

Algunos principios de la física (y más)

para el curso de Física contemporánea 1

30 de marzo de 2021

1. Introducción:

No es posible proceder deductivamente para obtener la verdad, cada deducción implica un conocimiento verdadero previo y la clausura de esta recursión, el volver la recursión finita (y o la imposibilidad de proseguirla), nos lleva a puntos de partida que conocemos de manera imperfecta por otros mecanismos fundacionales como la intuición, y otros menos confiables como los hábitos, los consensos y la enseñanza/adoctrinamiento.

En una frase ya tenemos material de sobra para cuestionarnos. ¿Qué es la verdad? La damos por entendida, como si todos supiéramos de que se trata, pero a poco que averiguamos vemos que es elusiva. En realidad, todos esos conceptos que determinamos por apareamiento circunstancial de la palabra con un estado interno, en el sentido de que es alcanzable solo por la introspección, cobran o pueden cobrar valores distintos en cada uno de nosotros, son en alguna medida subjetivos.¹

También es subjetivo un concepto aún más endeble: ¿qué consideramos un argumento convincente? Si lo que yo considero un argumento convincente, un argumento que nos obliga a aceptar una conclusión, no fuera tal para los alumnos (o para algunos alumnos) habría un abismo radical difícil de cruzar.

La física por su parte procura conocer las reglas fundacionales la realidad objetiva. Esto presupone que existe algo que llamamos realidad, que está fuera de nosotros y que sigue reglas o leyes naturales. Sin ese presupuesto no hay nada que estudiar. La física se inscribe entonces en el *realismo*, **algo hay “ahí afuera**

¹La asociación de palabras y conceptos/ideas merece un capítulo aparte. En algún libro sobre la enseñanza de la física (cuyo autor tengo la dicha de olvidar) se sostenía la diferencia entre el pensamiento de la persona entrenada en física con la del niño/joven. Aparentemente algunos niños explicarían el ascenso y descenso de una piedra arrojada en la dirección local de la fuerza gravitatoria en estos términos: la mano le transfiere una fuerza a la piedra que la hace subir y cuando ésta se agota comienza a bajar. Cuestión ésta que al parecer es errónea. Errónea sí, con la asignación consensuada del significado de las palabras, pero reemplazando fuerza por momento lineal, o por energía cinética, el niño tenía una comprensión buena del fenómeno. Solo había asociado “mal” la palabra a usar. Donde “mal” significa “en desacuerdo con la arbitrariedad consensuada del lenguaje. Diríamos que el alumno hablaba física como un extranjero, ¿qué otra cosa se puede esperar en términos de ideas previas por parte de quien aún no fue introducido a la cultura? Lo que el comentario del autor hacía presente es su propia falta de consciencia del proceso de construcción del saber.

del sujeto” por conocerse que es independiente del sujeto. No lo puedo demostrar pero esta creencia es mi punto de partida, un principio de la física (y en general de las ciencias naturales). La independencia del sujeto es necesaria para que las leyes le sean propias y su mínima forma es la *intersubjetividad* y nuestra esperanza es la *objetividad*. **Lo real ha de ser objetivo o al menos intersubjetivo**, de lo contrario no sabemos de qué estamos hablando.

Estos requerimientos no son gratuitos, preexisten todo nuestro conocimiento (incluido el de la física) y le imponen requisitos a este. Por otro lado son minimalistas, existen formas de realismo que exigen mucho más, probablemente sin darse cuenta. Por ejemplo, a partir de los tiempos de Galileo, se difunde la idea de que Dios produjo las leyes del mundo real, pero se abstendría de intervenir en los asuntos de esa realidad. Por lo tanto sería posible leer/inducir estas leyes de Dios y Galileo propone que están escritas en lenguaje matemático en un célebre párrafo del “*Il saggatori*”. Los científicos serían así hermeneutas de los planos de Dios. De hecho, la Iglesia Romana concede este derecho a los científicos determinando que las cuestiones al alcance de la razón de los hombres se extienden hasta las observaciones que se producen dentro de la (¿menor?) esfera que contiene la órbita de la luna, más allá de la cual es el reino de los cielos librado al completo arbitrio de Dios. La disputa en “*Il saggatori*” tiene que ver con la pregunta: ¿las órbitas de los cometas pertenecen al mundo sublunar o al mundo de los cielos? No es una pregunta que pueda responderse midiendo, sino que hay que determinar qué forma del conocer se le debe aplicar al problema.

