Revista de Antropología Experimental
nº 6, 2006. Texto 22: 299-309.
Universidad de Jaén (España)

ISSN: 1578-4282
ISSN (cd-rom): 1695-9884
Deposito legal: J-154-2003
www.ujaen.es/huesped/rae

ANTROPOLOGÍA DE LA CIENCIA: Física, matemáticas y *habitus*

Miguel Ferreira
Universidad de Murcia
ferreira@um.es

Resumen: Nuestro estudio antropológico del proceso de formación del científico ha mostrado que éste supone la incorporación de un *habitus*, además de la adquisición de los conocimientos especializados propios de la disciplina. En concreto, uno de los aspectos que evidencian este hecho, en el caso de la ciencia física, es la permanente disputa a la hora de determinar qué prioridades establecer en la resolución de problemas, entre la propia física y las matemáticas: a lo largo de su formación, el alumno estará permanentemente sometido a esa tensión, sin poder determinar de antemano cuál es la opción correcta.

Abstract: Our anthropological study of the scientists educational process shows that it implies the acquisition of an *habitus*, in addition to the learning of specialized knowledge. In particular, one of the aspects that offer evidence to this fact, in the case of physics science, is the constant conflict between physics and mathematics to establish the priority to solve problems; alogn the all process of their formation, alums are submitted to this tension and never can predetermine which is the correct option.

Palabras clave: Ciencia, *habitus*, matemáticas, física
Science, habitus, mathematics, phyisics

En el presente trabajo pretendemos mostrar uno de los resultados más significativos obtenidos en nuestra investigación antropológica del proceso de formación de los científicos (Ferreira, 2004). El trabajo aplicaba una metodología que probablemente suscite reticencias en los partidarios de la clásica observación participante, pero dicha metodología era el pilar fundamental de una apuesta teórica crítica; crítica con las ortodoxias establecidas[1].

Hemos justificado nuestra perspectiva metodológica (Ferreira: 2006, 2007) y ésta queda sujeta a cuantas críticas puedan ofrecerse. En aplicación de dicha metodología, se llevó a cabo un trabajo de campo en una facultad de ciencias físicas, asistiendo como alumno a las clases de las materias del primer ciclo de la licenciatura. Durante ese período, se aprendieron los rudimentos de la Mecánica Cuántica que permitieron elaborar una interpretación sociológica de una de las ecuaciones inaugurales de dicha ciencia: la ecuación de Schroedinger.

Y durante ese aprendizaje se revelaron ciertas peculiaridades que le eran propias, en virtud de las cuales podemos afirmar que dicho proceso supone la incorporación en el alumno, además de los conocimientos rigurosos y formales que se presupone lo capacitarán en el futuro como físico, de un *habitus* (Bourdieu, 1991) o conjunto de predisposiciones de difícil traducción formal; es decir, junto a los conocimientos formales se irán desarrollando toda una serie de aptitudes de carácter informal, prácticas que configurarán un universo de referencia cotidiano en el que se irá formando la identidad (profesional) del futuro físico.

En ese *habitus* se inscribe una singular dualidad que muestra una especie de pugna o competencia entre la propia física y las matemáticas, un recurrente conflicto de prioridades a la hora de enfrentarse a la resolución de los problemas; un conflicto en el que no se puede determinar de antemano quien tiene prioridad ni qué método será el adecuado (de hecho, se muestra la imposibilidad de establecer método riguroso alguno; en lugar de él, ha de cobrar presencia el *habitus*). Ofrecemos a continuación algunas de las notas que muestran la existencia de dicha dualidadAbramos, pues, las puertas de las aulas de la Ciencia...

Rigor versus plausibilidad: el *habitus* científico

> "[...] cada paso requiere una interpretación del sentido de lo conseguido hasta el momento y de su relevancia para el futuro; el sentido del producto final se construye a partir del significado atribuido a lo que se ha ido realizando en el proceso de su fabricación" (Iranzo, 1992: 153).

Comencemos nuestra andadura con una de las clases del primer cuatrimestre de la asignatura de Métodos Matemáticos de la Física I (M1): la clase concluye con la exposición de un teorema que lleva a considerar las llamadas "superficies de Riemann". Llegar a conocerlas supone, según comenta el profesor, una trayectoria académica "que implica tres locuras": primera locura, elegir la especialidad de Física Fundamental; segunda locura: dentro de ella, especializarse en Física Teórica; y tercera locura: hacer una tesis doctoral. Sólo si un alumno llega a la "locura" de plantearse la realización de una tesis doctoral como con-

1Tratamos de analizar las "condiciones de posibilidad" (prácticas) de ese conocimiento formal propio de la ciencia física. Lo hemos tratado de hacer desde una perspectiva reflexiva, por lo que nuestra tarea de conocimiento, implicaba, a su vez, el conocimiento de sus condiciones de posibilidad como tal tarea (Bourdieu, 1991). Morin se ha planteado esta necesidad, que para la sociología significaría una "sociología de la sociología" que debería encontrar un "metapunto de vista" (Morin, 1995) que le permita incluir en su análisis su condición como ciencia: "Este metapunto de vista necesita de la reflexión epistemológica sobre las posibilidades y los límites del conocimiento científico, así como sobre las posibilidades y los límites del conocimiento sociológico, incluido el de la sociología del conocimiento [...] una sociología de la sociología [...] no sabría prescindir de una reflexión acerca del conocimiento de sí misma" (Morin, 1995: 39).

secuencia de las dos locuras previas, sólo entonces existe la "probabilidad" de que llegue a entrar en contacto con las superficies de Riemann.

