

## Intro

Observación, formulación de hipótesis, comprobación de hipótesis, formulación de la ley y expresión matemática de la ley. Según podemos leer en algún texto, éstas son las fases que conforman el método experimental en el que se fundamentan las llamadas actualmente ciencias naturales o experimentales, las que estudian los fenómenos de la Naturaleza. Todas estas fases, excepto quizá la primera, se ajustan a lo que se suele denominar Modelización (palabra que, por cierto, al igual que *modelizar*, no aparece en el diccionario), y la última a la Modelización Matemática en concreto. En resumidas cuentas, la Modelización es en gran medida el método de lo que en el lenguaje corriente se entiende como Ciencia. Lo que fue una aspiración en la Ilustración se ha convertido en realidad desde hace casi cien años, y es que la Ciencia se ha objetivado a través de la Tecnología y ha cambiado, para bien o para mal, la faz de la Tierra, marcando la dirección de progreso. Detrás de toda esa Tecnología que nos rodea, ocultos para la mayoría de los espectadores, están los modelos matemáticos. Nunca como ahora han sido las Matemáticas tan útiles, aunque la utilidad no sea esencial a ellas [Va 2]. Rechazar la Tecnología implica excluirse de la sociedad y civilización actuales, y rechazar las Matemáticas es perder la esperanza de comprender y crear la Tecnología.

*Satellites send me picture  
Get it in the eye, take it to the world  
spinning like a dynamo  
Feel it going round and round*

Los éxitos de la Ciencia en la comprensión de muchos fenómenos no deben dogmatizar su valor epistemológico. Modelizar es reflejar algunos aspectos de la *realidad*, pero la identificación de los modelos con la propia realidad es difícilmente sostenible. No podemos decir que el electrón no existiera antes del siglo XIX, ni que en las primeras décadas del siglo XX pasase de ser una esferita a una función que toma valores complejos. Es evidente que los modelos son reflejos parciales e imperfectos. Tampoco hay que exagerar el papel desempeñado por las Matemáticas ni su apriorismo, como hizo Galileo llegando a afirmar que “la verdad de la que nos dan conocimiento las demostraciones matemáticas, es la misma que conoce la sabiduría divina” ([Ga] p. 93). Es sorprendente que se pueda explicar en gran medida el átomo de hidrógeno representando el electrón como una función que resuelve una ecuación en derivadas parciales con coeficientes complejos, y un físico de la talla de E.P. Wigner dirá que “la enorme utilidad de las Matemáticas en las ciencias naturales es algo que raya el misterio”. Sin embargo, también es cierto que las derivadas y los números complejos no son elucubraciones completamente artificiales. La derivada se creó tratando de entender fenómenos mecánicos y es heredera de la noción de velocidad; y los números complejos, aunque su origen fue otro, sirven para representar algo tan natural como los

giros en el plano, y por tanto son adecuados para indicar una fase en la onda asociada al electrón. No podemos explicar matemáticamente el electrón con las Matemáticas que desconocemos, y por ello debemos echar mano de conocimientos previos; pero también los modelos sugieren naturalmente nuevos entes matemáticos. No es tan milagroso que en Mecánica Cuántica se emplee el Análisis Funcional habida cuenta que el desarrollo de éste estuvo ligado a los problemas que surgieron de ella. En definitiva, los modelos no están subordinados a las Matemáticas sino que también los modelos sirven para crear Matemáticas.

*Who made who, who made you?  
 Who made who, ain't nobody told you?  
 Who made who, who made you?  
 If you made them and they made you  
 Who picked up the bill, and who made who?*

Una vez rechazada la realidad de los modelos y sustituida por un reflejo lo más fiel posible, cabe preguntarse qué otras propiedades son deseables a la hora de crear un modelo. Quizá la principal sea la simplicidad, la economía en la descripción. A ésta hay que añadir algo completamente fundamental en Matemáticas, la belleza, la estética del resultado. Pero no hay que permitir que en favor de ella se subvierta el proceso de modelización. Por ejemplo, la idea heredada de los griegos clásicos de que la circunferencia es la curva más bella y perfecta repercutió en el error, mantenido hasta comienzos del siglo XVII, de que los movimientos planetarios eran composiciones de movimientos circulares, error en el que también incurrieron Copérnico y su gran apólogo Galileo ([Ga] p.18). Con respecto al principio de economía, no es casual que dentro de la historia del pensamiento apareciera explícitamente con el nominalismo de Ockham, que marca el final de la Edad Media y el despertar de la Ciencia. Hasta entonces la razón y la fe no estaban perfectamente separadas. Ockham utiliza su famosa navaja (el principio de economía) para dar prioridad a los conocimientos intuitivos directos provenientes de observaciones individuales y desligarlos de la fe. Es el comienzo del camino de la Ciencia en el que se adentrarían ya algunos de sus inmediatos seguidores.