Más allá de la anécdota histórica que ilustra como puede haber pre-requisitos de lo pensable, importa ver que el requerimiento usual de *reproductibilidad de los experimentos*, es una simple aplicación de la idea de lo real como al menos intersubjetivo. Todo experimento ocurre en un lugar, con determinados aparatos, en determinado momento, bajo la atención de determinadas personas, ... Es a todas luces singular y subjetivo. Para extraer lo real de él tenemos que realizar una operación cognitiva, fijar la atención en determinadas cosas y sus relaciones, dejando de lado como “circunstancias” otras. Este proceso de logicización debe ser efectivo en otras circunstancias cualesquiera del experimento, es decir, otros experimentos en otras circunstancias que compartan la misma abstracción/idealización deben dar los mismos resultados luego del procedimiento de interpretación prescripto. Si tal es el caso diremos que nuestros resultados son objetivos. Si dieran resultados no del todo compatibles, es posible que pudiéramos atribuir las diferencias a las influencias de particularidades de los experimentos que no habíamos tenido en cuenta, cuestiones de diseño o elecciones de detectores, influencias de factores que no se habían considerado en la idealización previa. En tal caso, habría una manera de transformar lo observado en un experimento para que se corresponda con lo observado en otro, o lo que es lo mismo, abarcar en la explicación de los resultados al factor que antes no estaba incluido de tal manera de ampliar los factores determinantes de los resultados sosteniendo que ambos experimentos no eran exactamente iguales sino que diferían en el nuevo factor y que este “explica” las diferencias. Pero esto es una nueva explicación, una teoría nueva que debe ser sometida al mismo trato que la anterior. **En todo caso, siempre está implicada la habilidad**

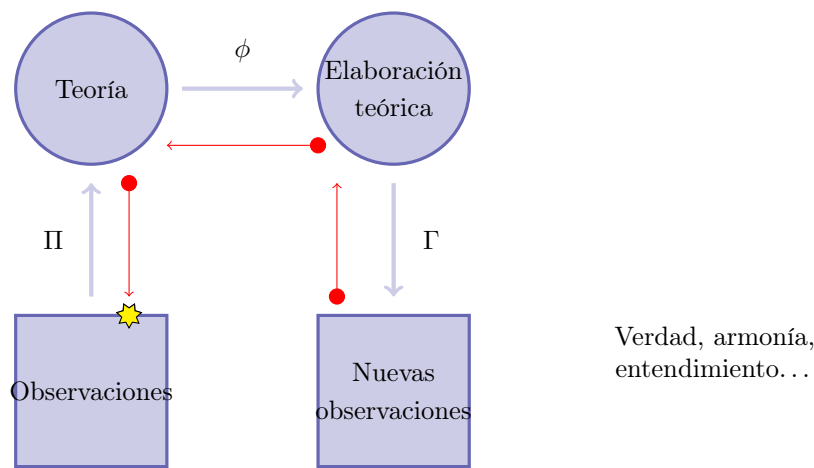


Figura 1: Esquema de la ciencia fundamental

de separar lo que proviene del objeto de lo que proviene del sujeto en ese encuentro que llamamos conocer.

Cuando ignoramos este proceso, que es lo más frecuente por otro lado, terminamos por creer que lo constituido por la intuición simple (Husserl, 1983) es lo real. Esto es injustificado y puede llevar a problemas serios pero difíciles de advertir pues están en un plano que no se somete a examen. Si mantenemos la diferenciación, la física no produce afirmaciones o descubre relaciones en lo real sino en lo ideado, el resultado del proceso de construir/esquematizar lo real en ideas. La física sería entonces un trabajo de producir ideas (hechos en Piaget y García (1989)) a partir de observaciones y establecer relaciones lógicas (teorías) entre estas ideas.