En segundo de carrera, en consecuencia, ya se empieza a gestar en la mente del alumno la idea de que optar por la especialidad de Física Fundamental, aquella que le permitiría adquirir los conocimientos necesarios para comprender la física cuántica, es una locura. Y en tercer curso el alumno sabrá ya que la física cuántica es algo que atenta seriamente contra los esquemas mentales a los que está acostumbrado: "Ya me lo había dicho X: que la física cuántica te hace cambiar la forma de pensar...", fue el comentario de un alumno situado en la fila inmediatamente posterior tras el desasosiego que se suscitó en una de las clases de la asignatura de Mecánica Cuántica (MC) del primer cuatrimestre.

El desasosiego de la clase se suscitó cuando el profesor anunció que el experimento que acababa de ser descrito estaba sujeto a diversas interpretaciones, de las cuales en adelante se adoptaría una que suponía abandonar el principio de causalidad. Dos intervenciones evidenciaron la conmoción; una alumna no entendía que se pueda hacer física dejando de lado el principio de causalidad, trataba de explicarse y la afirmación más coherente a la que llegó fue: "que no haya causalidad... no quiere decir... no puede querer decir que no haya causalidad..."; otro alumno manifestaba su indignación preguntando: "¿no somos físicos; cómo podemos entonces hablar de escuelas, de interpretaciones?". El profesor responde afirmando que hay que tener clara la distinción entre "fenómeno en sí" e "interpretación" del fenómeno: no hay duda de que algo pasa, pero no podemos llegar a afirmar tajante y exactamente lo que es... es evidente que la clase no asimila fácilmente esa dualidad.

La escena puso en evidencia que, en la mente de un alumno de tercero de carrera, la causalidad formaba parte de un mundo necesario en sus esquemas de comprensión, y que le resultaba difícil admitir que la física pudiese simplemente interpretar un fenómeno en lugar de explicarlo de manera incuestionable. Dos años de carrera habían instalado firmemente la necesidad de ambos elementos, causalidad y objetividad, en su manera de enfrentarse a los problemas cotidianos.

Más adelante, en la misma asignatura, se expondrá otro experimento que demuestra el principio de incertidumbre de Heisenberg (algunas variables dinámicas de las partículas micro-atómicas no se pueden medir de manera simultánea). La conclusión del profesor será doble: en primer lugar, con tal prueba se llega al principio de incertidumbre "por razonamientos puramente matemáticos" y sin embargo "es la base de la física cuántica"; en segundo lugar, la demostración "indica que el principio de incertidumbre no es sólo un resultado matemático, sino una propiedad más profunda de la naturaleza... existe un límite para la precisión de las medidas entre variables, magnitudes, que por ello se llamarán incompatibles". No puede uno por menos que pararse a pensar en la aparente contradicción de ambas afirmaciones; una contradicción entre lo físico y lo matemático que será una constante del proceso de aprendizaje del alumno.

No deben confundirse física y matemáticas: "hacer" física implica "utilizar" las matemáticas, pero sólo eso, y hay que tener claro que los imperativos propiamente físicos están por encima de los matemáticos y éstos pueden ser dejados de lado siempre que esa instrumentalidad de la matemática no se vea clara… aunque esto no siempre es así.

Seguimos en la asignatura de MC. Se ha descrito el fenómeno físico de la radiación en sus dos partes constitutivas, la mecánica y la electromagnética. El problema físico ahora consiste en "acoplar" ambas componentes. Para ello se va a considerar el modelo físico más sencillo posible, pero aún así, es necesario emplear una Δ de Dirac, una distribución. Una distribución es un "objeto matemático" relativamente sofisticado, lo que significa, según el profesor, que "el tratamiento es muy complicado para el nivel del s. XVIII ó XIX de matemáticas que ustedes tienen", por lo que en lugar de tratar el problema matemáticamente se va a "postular una solución plausible desde un punto de vista físico".

La postulación de una solución plausible desde un punto de vista físico va a suponer toda una serie de significativas transformaciones matemáticas sobre la expresión inicial sin que pueda aportarse justificación matemática alguna de las mismas. El alumno puede entender dos cosas: o que efectivamente no sabe las suficientes matemáticas como para enfrentarse con rigor al problema (tiene un conocimiento propio del s. XVIII ó XIX) y le han mostrado un "atajo" para obtener la solución, o bien que el razonamiento físico puede siempre imponerse sobre el rigor matemático a la hora de buscar soluciones "plausibles".

