones y nosotros, en esta parte, estamos asumiendo un modelo clásico de óptica geométrica, la manera de describir un flujo de fotones en un instante, para diferenciarlos de otro grupo en otro instante, es completamente compatible con una descripción clásica de partes del haz de luz en un instante diferenciándose de partes de luz en un instante posterior. Ambos modelos permiten la distinción clásica y por lo tanto identificar la luz degradada de la sombra como un agregado mereológico a través del tiempo. Es decir, partes distintas de luz degradada en distintos tiempos, lo que vuelve innecesario atribuirle cualquier identidad en el tiempo a una sombra. Cf. además Casati 2003, p.45, para argumentos adicionales sobre identidad de las sombras.

relevante no cambia al considerar un modelo geométrico para la luz. La sombra se constituiría por las diferentes partes de la luz, tanto por las partes del flujo que llegan directamente desde el entorno como por la luz dispersa y degradada que llega a la sombra. Es decir, son partes distintas del flujo de luz en diferentes tiempos.

Los hechos anteriores, bien establecidos en física, sugieren a primera vista que tanto las tesis sobre sombras del sentido común como las de P. Dowe, son simplemente insostenibles y, consecuentemente, que no hay ninguna necesidad ontológica de inscribir tales fenómenos en la categoría de los PSP.

Por otro lado, se sabe que, bajo un modelo de óptica física u ondulatoria, la luz puede difractarse o interferir, cumpliendo con el principio de superposición, de acuerdo al cual la suma de amplitudes puede generar zonas de luz brillantes y zonas oscuras (sombras). Aunque resulta intuitivo imaginar que las franjas oscuras de un patrón de interferencia también pueden albergar luz dispersa por reflexión con el entorno, parece completamente contraintuitivo y desafiante intentar unificar la noción de sombra que emerge en este caso, con la de sentido común que surge simplemente del bloqueo de la luz de acuerdo a un modelo de óptica geométrica. Mucho más desafiante aún será abordar el examen de las posibles sombras espectrales que aparecen en un espectro de absorción en óptica cuántica y encontrar de ser posible, una única y gran categoría de lo que es, en un sentido amplio, una sombra.

Responder a estas últimas cuestiones implica, como se puede presumir, acudir a un análisis más profundo de la relación luz-sombra y apelar, por lo tanto, a modelos más complejos de tratamiento de la luz, como lo son el modelo ondulatorio y el modelo cuántico de esta última. Esta tarea, que implicaría una categorización de distintos tipos de sombras, que iría, por cierto, mucho más allá de la concepción del sentido común de las sombras y que, presumiblemente, implicaría reclasificar los PSP como un tipo especial de TWG, deberá ser materia de un trabajo futuro. Por ahora, nos conformamos con haber mostrado, bajo la mirada de un tratamiento intuitivo de óptica geométrica, que las sombras efectivamente son poseedoras de CC y que se pueden entender como todos mereológicos lumínicos (al igual que las manchas o parches de luz) sin necesidad de apelar metafísicamente a su identidad en el tiempo, como presupone el enfoque de Dowe.

Conclusiones

De acuerdo a lo argumentado extensamente en este artículo, hay un conjunto de conclusiones que se pueden enunciar sintética y claramente de la siguiente manera.

- a. No hay razones físicas (ya sea en el caso de procesos relativistas mecánicos, electromagnéticos, o lumínicos) para poder mantener una distinción absoluta entre TWG y SWG, es decir, una distinción esencial entre simuladores físicos.
- b. De la misma manera, para procesos asociados a fenómenos ondulatorios, en particular, fenómenos ópticos que involucran velocidades de fase, hemos concluido, contra todo lo que propone Dowe, que no hay razones para catalogarlos como PSP sino más bien como simples TWG de naturaleza lumínica.
- c. En tercer lugar, es evidente de nuestra argumentación que el rasgo metafísico fundamental que le permite a Dowe hacer una distinción fundamental en su ontología tetrádica entre

los TWG y el resto de las entidades procesuales, esto es, la identidad temporal de las últimas, tampoco encuentra sustento en las propias teorías físicas a las que él apela. Como mostramos, ésta es una consecuencia de la indistinción básica entre los TWG y los SWG, en la medida que los primeros no pueden gozar de tal rasgo metafísico.