2. Requisitos de lo intersubjetivo

Demostremos un salto hacia lo abstracto. Supongamos que realizo un experimento en determinadas circunstancias, a , y encuentro una relación entre observaciones/mediciones $R(O_a) = 0$ (que siempre se puede escribir de esta forma al menos para relaciones exactas). Si se realiza el experimento en un segundo conjunto de circunstancias (otro laboratorio, otro equipamiento, ...), b , esperamos que si la relación es válida/general/real tengamos $R(O_b) = 0$, sea T_{ab} la transformación de las observaciones bajo una circunstancia a las observaciones bajo otra, $T_{ab}(O_b) = O_a$, resulta entonces que se pueden componer estas transformaciones pudiendo inferir los resultados esperables de una de ellas a partir de cualquiera de las otras por aplicación de la relación abstracta/teórica. Podríamos pensarlo como expresar la misma observación en diversos lenguajes, siendo T la traducción entre lenguajes. Para que estas traducciones sean meras perspectivas distintas de lo real, distintas miradas subjetivas, solo hace falta la coordinación

entre ellas, lo cual exige las relaciones

1. Las transformaciones se pueden componer, no existe experimento privilegiado, $T_{ab} \circ T_{bc} = T_{ac}$
2. Existe la transformación identidad consistente en no hacer nada, $T_{aa} = Id$
3. Existe la transformación inversa, $T_{ab}T_{ba} = T_{aa} = Id$
4. Las transformaciones se pueden asociar,

$$T_{ac}T_{cd} = (T_{ab}T_{bc})T_{cd} = T_{ab}(T_{bc}T_{cd}) = T_{ab}T_{bd}$$

Estas relaciones dicen que no existen experimentos/laboratorios privilegiados en la familia y que la manera en que voy hilando las realizaciones del experimento no son relevantes. Dicen también que lo intersubjetivo está relacionado por transformaciones que forman un grupo. Si las circunstancias de un experimento no cambian las leyes de la física, lo que **llamamos leyes de la física** es lo que queda al identificar con cero (se dice “sacar el módulo”) las relaciones observadas bajo circunstancias diversas que bien podemos considerar **arbitrariedades**. Este enunciado tiene elementos muy antiguos presentes en el *Principio de razón suficiente* de Leibniz y en los *principios de simetría* enunciados por Mach y Weyl. Sin embargo la síntesis de estos principios es reciente (Solari y Natiello, 2018) bajo el nombre de *Principio de no-arbitrariedad* (NAP, por su sigla en inglés).

Si lo objetivo puede ser aislado, se puede exigir un poco más. Supongamos que descompose una observación en lo objetivo que indico con letras griegas ($\alpha, \beta \dots$) y lo circunstancial que denoto con caracteres latinos, (a, b, \dots). Lo que voy a observar en el laboratorio es el resultado de lo objetivo y sus circunstancias, $\Gamma(\alpha; a)$ en un laboratorio y $\Gamma(\alpha; b)$ en otro laboratorio si se trata de la misma realidad α , en principio $\Gamma_a(\alpha) \equiv \Gamma(\alpha; a) \neq \Gamma(\alpha; b) \equiv \Gamma_b(\alpha)$.² Llamemos Π_a al mapa fenomenológico $\Pi_a \circ \Gamma(\alpha; a) = \alpha = \Pi_b \circ \Gamma(\alpha; b)$ nos dice que el contenido de realidad de lo observado en uno y otro lado es el mismo (aunque la proyección, Π_a , pudiera ser distinta en cada caso). La misma relación se puede escribir en término de las observaciones como $\Gamma(\alpha; b) = \Gamma(\Pi_a \circ \Gamma(\alpha; a); b)$. La función Γ es la interpretación que nos dice como se vería lo real α en las circunstancias dadas, a, b . Π es una proyección que se deshace de las circunstancias (la manera de hacerlo podría depender de esas circunstancias por eso escribimos Π_a) y Γ un “lift” que nos muestra lo esperable/observable de lo real en determinadas circunstancias. La relaciones $\Gamma_a \circ \Pi_a = Id$ (en el mundo observable)