Cabe aceptar que se trate de un problema de insuficiencia en los conocimientos matemáticos del alumno si observamos que uno de los ejemplos propuestos en la asignatura de Métodos Matemáticos de la Física II (M2) para la resolución de cierto tipo de ecuaciones diferenciales está tomado de los mismísimos *Principia Mathematica* de Newton. Es cierto, entonces, que a la altura de tercero de carrera el alumno todavía se enfrenta a problemas matemáticos propios del siglo XVII. No obstante, tampoco va a quedar claro si eso constituye un problema o una ventaja: en la misma asignatura nos enfrentaremos a la resolución de otra ecuación diferencial, y el profesor, antes de proceder a la explicación del problema, nos dice: "es el típico ejemplo de las cosas con las que se peleaban en el s. XVIII; nosotros no sabríamos resolverlo: no estamos acostumbrados a pelearnos con esas cosas".

Hemos de dejar, en todo caso, abierta la puerta a la duda, porque esta difícil conjugación entre física y matemáticas es una cuestión recurrente a lo largo de la carrera. ¿Hay que ser muy buen matemático para poder desarrollar adecuadamente razonamientos físicos o bien hay que ser un buen razonador físico para dejar de lado complicaciones matemáticas que no nos conducirían a ninguna parte, a ningún resultado físicamente plausible?

En una de las clases introductorias de Análisis Matemático II (A2) el profesor abunda en esta cuestión: insiste en la necesidad de dar a la asignatura, una asignatura matemática, un contenido físico, porque "la naturaleza explota... igual que si a alguien lo enfadas explota". Es decir, la matemática no tiene por qué preocuparse del enfado que pueden suscitar sus afirmaciones porque éstas no están referidas a la naturaleza, mientras que la física ha de enfrentarse a la adecuación de sus afirmaciones matemáticas con la naturaleza, real, material, empírica de los fenómenos que trata de analizar. Es más, el profesor llega a hablar de la "mentira de las matemáticas": la naturaleza "no es matematizable", "está viva", incluida la materia inerte, no se deja encapsular en fórmulas. Y aún en el caso de que se aceptase la posibilidad de esa formulación matemática de la naturaleza, "seríamos incapaces de resolver la inmensa mayoría de esas matematizaciones" (¿querrá esto decir que la duda que planteábamos ha de decantarse del lado de la simplificación físicamente razonada de las formulaciones matemáticas a las que uno se enfrente?) En esta misma asignatura, días después se nos dirá que la gran mayoría de las ecuaciones diferenciales "definen sus soluciones", es decir, que las soluciones de muchas ecuaciones diferenciales son funciones que no han sido previamente definidas, que no se corresponden con las conocidas (funciones trigonométricas, polinómicas, exponenciales, etc.).

Siguiendo con la cuestión, en la asignatura de Métodos Matemáticos de la Física I (M1) se da a los alumnos una introducción histórica a la materia, la variable compleja, desde Cardano hasta Cauchy, citando algunos avances matemáticos que se produjeron en el tratamiento de la variable compleja[2]. Tras dicha breve introducción, y una vez expuestas sucintamente las propiedades básicas de los números complejos, dice el profesor: "y ahora vamos a llamar al algebrista", para enunciar, más bien deprisa y corriendo –a uno no podía por menos que sugerirle tanta prisa la impresión de que de lo que se trataba era de olvidar lo antes posible todo aquello, materia de "algebrista" –, las propiedades algebraicas de los

2 En dicha introducción, el profesor menciona la famosa expresión que utilizó Leibniz para definir lo que hoy se conoce como "números complejos", unas entidades matemáticas por entonces en proceso de construcción y que Leibniz, en un tono poético-místico, describió como "anfibios entre el ser y el no ser" (Kline, 1992).

números complejos, es decir, sus propiedades y caracterización como estructura algebraica de "cuerpo".

Y a continuación, apelando a la falta de tiempo para desarrollar convenientemente la materia, el profesor señala que la asignatura tendrá un carácter eminentemente práctico, y ello significará que "en el encerado os voy a meter unas trolas de miedo", mucho de lo que se explique "carecerá de todo rigor matemático" y "no demostraremos ni un solo teorema".

En M2 el profesor señala que la posibilidad de "solucionar" (matemáticamente, se entiende) ecuaciones diferenciales es "escasa", de manera que en la gran mayoría de los casos de lo que se trata no es de solucionar las ecuaciones sino de estudiar sus propiedades, es decir, de un estudio cualitativo. Resulta, entonces, que "la mejor expresión analítica de una ecuación diferencial es la propia ecuación diferencial". A continuación, se nos ofrece un ejemplo de ecuación diferencial ordinaria (EDO) lineal y se nos informa de que en el paso de la matemática a la física existe un serio problema de "terminología": la física adopta una terminología que trata justamente de eliminar dificultades matemáticas, que pretende ser fundamentalmente instrumental en lo que a las matemáticas utilizadas de refiere, lo cual, en muchas ocasiones "es muy poco matemático".