- d. En la sección final hemos argumentado de manera general que las sombras se deberían interpretar físicamente al igual como se interpretan las manchas o las trazas de luz, sólo que, en su caso, la información lumínica (o fotónica) resultará siempre degradada o atenuada. Junto con eso, hemos sugerido que ellas, desde esa perspectiva, no parecen exhibir ninguna forma de identidad a través del tiempo, aunque se comporten como todos mereológicos temporales, de manera semejante a como lo hacen los TWG. Esto no sólo contraría la visión de sentido común de las sombras como ausencia absoluta de luz, sino la propia visión Salmon-Dowe que presupone que ellas no portan CC ni por tanto las transmiten.
- e. Finalmente, si el supuesto compartido por ambos filósofos de que las sombras deben ser calificadas de manera paradigmática como PSP queda expuesto a un claro cuestionamiento y se asumen nuestros argumentos físicos previos sobre otras entidades pseudoprocusuales, es inevitable concluir que la categoría entera de los PSP parece resultar ontológicamente dispensable. Si ese es el caso, toda la ontología tetrádica de Dowe debe sufrir una reducción radical que, a nuestro juicio, sólo requeriría de dos entidades, PC y simuladores temporales. Aunque hemos ofrecido fundamentos sólidos para avanzar en esa dirección, se requiere aún argumentación adicional para consolidar esa reducción.

Bibliografía

- Casati, R. *El descubrimiento de la sombra*. Madrid: Editorial Debate, 2001.
- Casati, R. *The shadow club*. New York: Alfred A. Knopf, 2003.
- <https://doi.org/10.1007/s12136-009-0074-0>
- Dowe, Phil. "Wesley Salmon's Process Theory of Causality and the Conserved Quantity Theory." *Philosophy of Science*. 59. 2 (1992): 195-216. <<https://doi.org/10.1086/289662>>
- Dowe, Phil. "Causality and Conserved Quantities: A Reply to Salmon." *Philosophy of Science*. 62. 2 (1995a): 321-333. <<https://doi.org/10.1086/289859>>
- Dowe, Phil. "What's Right and What's Wrong With Transference Theories." *Erkenntnis* 42. (1995b): 363-374. <<https://doi.org/10.1023/A:1005374229251>>
- Dowe, Phil. *Physical Causation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. <<https://doi.org/10.1017/CB09780511570650>>
- Hitchcock, Christopher. "Causal Processes and Interactions: What Are They and What Are They Good For?", *Philosophy of Science*, 71. (2004): 932-41. <<https://doi.org/10.1086/425236>>
- Jenkins, F. and White, H. *Fundamentals of Optics* (4th edition), New York: McGraw-Hill, 2001. [https://doi.org/10.1016/0371-1951\(58\)80048-x](https://doi.org/10.1016/0371-1951(58)80048-x)

- Kistler, Max. Reducing Causality to Transmission." *Erkenntnis*. 48. (1998): 1-24. <<https://doi.org/10.1023/A:1005374229251>>
- Kistler, Max. *Causalité et lois de la nature*. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1999.
- Lynch, D. K., y Livingston, W., *Color and Light in Nature*, Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- Marchenko, O., Kazantsev, S. y Windholz, L. *Demonstrational Optics*, New York: Springer Science, 2003.
- Marcel, M. *Light and Color in the Outdoors*. New York: Springer, 1995.
- Mattila K., Lehtinen, P. Väisänen, G. von Appen-Schnur, Ch. Leinert, "Extragalactic Background Light: a measurement at 400 nm using dark cloud shadow. Low surface brightness spectrophotometry in the area of Lynds 1642" *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 470, 2. (2017): 2133–2151. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx1295>.
- Quezada, Wilfredo y Pavez, Luis. "Causalidad, pseudocausalidad y medición". *Revista de Filosofía U. de Chile* 67 (2011): 251-268. <https://doi.org/10.4067/S0718-43602011000100016>
- Quezada Pulido, W.& Pavez, L. (2024). "Entidades físicas, identidad temporal y basura espaciotemporal: Una reconstrucción crítica de la ontología física de Dowe." *Revista Colombiana De Filosofía De La Ciencia*, 24(48). <https://doi.org/10.18270/rcfc.4303>
- Reichenbach, Hans. *The Philosophy of Space and Time*. Dover: New York, 1958.
- Salmon, Wesley. *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton: Princeton University Press, 1984. <<https://doi.org/10.2307/j.ctv173f2gh>>
- Salmon, Wesley. Causality without Counterfactuals." *Philosophy of Science*. 61. 2 (1994): 297-312. <<https://doi.org/10.1086/289801>>
- Salmon, Wesley. *Causality and Explanation*. New York: Oxford University Press, 1998. <<http://dx.doi.org/10.1093/0195108647.001.0001>>
- Serway, R. y Jewett, J. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (vol. 1). Santa Fe: Cengage Learning Editores, 2008. ISBN-13: 978-607-481-357-9.
- Sibley, M. *Introduction to Electromagnetism* (2nd ed.) Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2021. <http://doi.org/10.1201/9780367462703>