*Here comes the razor's edge  
 Here comes the razor's edge  
 Well here it comes to cut to shreds  
 The razors edge*

El nominalismo y más tarde el empirismo señalaron el papel fundamental desempeñado por la experiencia y los experimentos en el conocimiento. Por otra parte se hace evidente el problema de inducción incompleta, consistente en la contradicción que supone tratar de verificar juicios universales a partir de un número finito de experimentos singulares quizá imperfectos. La historiografía científica a menudo ha deificado el valor decisorio del experimento, como si la veracidad de una teoría quedara inmediata y fácilmente sentenciada yendo a un laboratorio; y simultáneamente ha suavizado su valor gnoseológico

para exagerar la gloria de los grandes científicos. Es posible criticar estas dos tendencias a partir de casos sacados incluso de la aristocracia de la Ciencia. Por ejemplo, Einstein y de Haas midieron el valor de una constante atómica (la relación giromagnética) a partir de la torsión de ciertas barras metálicas, corroborando que coincidía con el predicho por la teoría. En realidad, su valor es dos veces mayor que el que midieron debido al *spin*, entonces desconocido. No hay razón para sospechar que manipulasen los resultados, simplemente sus prejuicios al obtenerlos motivaron el error. Como ejemplo de la segunda tendencia, a veces se presenta la rotación del perihelio de Mercurio como un experimento confirmando la relatividad general, cuando realmente al crear la ecuación fundamental de esta teoría, Einstein buscó ajustarla para que respondiera a este fenómeno observado muchísimo antes. La experimentación no es un trabajo sucio pero necesario o conveniente para verificar posibles errores, como la prueba del nueve de la multiplicación, sino que es crucial en la elaboración de los modelos. Tampoco es un trabajo fácil, ni un juez inapelable e infalible que automáticamente da un veredicto. Por ejemplo, si alguien tratase de medir por sí mismo sin instrumental sofisticado la aceleración de la gravedad llevando a la práctica los problemas de tiro parabólico de balones o piedras de los manuales básicos de Física, no obtendría un valor medianamente parecido, y sin embargo no es difícil conseguir un resultado muy preciso empleando un sencillo péndulo. La realización del experimento presupone conocer la gran influencia del rozamiento del aire en el tiro parabólico, y la poca en el periodo del péndulo. Es científicamente un poco tramposo discriminar las experiencias sin más explicaciones para ponderar la realidad de una teoría.

*For a fee  
I'm happy to be  
Your back door man*

*Dirty Deeds Done Dirt Cheap  
Dirty Deeds and they're Done Dirt Cheap*

La falibilidad de los experimentos y su dependencia de unos modelos que no están desligados del momento histórico ni son totalmente fieles, pueden conducir a una visión escéptica del valor de la Ciencia. Esta actitud que recoge Poincaré en alguno de sus contemporáneos ([Po] cap. X), y critica poderosamente, corresponde a un nominalismo exagerado, por el cual la Ciencia estaría compuesta de convenciones, de nombres, en las que descansa su aparente certeza. De manera que los hechos científicos son una obra artificial debida a los propios investigadores. Hoy en día este punto de vista está muy atenuado por la gran repercusión de la Tecnología pero no exento de ciertas motivaciones. Tómese como ejemplo el neutrino, ésta es una partícula elemental que se introdujo en 1930 con el único fin de explicar una falta de energía en la desintegración beta. Casi por definición, no tenía masa (ahora se cree que puede ser insignificante) ni carga y podría recorrer distancias casi astronómicas sin interactuar con la materia; incluso el denostado

éter lumínico tenía propiedades físicas más tangibles. En 1953 se registro el neutrino y pasó a ser una realidad científica. El experimento duró miles de horas y lo que se midió realmente fue que ciertas reacciones que conjeturalmente tenían lugar tras la muerte del neutrino, se producían con la probabilidad esperada. Si solamente se toma en cuenta esto, cabe preguntarse hasta qué punto el neutrino fue sólo un nombre artificial para cubrir un hueco en un modelo forzando la conservación de la energía. La misma crítica, y con mayor fundamento, se puede hacer ante muchos “descubrimientos definitivos” que nos presentan los diarios acerca de la Cosmología, durante bastante tiempo una de las áreas más divulgadas de la Ciencia. No hace falta ir al interior del átomo ni a los confines del Universo para darse cuenta de que muchas veces ante nuestras infantiles preguntas del porqué de las cosas, que son la base de la Ciencia, nos contentamos con poco más que los niños. Por citar un ejemplo relacionado con uno de los capítulos más originales de [Fe-Le-Sa], considérese algo tan común como una tormenta. Siempre se nos ha dicho que el rayo es una descarga eléctrica. Esto es como decir que tiene relación con las chispas en un cortocircuito de un enchufe casero, lo cual ya es bastante y a Franklin le dio gran prestigio cuando todavía no existían los enchufes, pero muy pocos se plantean que esto lleva a infinidad de preguntas sencillas aparentemente sin respuesta, ¿por qué hay una diferencia de potencial entre el cielo y la tierra si están en contacto?, ¿por qué se produce la descarga súbitamente?, ¿por qué después de ésta no se igualan los potenciales? De modo que cabe preguntarse si ha añadido más al conocimiento de los no expertos saber que el rayo es eléctrico, del que añadió a los antiguos griegos pensar que era la manifestación de Zeus tonante. La Ciencia, y la modelización que entraña, trata de ir más allá, y no sólo de poner nombre a los fenómenos, sino tratar de explicarlos desde primeras causas, en definitiva, de racionalizarlos.

*My mind raced  
And I thought what could I do (Thunder)  
And I knew  
There was no help, no help from you (Thunder)*

*Sound of the drums  
Beatin' in my heart  
The thunder of guns  
Tore me apart  
You've been - thunderstruck*