La diferencia fundamental, según se nos informa, consiste en que en matemáticas todas las posibilidades tienen la misma probabilidad de ser aceptables como solución de un problema, mientras que "en física todas las posibilidades son igualmente probables hasta que se demuestra lo contrario ¿y cómo se demuestra? pues midiendo y calculando". Alude entonces a la mecánica que hemos estudiado en segundo curso para referirse a la obsesión por el "celo matemático": "ya sabemos que las funciones físicas cumplen siempre todas esas propiedades que los matemáticos nos dicen que deben cumplir para hacer con ellas ciertas operaciones delicadas..." (Lo sabemos porque en el curso anterior, en la asignatura de mecánica, hemos utilizado funciones que podían ser sometidas a ciertos tratamientos matemáticos por cumplir dichas propiedades; las hemos "utilizado", reitero; de no cumplir esas propiedades matemáticas, no habríamos podido hacer tal uso de ellas; ahora bien, ¡tampoco entonces se demostró matemáticamente que cumplían efectivamente tales propiedades!).

Dicho lo cual, la exposición del problema comienza con toda una batería de definiciones (¡naturalmente físicas!): coordenadas, espacio de configuración, velocidad, campo de fuerzas... que matemáticamente no son más que funciones o variables, pero que en física son cosas que se pueden medir, contrastar con la realidad y en base a ello establecer qué opciones entre las posibles son físicamente válidas y cuáles no (distinción que no es posible establecer, según se ha dicho, matemáticamente).

Pareciera que todo apunta a que las matemáticas no sirven más que para apoyar las razones físicas, que se puede prescindir de ellas siempre que planteen más dificultades que ventajas y que en última instancia no serían sino una especie de revestimiento lingüístico formal de las afirmaciones físicas. Nada más lejos de la verdad. Con mayor o menor rigor en el tratamiento de los problemas, la base matemática de los planteamientos y modos de resolución de los mismos es fundamental. Más bien habría que hablar de un aprendizaje en el que el alumno ha de adquirir la capacidad para establecer los límites adecuados entre rigor matemático y plausibilidad física como una habilidad que no se puede –ni se debe– expresar de manera abierta; una habilidad que no constituyendo parte de la metodología formal del proceder físico es necesaria y fundamental para su adecuada ejecución. ¿Estamos ante lo que Bourdieu (1991) define comol *habitus*, dado que se trata de una conjugación entre lo matemático y lo físico que va constituyendo el modo de proceder del físico, configurando su manera de entender y enfrentarse al mundo, al tiempo que en virtud de ello él mismo se va constituyendo como tal? ¿estamos ante "sistemas de disposiciones duraderas y transferibles, estructuras estructuradas predispuestas para funcionar como estructuras estructurantes, es decir, como principios generadores y organizadores de prácticas y representaciones que pueden estar objetivamente adaptadas a su fin sin suponer la búsqueda consciente de fines y el dominio expreso de las operaciones necesarias para alcanzarlos, objetivamente "reguladas" y "regulares" sin ser el producto de la obediencia a reglas" (Bourdieu, 1991: 92)? ¿Estamos ante esa constitución práctica de la lógica que formulaba Garfinkel, la no representabilidad formal de las prácticas y su configuración operativa basada en "reglas flojas" (Garfinkel, 1984)?

"Los sistemas lineales con coeficientes constantes son el tipo de ecuaciones diferenciales que más aparecen [en problemas físicos] porque son los que se saben resolver", se nos informa en M2[3]. Quiere esto significar que, en última instancia, la matemática impone siempre un límite a la física a la hora de obtener resultados.

Otro ejemplo de esa ambigua combinación entre física y matemáticas lo volvemos a encontrar en M1: para determinar el dominio de una función, su "conjunto de analiticidad", esto es, qué valores pueden ser aceptados para sus variables, se determinó que ese dominio venía dado por una desigualdad: $|e^z - 1| \geq 0 \quad (z \in \mathbb{C})$. Una alumna intervino para señalar que no se trataba de una expresión "rigurosa" y la respuesta del profesor fue cuando menos interesante: "las ecuaciones son preguntas", las ecuaciones no son afirmaciones genéricas sobre ciertas propiedades, sino que se trata de preguntas acerca de los valores de ciertas variables que hacen que esas propiedades sean ciertas o no. En primer lugar, se reafirma la necesidad de sobreimponer a los dictámenes puramente matemáticos los criterios físicos: una ecuación no responde a ninguna cuestión acerca de las propiedades de la naturaleza; es la forma que el físico tiene para plantear las preguntas adecuadas; una ecuación trata "variables" (matemáticas) y no "propiedades" (físicas); una ecuación bien formulada –una pregunta bien planteada– nos permite determinar qué valores de las variables matemáticas pueden ser considerados como propiedades físicas y cuáles no.