²Si lo real es lo objetivo entonces lo observable, lo que llega a nuestra mente a partir de los estímulos recibidos por los sentidos no es real pues son hechos, interpretaciones de lo observable. ¿El mundo real es el mundo de las ideas como quería Platon (360 AC)? Pero a diferencia de Platón para quien el mundo de las ideas (o formas) es la matriz perfecta de la cual se hacen las imperfectas copias que conocemos (y somos). O de Aristotle (1994–2010) para quien está el mundo de las formas (ideas) y de las copias en arcilla (materia), para nosotros las formas no pre-existen ni son modelo de lo material sino que son un mundo poblado por nuestra acción de pensar y donde lo allí instituido puede ser destituido cuando lo creamos necesario/conveniente.

y $\Pi_a \circ \Gamma_a = \Pi_b \circ \Gamma_b = Id'$ (en el mundo de las ideas) nos dicen que las dos componentes del mapa fenomenológico no pueden distorsionar ni lo observable ni lo ideado. Pero hay una expresión más para estas relaciones: si observo algo, O_a , bajo ciertas circunstancias, a , lo instituyo en ideas como $\alpha = \Pi_a(O_a)$ para interpretarlo luego en nuevas circunstancias, b , espero observar (si mi construcción de la relación forma/materia es aceptable) $\Gamma_b(\alpha)$. La operación de construir el problema en ideas para luego interpretarlo me da observaciones distintas según las circunstancias, pero estas observaciones son equivalentes. La manera de transformar observaciones es: $\Gamma_a \circ \Pi_b \equiv T_{ab}$. **Si lo objetivo existe este es necesariamente intersubjetivo.**³ Pero pudiera ser que solo exista lo intersubjetivo. Pero lo intersubjetivo implica lo objetivo si definimos como objetivo aquello en común que queda si anulamos las distinciones que realiza lo arbitrario. Esto se verá claramente en la discusión del espacio.

3. Las relaciones espaciales y el espacio

Nos dice (Jean Piaget, 1999) que la noción de espacio como la noción de tiempo son el resultado de un proceso de “construcción de lo real” en el niño. Aparece aquí un complejo de conceptos relacionados. Complejo porque lo que ocurre con ellos es que están interdefinidos, cobran sentido solo en relación unos a otros. El objeto, el cuerpo, implica una noción de identidad, de permanencia, pero no hay noción posible de permanencia sin noción de cambio, ni de cambio sin algo que no sea permanente. Solo si ponemos el cuerpo, en el espacio en función del tiempo tenemos un cuadro pensable. El cuerpo (lo permanente, lo que tiene identidad) ocupa distintas posiciones en el espacio (lo que cambia) en distintos momentos (el tiempo, la forma abstracta del cambio). Incluso aparece algo más, el yo, porque esa posición no es más que la ubicación relativa al yo, el observador. Esta es la forma en que estructuramos las relaciones más sencillas entre lo material.

La noción del espacio podría plantearse desde las instrucciones necesarias para recuperar un juguete. Por ejemplo: desde aquí, dirígete hacia las flores de trébol y desde estas, hacia el tronco del lapacho. Rodea el tronco y del otro lado del mismo encontrarás sobre la primer rama el juguete. Estos movimientos están descriptos en términos de traslaciones entre marcas, cada traslación está descripta por una instrucción x_{ij} que implica trasladarse de la marca i a la j . Las traslaciones posibles son del tipo $x_{ik} = x_{ij} + x_{jk}$ que establece la ley de composición como concatenar traslaciones. Esta estructura tiene también sus propiedades. Existe una traslación nula x_{ii} que nos deja en el lugar y simbolizamos con 0, existe una traslación inversa de cada una, $x_{ij} + x_{ji} = x_{ii}$, (simbolizamos $x_{ij} + x_{ji} = 0$, y llamamos a la traslación inversa, $x_{ji} \equiv -x_{ij}$) y a cada instructivo le podemos poner los pasos intermedios que queramos sin importarnos como asociamos esos pasos intermedios, el resultado final será siempre “alcanzar el juguete”. Es decir $x_{im} = x_{ij} + x_{jk} + x_{km} = x_{ij} + (x_{jk} + x_{km}) = (x_{ij} + x_{jk}) + x_{km}$