El concepto "rigor" expresado por la alumna apunta directamente a esta ambigüedad en la que se instala la relación entre física y matemáticas, pero va mucho más allá. La respuesta del profesor indica que ha entendido que cuando ella habla de rigor se refiere a rigor matemático, y así asimila que para la alumna rigor matemático significa automáticamente rigor físico; su respuesta establece que el rigor físico atiende a propiedades, reales, de la naturaleza, cuya transcripción matemática en forma de variables puede no corresponderse con la idea de rigor (¿físico? ¿matemático?) que uno se ha formado de antemano. Las matemáticas nos ayudan a la hora de formular preguntas, pero no nos dan las respuestas.

Pero hemos de considerar la cuestión desde otra perspectiva: ¿Por qué, para la alumna, una desigualdad matemática ha de tener menos rigor que una igualdad matemática a la hora de delimitar un determinado rango de valores? Una desigualdad es una expresión matemática perfectamente "rigurosa". El profesor ha demostrado una agudeza inusitada en su respuesta: ha presupuesto esa asimilación, por parte de la alumna, de rigor matemático con rigor físico, y ha respondido "físicamente" a una pregunta sobre, aparentemente, matemáticas; ha indicado a la alumna que debe siempre mirar las expresiones matemáticas con una "mirada física" y no matemática. De hecho, la respuesta adecuada hubiera sido "sí es una afirmación rigurosa: es una desigualdad matemática y, por lo tanto, rigurosamente matemática"; pero no fue la respuesta que se dio. Es evidente que la pregunta en sí no era tan importante como esa posible confusión entre lo matemático y la físico que a través de ella se daba a entender. El problema no era entender adecuadamente o no el rigor matemático (pues esa era la confusión de la alumna), sino establecer de manera clara la prioridad física

3 Stewart (1991) confirma esta opinión del profesor: "La ciencia de hoy día muestra que la naturaleza es inexorablemente no lineal. *Por lo tanto, sea lo que sea lo que maneja Dios, no son fórmulas explícitas* [...] si nos sumergimos en el pozo profundo de las ecuaciones diferenciales, las posibilidades de que emerjamos con algo no lineal son infinitas [...] La matemática clásica se concentró en las ecuaciones lineales por un motivo pragmático lógico: no podía resolver ninguna otra cosa [...] El comportamiento de las ecuaciones lineales [...] está muy alejado de lo que es típico [...] Llamar "no lineal" a una ecuación diferencial es algo así como llamar "no paquidermología" a la zoología" (Stewart, 1991: 88-89; subr. ntro.).

sobre la matemática; una vez sentada esa base se podrían discutir los términos matemáticos implicados (y puesto que la aclaración acerca de lo riguroso de la expresión no fue hecha, hemos de entender que todavía a esas alturas es, implícita y quizá inconscientemente, irrelevante frente a la cuestión mayor de fondo).

Dado que esa discriminación entre lo propiamente físico y lo puramente matemático se va convirtiendo en un trasfondo que nos asalta regularmente, conviene considerar cómo se determinan operativamente los métodos matemáticos adecuados que un físico debe utilizar, hasta dónde hay que dejarse llevar por las matemáticas y cuando hay que imponer limitaciones, físicas, a las posibilidades matemáticas que un problema nos ofrece. Esto significa que se va adquiriendo la convicción, y el hábito, de que existen procedimientos estrictamente físicos que permiten reducir el número de posibilidades, matemáticas, que un problema nos ofrece. Lamentablemente, esta capacidad de discriminación no puede ser determinada de forma sistemática, no existe procedimiento operativo formal que aplicar a cada caso particular. Sin embargo, uno encuentra que le van suministrando "recetas" particulares que van configurando, por acumulación, podríamos decir, los parámetros, indefinibles, de dicha habilidad.

"Los métodos son para los que no tienen dos dedos de frente... uno se busca la vida" oímos en M1. La afirmación surge cuando se plantea el problema de encontrar una expresión distinta para una fracción en la que aparece un número complejo; se trata de transformar esa expresión en alguna otra más conocida y de la cuál se sepa la solución de la integral que se está tratando de resolver. ¿Qué método hay que aplicar? No existe. Así que dejando de lado los métodos y buscándonos la vida con nuestros escasos dos dedos de frente, encontramos que se trata de seguir la estrategia –si nos causa pudor podemos llamarle "método"– de "me sobra / me falta", que consiste en transformar la expresión agregando o eliminado los términos necesarios para poder aplicar la igualdad que cumplen los cuadrados perfectos: $(a \pm b)^2 = a^2 + b^2 \pm 2ab$. Y así, quitando lo que "me sobra" y poniendo lo que "me falta", la expresión original se transforma en otra mediante la cual se puede proceder a la resolución de la integral; en el camino hemos corroborado que la matemática de por sí no nos ofrece respuestas, sino que hemos de manejarla de modo que podamos extraer de ella las mejores preguntas posibles: no hay método de resolución matemático que nos auxilie, hemos de buscarnos la vida y bregar con las constricciones que la matemática nos plantea.

Estas recetas prácticas comportan una gran habilidad pedagógica por parte del profesor, habilidad a la que se asistió en abundancia en esta asignatura de M1. Así, por ejemplo, a la hora de tratar la propiedad de la multiplicación de un complejo con su conjugado:

$$z \cdot \bar{z} = |z|^2$$

El profesor va a explicar que no se trata de una propiedad aplicable a números complejos sino a "boniatos rebozados"; es decir, la propiedad es extensible a cualquier expresión en la que aparezcan unidades imaginarias, de modo que el lugar de las z lo puede ocupar cualquier expresión de la complejidad que sea y la propiedad se seguirá cumpliendo. De hecho, nos informa, la propiedad es útil precisamente en esos casos en los que el número complejo adopta una expresión muy complicada, y de ahí la expresión de "boniato rebozado".

Un apunte más para profundizar en la cuestión: los matemáticos, incluso los más insignes, cometen errores; la "exactitud" de la matemática es en sí misma cuestionable, lo cual da pie a que un físico no tenga por qué fiarse de las indicaciones estrictamente matemáticas que resultan de un determinado problema: en la misma asignatura de M1 se está comprobando un desarrollo en serie de un número complejo:

$$\cdots + \frac{1}{z^3} + \frac{1}{z^2} + 1 + z + z^2 + z^3 + \cdots$$

Se trata de comprobar si es posible determinar esa suma constituida por una serie infinita. La suma se puede subdividir en dos:

$$\cdots+\frac{1}{z^3}+\frac{1}{z^2}+\frac{1}{z}+1+z+z^2+z^3+\cdots=\underbrace{\left(\cdots+\frac{1}{z^3}+\frac{1}{z^2}+\frac{1}{z}\right)}_{A}+\underbrace{\left(1+z+z^2+z^3\ldots\right)}_{B}$$

Y se sabe que:

$$A=\cdots+\frac{1}{z^3}+\frac{1}{z^2}+\frac{1}{z}=\frac{1}{1-1/z}$$

$$B=1+z+z^2+z^3+\cdots=\frac{1}{1-z}$$

Así que el problema parece reducirse a la suma de dos simples fracciones. Sin embargo, en las sumas de series infinitas hay que tener en cuenta los criterios de convergencia, esto es, para qué valores del numero complejo z la serie tiende hacia un valor finito y en consecuencia se puede determinar dicho valor como el de la suma de todos sus términos infinitos. En este caso, mientras que una de las series es convergente para $1<|z|$, la otra lo es para $1>|z|$, de tal modo que no existe ningún valor del módulo de **z** que satisfaga simultáneamente las dos condiciones y por tanto no tiene sentido sumar ambas series. Comprobado esto, nos enteramos de que el mismísimo Cauchy cometió el “error” de sumar ambas series... ¿podría alguien ser “más matemático” que Cauchy?

De este ejemplo, que claramente no fue puesto con tal intención, podemos extraer la enseñanza de que el rigor matemático se puede obviar porque los propios matemáticos lo han hecho, sin darse cuenta (¡y no cualquier matemático, precisamente!). La asignatura es de matemáticas; la carencia de método se refiere a las matemáticas; sin quererlo, pues, abunda en esa constante de la licenciatura que incita a prescindir del rigor matemático y anteponer la plausibilidad física; en este caso, esa opción viene avalada o justificada porque la propia matemática a veces no puede suministrar el rigor que se le presupone.

La cuestión es algo más compleja que lo expuesto hasta aquí: cuando hablamos de matemáticas pareciera que el concepto abarca un conjunto bien definido de elementos; en cierto sentido, atribuye a las matemáticas más homogeneidad de la que de por sí poseen. Y lo cierto es que las herramientas matemáticas que se han de aplicar en la ciencia física son muy variadas: no es lo mismo el álgebra lineal que la topología: en M2, a la hora de desarrollar la demostración del teorema de Fredholm, el profesor apunta que “es muy sencillo, sólo es álgebra lineal”; esto es, en esta área de las matemáticas no parece suscitarse el problema de incompatibilidad de criterios entre física y matemáticas, pues éstas parecen no ofrecer problemas.

La cosa cambia cuando nos enfrentamos, en A2, al *criterio de integrabilidad de Lebesgue*. A modo de introducción del tema, el profesor hace un repaso de lo visto hasta ese momento, relativo a la integrabilidad de funciones: se han obtenido tres criterios diferentes para determinar la integrabilidad de funciones definidas sobre un dominio cerrado de *n* dimensiones, dependientes de tres conceptos matemáticos distintos, las sumas superior e inferior de Darboux, las integrales superior e inferior de la función y las sumas de Riemann. Se trata de criterios analíticos que permiten determinar si una función es o no integrable en el dominio en que está definida. Y precisamente, el problema es que son criterios, se nos informa, “demasiado analíticos”, es decir, que para aplicarlos se requiere el manejo de límites, sucesiones, supremos e ínfimos de conjuntos, etc.. Llegados a esta situación, uno “desearía un criterio rápido que le permitiese una decisión [acerca de la integrabilidad o no de funciones] a partir simplemente de la geometría de la función”. Es decir, un criterio para decidir “a ojo” en lugar de aplicar cálculos analíticos.