³Ejercicio: demuestre que con esta definición y las propiedades dadas referentes a la identidad, se cumplen las condiciones para formar un grupo por las transformaciones T .

es decir, tenemos que las instrucciones forman un grupo. Estas nociones de grupo, sin la forma abstracta, las genera el niño y los alumnos llegan al colegio con ellas. Gracias a René Descartes tenemos otra forma de dar instrucciones. Fijamos tres referencias respecto a nosotros, 0, llamadas $\hat{e}_{01}, \hat{e}_{02}, \hat{e}_{03}$ que corresponden a un desplazamiento unitario en la dirección de nosotros a tres objetos en el jardín. Damos la instrucción como el destino final de la búsqueda: $x = b_1\hat{e}_{01} + b_2\hat{e}_{02} + b_3\hat{e}_{03}$ y si el punto de partida no fuera nuestro lugar, aplicamos primero la traslación que implica venir a nuestro lugar desde el punto de partida, $x_0 = -(a_1\hat{e}_{01} + b_2\hat{e}_{02} + b_3\hat{e}_{03})$ donde el signo $-$ quiere decir inversa. Así, $x_0 + x$ es la instrucción total. Si uno se adentra en la estructura de los objetos $\{x\}$ y sus relaciones encuentra el **espacio euclídeo**.

Lo que **estamos haciendo es fenomenología**, construyendo objetos matemáticos desde intuiciones o percepciones previas. No asombrarse de que la matemática sea tan ubicua, fue construida para ello. Los puntos del espacio son entonces las posiciones que pueden ocupar los cuerpos en relación a un lugar de referencia, en la génesis, el yo. Los libros suelen decirnos que el espacio es homogéneo e isótropo, pero no suelen decirnos por qué. Los puntos del espacio tienen dos conjuntos de referencias arbitrarias: la posición del yo y la orientación de los vectores de referencia. Cualquier referencia que yo haga a relaciones entre objetos, para ser reales u objetivas, deben ser independientes de estas arbitrariedades. Si decidimos darle entidad al espacio (como hace el subjetivismo) debemos afirmar que **el espacio es isótropo y homogéneo**. No se trata de propiedades observadas como son las propiedades de los objetos, se trata de requisitos para que la noción sea de utilidad en la descripción de lo real. Así descrito, el espacio es un cómodo auxiliar de la descripción.

Pero la historia del espacio es tortuosa. Para Leibniz era como lo describimos, solo tenían sentido las relaciones espaciales. Newton prefiere primero abstenerse de emitir opinión (primera y segunda edición de los Principia) para finalmente, contestando a la crítica, en la tercera edición, discutir el espacio como el lugar de los cuerpos e introducir una noción de espacio absoluto con respecto al cual no podíamos saber nuestro movimiento relativo⁴. Estos dos espacios conviven hasta mediados del siglo XIX, siendo cada vez más evidente que el espacio absoluto era una construcción innecesaria. Pero si de la mecánica tenemos intuiciones directas basadas en percepciones sensoriales, no es lo mismo para los fenómenos electromagnéticos en su vasta mayoría. Para tener una forma de acceder a los mismos se recurrió a la analogía, que consiste en nociones de equivalencia imperfectas que nos sugieren como pensar las cosas. Podemos por ejemplo considerar el comportamiento de un gato por analogía con el del perro, y en muchos aspectos funcionará bien, pero en otros llamará al desastre. Por eso, la analogía solo presenta sugerencias. Se adoptó así la sugerencia del æther para permitir pensar los fenómenos ondulatorios observados en el laboratorio en relación a la luz en analogía con las ondas en medios materiales. Pero las condiciones que había que imponer al æther lo dejaron en simplemente “espacio absoluto”. Pero