Esa decisión "geométrica" nos la va a proporcionar el criterio de Lebesgue, pero la sencillez de la decisión será a costa de la introducción de conceptos matemáticos muy sofisticados: "para introducir su concepto de integrabilidad [el de Lebesgue] se requiere la consideración previa de un concepto topológico capital: los conjuntos de medida nula...". Y no sólo eso, habrá que definir los conceptos de función lipschitziana, función contractiva, conjunto de contenido nulo u oscilación de una función (en un conjunto y en un punto) hasta estar en condiciones de plantear el criterio. Porque el criterio nos indica que *una función pertenece al conjunto de las integrables-Lebesgue si el conjunto de los puntos de discontinuidad de la función, puntos en los que su oscilación no es nula, es un conjunto de medida nula*. Llegar a entender lo que significa esa definición ha implicado unas cuantas semanas de teoremas, proposiciones, corolarios y propiedades de corte analítico y con amplias dosis de topología. Aquí las matemáticas ya no plantean problemas, simplemente desbordan.

¿Hasta qué punto puede uno permitirse obviar el rigor matemático en aras de la plausibilidad física cuando se pierde en la simple formalidad, notación o vocabulario? En M2 surge una curiosa cuestión relativa a esos "problemas de notación" en la demostración de la unicidad de una solución encontrada para una ecuación no homogénea aplicando el llamado método de Duhamel. En el planteamiento del problema aparece una función $g(x,t)$. Para la resolución del problema se ha fijado el tiempo como parámetro τ, es decir, se ha fijado la variable tiempo como $t=\tau$, de manera que la función ya sólo depende de la variable x y se habría de expresar $g(x)$, pero se va a utilizar la notación $g(x,\tau)$, especificando que con ello se quiere decir que "es la función $g(x)$ con el parámetro τ fijo". Y en el proceso de la resolución se llega a una expresión que es la derivada respecto a t de una función v para $\tau=t$ (¡ojo!, no para $t=\tau$) que se comprueba que se corresponde con la función $g(x,t)$. Y entonces un alumno pregunta por qué se ha escrito $g(x,t)$ en lugar de $g(x,\tau)$, que era la función de la que se partía en realidad para la resolución del problema.

Ello lleva a una larga aclaración acerca de qué significa "$t=\tau$" por un lado, y "$\tau=t$" por otro, porque... resulta que el principio de identidad no es simétrico en este caso: aclara el profesor que "$t=\tau$ en el planteamiento significa *valor de la variable t igual al parámetro fijo* τ", mientras que "en la demostración [de la unicidad de la solución encontrada] $\tau=t$ es, por el contrario, *el valor de la variable de integración* τ *igualado a t que es a su vez variable*". Dependiendo de las operaciones matemáticas en que estén involucradas las magnitudes de las que se trate, van a ser, según se deduce de este ejemplo, bien variables, bien constantes, bien constantes que varían en función de la variable respecto a la cual se habían fijado como parámetro: la naturaleza matemática de las operaciones determina la condición de los objetos manejados, y al final, uno no tiene claro el significado de la solución a la que dichas operaciones le conducen... en el camino matemático de la resolución de un problema físico... se ha perdido.

Ciertamente, el indisoluble matrimonio entre ciencia física y ciencia matemática resulta cuando menos problemático. No sabe uno hasta qué punto su falta de conocimientos, pericia o intuición, en ese proceso de vida que es el aprendizaje en una facultad de ciencias físicas, es un estado de cosas provisional destinado a diluirse en el futuro, o bien se trata de una constante con la que habrá de convivir indefinidamente; no sabe uno si dicha sensación de impotencia resulta de sus todavía escasos conocimientos matemáticos o de su aún poco entrenada habilidad física para usar esos conocimientos adecuadamente.

Nuevamente en M2, constatamos dicha vivencia: en clase se va a continuar con el tema de los problemas de contorno en la resolución de la *ecuación de calor*. El profesor comienza esa clase comentando: "vosotros coged aquí la base y luego en los libros todo lo que os falta... [breve silencio]... *todo* [risas generalizadas]". ¿Quiere esto decir que uno, aprendiendo la "base" en realidad no aprende "nada" puesto que todavía le quedará "todo" por aprender? ¿Quiere esto decir que la enormidad del universo de las ecuaciones diferenciales es tal que jamás llegará uno a dominarlo? ¿Quiere esto decir que a la altura de tercero de carrera es todavía demasiado pronto cómo para considerar que se sabe algo...?[4]

Una tribu conflictiva

Muchos otros ejemplos recogidos a lo largo de los dos años de trabajo de campo ilustran ese transfondo propio del proceso de aprendizaje del científico. Si bien es cierto que los contenidos de las asignaturas son altamente formales, ello va acompañado, con parte indisociable del aprendizaje, de una vivencia cotidiana plagada de referencias prácticas, concretas e in-formales en la cual se va incorporando en el alumno un "estilo de vida". Sólo la experiencia directa de esa dimensión cotidiana y vivencial permite la plena asimilación de los contenidos formales, pues en su mera formalidad son, en innumerables ocasiones, inasimilables.

Sería difícil establecer de manera rigurosa por qué, en ciertas ocasiones, se han de seguir las directrices matemáticas para obtener conclusiones relevantes desde un punto de vista físico, mientras que en otras es necesario, al contrario, obviar las consideraciones matemáticas y proponer soluciones físicamente plausibles pero no justificables matemáticamente. No hay recetas metodológicas; lo que hay es una experiencia cotidiana en la que el alumno va adquiriendo lo que se podría denominar como "sensibilidad" profesional, algo que ninguna formulación rigurosa puede acotar.

Solo una aproximación de carácter antropológico puede llegar a extraer las claves concretas de ese proceso de aprendizaje, un aprendizaje del que se ha de ser partícipe, accediendo a los contenidos formales, pero accediendo del mismo modo que quienes en el futuro serán los científicos competentes en la materia. Sólo de ese modo se captará de manera práctica ese *habitus* constituyente de sus aptitudes y capacitación profesional. Sólo así acabaremos pudiendo discriminar cuándo se impone el rigor matemático y cuándo lo hace la plausibilidad física, algo para lo cual no existe método, tan sólo experiencia inmediatamente vivida.

El proceso de aprendizaje del científico está marcado por los conflictos cotidianos, de entre los cuales hemos escogido como muestra esa pugna entre lo físico y lo matemático, de igual modo que podríamos haberlo ilustrado a través de la recurrente oscilación entre lo rigurosamente lógico y lo meramente analógico. Esa experiencia cotidiana no se traduce en las expresiones que avalan la excelencia del conocimiento que la ciencia produce, pues sólo una de las vertientes en conflicto tiene cabida en ellas; sin embargo, los sujetos capaces de producir dichas expresiones adquieren la condición de expertos mediante un proceso de aprendizaje en el que dicha excelencia entra en conflicto constantemente con una vivencia cotidiana en la que las prioridades pueden no tener nada que ver con la coherencia, la consistencia, la objetividad y el rigor que se supone propio de tales expresiones. Pero es difícil demostrar esto cuando uno no las maneja tan competentemente como ellos. La tribu científica es un universo todavía a explotar por la ciencia antropológica, sólo hace falta para ello asumir que la fornalidad lógico-matemática no es sino una muestra más de cultura local. Por tanto, hay que aprenderla: producir conocimiento acerca de lo que se considera máxima expresión del conocimiento humano, la ciencia, implica reclamar igualdad de condiciones; ello no se obtendrá si no se obtiene el reconocimiento previo de la tribu respecto a la excelencia de nuestra tarea (pero esta es una cuestión que excede las intenciones del presente trabajo).

4 Si atendemos a las palabras del propio Schroedinger, un físico nunca llega a saber las suficientes matemáticas: "En este momento estoy luchando con una nueva teoría atómica. *¡Si supiera más matemáticas!* Soy muy optimista acerca de esto, y espero que, si sólo puedo... resolverla será muy hermosa" (carta de Schroedinger a Willy Wien, el 27 de diciembre de 1925; en Moore, 1996: 176, subr. ntro.).

Bibliografía

Bourdieu, P. (1991): *El sentido práctico*. Madrid, Taurus.
Ferreira, M.A.V.(2004): *Vivir la ecuación de Schroedinger: una aproximación antropológica al conocimiento científico*, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
Ferreira, M.A.V.(2006): "Metodología autobservacional: un caso práctico de investigación sociológica de la ciencia"; *Empiria; Revista de Metodología de Ciencias Sociales,* Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia (en prensa).
Ferreira, M.A.V.(2007): "Antropología de la ciencia: una investigación autobservacional del proceso de formación de los científicos", *Revista de Antropología Experimental* 7, http://www.ujaen.es/huesped/rae/.
Garfinkel, H. (1984): *Studies in Ethnomethodology*, Cambridge, Polity & Blackwell.
Iranzo Amatriain, J. M. (1992): *El giro sociológico en la teoría de la ciencia ¿una revolución en marcha?*, Universidad Complutense de Madrid, tesis doctoral.
Kline, M. (1992): *El pensamiento matemático de la antigüedad a nuestros días,* Madrid, Alianza.
Moore, W. (1996): *Erwin Schrödinger: una vida*, Madrid, Cambridge University Press.
Morin, E. (1995): *Sociología*, Madrid, Tecnos.
Stewart, I. (1991): *¿Juega Dios a los dados?*, Barcelona, Crítica.