⁴Y aún esto causó dificultades. Si bien Newton nos indica no pensar que en el espacio absoluto las estrellas lejanas están quietas, esta idea sigue su curso subterráneo y reaparece por ejemplo en Mach (1919)

ese espacio absoluto, de vacío como el de Newton, pasó a estar “lento” poblado de campos electromagnéticos que tenían su lugar en él. Este espacio absoluto también tuvo sus problemas. Por otro lado, las nociones relacionales del espacio enfrentaron un problema de distinto tipo: para ciertas formas del entender que florecieron a partir de mediados del siglo XIX el electromagnetismo resultante era “no-entendible” (D’Agostino, 2004; Hoffmann, 1998; Hertz, 1893) Tenemos que sospechar entonces que “entender” no tiene la misma determinación en cada uno de nosotros y que, por tanto, hay varias (al menos dos) físicas posibles.

3.1. Posiciones subjetivas y posiciones objetivas

Nombraremos a los cuerpos por números y usaremos para ellos los subíndices i, j, k, \dots mientras que usaremos para los sistemas de referencia los supra-índices a, b, c, \dots . La posición relativa de dos cuerpos al tiempo t será $x_{ij}(t)$ y la posición con respecto de la terna S^a de cada cuerpo al tiempo t será $x_i^a(t) = x_i - x_{S^a}$. La relación entre estas cantidades es: $x_{ij}(t) = x_i^a(t) - x_j^a(t)$ pareciera que perdimos un índice a en la igualdad, y de hecho lo perdimos, la cantidad $|x_{ij}(t)|$ es independiente de la elección de la terna, abusando un poco la notación la dejamos caer de $x_{ij}(t)$ es que también son independientes de la terna $x_{ij}(\widehat{t})x_{jk}(\widehat{t})$ que expresa el ángulo entre las posiciones relativas. Todas las posiciones relativas depende una misma forma de las terna elegida: una rotación rígida de todas las posiciones. Decimos de x_i^a que es subjetiva y de x_{ij} que es objetiva. Por otro lado, $x_i^a = x_i^b - x_{ab}$. Verifiquémoslo.

$$x_i^a = -x_a^i$$

luego

$$x_i^a - x_i^b = -(x_a^i - x_b^i) \equiv -x_{ab}$$

mediado por mediciones usando el cuerpo i como referencia.

3.2. Velocidades subjetivas y velocidades objetivas

La velocidad implica un cociente entre desplazamiento y tiempo, pero la construcción subjetiva es algo distinta de la objetiva. Si jugamos a correr carreras, marcamos una línea en la partida y otra línea en la llegada, con una distancia objetiva entre ellas de $|x_{pl}(t)|$ (pl por partida llegada). Tomamos el tiempo que tardamos en ir de una a otra y estimamos la velocidad por

$$v = \frac{x_{pl}(t)}{(t_l - t_p)}$$

donde hemos dejado que la velocidad sea un vector. Esta velocidad es objetiva a menos de una dirección rotación global que afecta a todos los vectores. Cuando verbalizamos $t_l - t_p$ es el tiempo que tardó el corredor en ir desde la partida a la llegada, lo cual es cierto, podemos terminar generando una idea distinta de la velocidad.

$$v_i^a = \frac{x_i^a(t_l) - x_i^a(t_p)}{(t_l - t_p)}$$

Esta velocidad es subjetiva, coincide con la anterior si el observador a no cambia de posición durante la carrera pero si se está moviendo dando por resultado un desplazamiento neto, ya no será así. Relacionemos esta expresión con la otra. Cada observador sabe que él es el punto de referencia, lo que se escribe como $x_a^a(t) = 0_a$ (la posición respecto de mismo es que yo estoy siempre en el centro de coordenadas). En particular, $x_a^a(t_l) = x_a^a(t_p) = 0$, reescribamos

$$\begin{aligned} v^a &= \frac{x_i^a(t_l) - x_i^a(t_p)}{(t_l - t_p)} \\ &= \frac{(x_i^a(t_l) - x_a^a(t_l)) - (x_i^a(t_p) - x_a^a(t_p))}{(t_l - t_p)} \\ &= \frac{\Delta x_{ia}}{(t_l - t_p)} \end{aligned}$$

Esta velocidad es lo que cambió la distancia relativa del corredor al observador en el tiempo de la carrera. Si tal fuera el enunciado, no habría problemas, pero si olvidamos que esto depende del observador y que distintos observadores harán afirmaciones subjetivas distintas, caemos en un problema con la construcción del mapa fenomenológico. Esta velocidad subjetiva es la percibida y sobre la que se hacen enunciados sobre adición de velocidades. **La velocidad no es nunca una propiedad del cuerpo, siempre lo es de su movimiento relativo a otro cuerpo. Si uno insiste en preguntar ¿y cuál es la velocidad del móvil? termina habituando al alumno a un error** en el mejor de los casos subsanado en base a intuiciones.

4. El tiempo

¿Que es el tiempo? Llevaría todo un curso intentar contestarla desde las distintas visiones del mismo. Para Aristóteles es la forma pura (abstracta) del cambio. Todos los cambios ocurren en el tiempo y todo cambio sirve como reloj (de variadas calidades, claro). Para otros su cualidad es no muy distinta a la del espacio. Uno podría pensar que esto se origina de tanto hacer diagramas espacio-temporales, donde la dimensión temporal es en realidad espacial. Pero ya existía la idea en algunos pensadores griegos. Para otras versiones, mucho más recientes, es meramente un parámetro aunque esta frase podría autodestruirse, pues “reciente” ¿qué significa aquí?. Para Jean Piaget (1978) y Jean Piaget (1999) el tiempo es también resultado de la mente ordenadora del niño, pero su producción lleva varios años y es precedida por nociones de orden y velocidad. Los libros de física clásica lo darán también por entendido. En Kant es, junto al espacio, un a-priori del conocimiento y una referencia interna (Kant, 2003). Cualquiera de estas nociones parece servir de igual forma a la física clásica. Una noción posible más es que el tiempo es lo que nos queda del complemento en el universo al idealizar como aislado un sistema de estudio, nuevamente el resultado de una operación cognitiva. Así, para la totalidad del universo podría no haber tiempo. La idea de que **el tiempo es homogéneo**, una vez más

remite a la necesidad de eliminar la arbitrariedad del punto en que comenzamos a contarlos, si algo hay de objetivo, si hay leyes de la física, estas solo puede depender de intervalos de tiempo.

5. Primera conclusión

El Principio de No Arbitrariedad da cuenta de muchas de las nociones que usualmente damos como propiedades de tiempo y espacio o como requerimientos de las leyes físicas. La segunda lección es que hay un fundamento intuitivo en las bases de la física, sobre el que se asienta el edificio de la física y la estabilidad de toda la estructura depende de estas intuiciones. Si descubriéramos fallas en ellas, tendríamos que reconstruir todo el edificio. La tercer lección es que el juicio de calidad, de verdad, al que están sometidas estas intuiciones depende aún de decisiones previas y, con independencia de su popularidad o su grado de avance, varias construcciones parecen posibles porque varios son los criterios de verosimilitud.

Finalmente, he ocultado en este apunte todo un movimiento: si lo que nos interesa estudiar es la naturaleza de quien produce lo que nos llega a los sentidos como sugerencias, pero estas sugerencias operan como resonancias con nuestras disposiciones ordenadoras internas y nuestros conocimientos previos, y por tanto están teñidas de su contrario, lo subjetivo o proveniente del sujeto, solo puedo acceder a lo objetivo por la negación de la negación, es decir, atravesando la subjetividad con la que nos llegan los hechos para mostrar en esta negación de lo subjetivo su opuesto, lo objetivo. Así, la fenomenología parece invocar de inmediato a la dialéctica.

El mandato social, desde fines del siglo XIX, nos ordena sostener que la ciencia de la naturaleza deriva su valor solamente de la experiencia (que la ciencia es empírica), pero ese mandato se sitúa por sobre la ciencia, pues el mismo no puede dar cuenta en la experiencia de su razonabilidad. **La ciencia no es el resultado de mentes privilegiadas que supieron leer los planos de Dios. Es el resultado de la actividad ordenadora del niño (y de todos los que sean capaces de mantener la inteligencia fluida/ordenadora de los niños) (Cattell, 1963). Es el resultado de la necesidad de creencias para calmar la angustia de la duda (Peirce, 1955) y la necesidad de la duda para el saneamiento de las (falsas) creencias. Gestar creencias pero dudar de ellas, y consecuentemente ponerlas a prueba, para gestar nuevas creencias a partir de la detección de los fundamentos de nuestros errores es el ciclo de la ciencia. Un ciclo interminable de oposiciones que constituye el motor de esta y está ya presente en el niño, el joven y persiste en algunos adultos. *Debemos tomar nota de que la actividad científica no está fuera sino dentro nuestro.* Una escolaridad dirigida al adoctrinamiento, a la cristalización del pensamiento, a la incorporación de creencias elaboradas por otros y que solo parcialmente se comprenden, puede ser muy eficiente en términos de producción pero es inhumana. La acción pública, la educación,**

debe tender a desarrollar las capacidades de cada uno de nosotros al máximo de sus posibilidades. La educación debe buscar no tanto que el alumno incorpore un pensamiento ajeno, por más “probado” que fuere, sino que desarrolle su capacidad de producir pensamiento propio. En este espíritu intentaremos transitar esta asignatura.

Referencias

- Aristotle (1994–2010). *Physics*. Translation by R. P. Hardie and R. K. Gaye. The Internet Classics Archive. URL: <http://classics.mit.edu/index.html>.
- Cattell, Raymond B (1963). “Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment.” En: *Journal of educational psychology* 54.1, págs. 1-22.
- D’Agostino, Salvo (2004). “The Bild conception of physical theory: Helmholtz, Hertz, and Schrödinger”. En: *Physics in Perspective* 6.4, págs. 372-389.
- Hertz, H (1893). *Electric waves*. Translated by D E Jones with a preface by Lord Kevin. MacMillan y Co.
- Hoffmann, Dieter (1998). “Heinrich Hertz and the Berlin School of Physics”. En: *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*. Springer, págs. 1-8.
- Husserl, Edmund (1983). *Ideas Pertaining to a Pure Phenomenology and to a Phenomenological Philosophy. First book*. Translator F. Kersten. Martinus Nijhoff Publishers.
- Kant, I (2003). *Crítica de la Razón Pura*. Original in German. 1787. Translated by José del Perojo and Francisco Romero. Editorial Losada. URL: [https://en.wikisource.org/wiki/Critique_of_Pure_Reason_\(Meiklejohn\)](https://en.wikisource.org/wiki/Critique_of_Pure_Reason_(Meiklejohn)).
- Mach, Ernst (1919). *The Science of Mechanics. A Critical and Historical Account of its Development*. Translated by Thomas J McKormack. Chicago y London: The open court publishing co.
- Peirce, Charles (1955). *The Philosophical Writings of Peirce*. Selected and edited by Justus Buchler. Dover Publications.
- Piaget, J y R García (1989). *Psychogenesis and the History of Science*. New York: Columbia University Press.
- Piaget, Jean (1978). *El desarrollo de la noción de tiempo en el niño*. 04; BF723, P5. S.L. Fondo de cultura económica de España.
- (1999). *The Construction Of Reality In The Child*. International Library of Psychology. Routledge. ISBN: 0415210003,9780415210003.
- Platon (360 AC). *Timeo, o de la Naturaleza*. Escuela de Filosofía, Universidad ARCIS. Available at www.philosophia.cl.
- Solari, H G y M A Natiello (2018). “A Constructivist View of Newton’s Mechanics”. En: *Foundations of Science* 24:307. URL: <https://doi.org/10.1007/s10699-018-9573-z>.