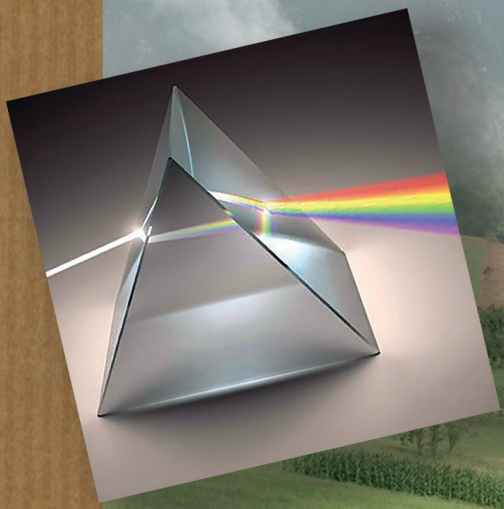
JOSÉ ANTONIO NAVARRO DOMÍNGUEZ

ES SIMPLE, ES BELLO...

ES FÍSICA



COLECCIÓN LECCIONES INAUGURALES

I.E.S. PADRE MANJÓN



JOSÉ ANTONIO NAVARRO DOMÍNGUEZ

Sevillano de Mairena del Alcor, licenciado en Ciencias Físicas por la **Universidad de Sevilla**. Fue becario colaborador durante dos años en el **Centro Nacional de Microelectrónica de Sevilla**. Siempre se ha considerado más profesor que investigador, y optó por seguir su vocación y hacerse profesor de instituto, labor en la que lleva 23 años por distintos centros de Sevilla, Huelva y, actualmente, Granada.

Ha desarrollado diversas aplicaciones informáticas encaminadas a la didáctica de la Física y Química, durante un año de licencia por investigación concedido por la Junta de Andalucía. Pertenece al departamento de Física y Química del **IES Padre Manjón** desde el curso 2016/2017.

© José Antonio Navarro Domínguez
Edita: I.E.S. Padre Manjón. Granada
Diseño y Maquetación: P&V
ISSN: 1889-304X
Editado en Granada

Es simple, es bello...

Es Física

José Antonio Navarro Domínguez



LECCIÓN INAUGURAL DEL CURSO 2017/2018
5 de octubre de 2017

I.E.S. PADRE MANJÓN
GRANADA

Con la colaboración del AMPA

Índice

Presentación 7

Es simple, es bello… es Física 9

La belleza de lo sencillo 15

- La sombra de un palo 18
- Mira al cielo 23

Humanizar los cielos 28

¡Qué sencillo! ¿Por qué no se me ocurrió a mí? 32

¿Impide la ciencia disfrutar de la belleza? 37

A veces la belleza te deja sin palabras 39

Creación científica vs Creación artística 45

La búsqueda de la elegancia 48

A Sonia y Elena,
mis musas particulares.

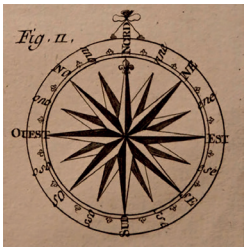
Presentación

Señor Director, miembros del equipo directivo, representantes de la asociación de madres y padres, estimados compañeros, docentes y no docentes, queridas familias, amigos del Manjón, alumnos, amigos, estimada familia de nuestra querida compañera Teresa.

En primer lugar, quisiera dar las gracias a nuestra vicedirectora, Dª Matilde Wood, por esas generosas palabras de presentación. Y también gracias a nuestro director, D. Rafael Artacho, por la confianza depositada en un recién llegado (sólo llevaba unos meses en el centro cuando de sopetón me propusiste el reto de esta lección inaugural). Procuraré no defraudar, e intentaré continuar por la senda por la que han transitado con éxito tan distinguidos y cualificados colegas en cursos anteriores.

La lección inaugural que afronto pretende dar una respuesta esperanzadora a aquellos (y no sólo hablo de alumnos) para los que, quizá por malas experiencias del pasado, ven la ciencia en general, pero sobre todo la Física, como un complicado mundo de teorías, diagramas y fórmulas que caen como losas sobre el pobre y esfor-

zado estudiante. Es decir, la física se presenta para muchos como algo difícil, tedioso y feo. Pero nada más lejos de la realidad. Hoy intentaré dar algunas pinceladas sobre la belleza y la simplicidad que se esconde tras las teorías y experimentos en Física, hasta el punto que podemos experimentar una sensación de goce estético similar a la de contemplar una obra de arte.



Es simple, es bello… es Física

Cuando se relacionan el arte y la ciencia, a menudo se afronta esto desde el punto de vista de cómo el arte refleja el trabajo científico y sus personajes, ya sea mostrando el solitario y abnegado trabajo de este *Astrónomo* de Vermeer *(figura 1)*.

El retrato de prestigio, mostrando ante una audiencia maravillada los avances de la ciencia, como en *La lección de anatomía* de Rembrandt *(figura 2)*.

El desarrollo social y económico que trae la ciencia, como muestran los diversos instrumentos científicos de *Los embajadores*, de Holbein *(figura3)*.

O muestran al científico como un ser terrible y despiadado, con poder para controlar las fuerzas de la naturaleza, como en este cuadro de Wright *(figura 4)*.

Sin olvidar la sátira, la caricatura del trabajo científico, como esta del s. XVIII *(figura 5)*.

O el retrato psicológico, para mostrar la persona que hay detrás del científico, como este *Galileo* de Sustermans *(figura 6)*, realizado seis años antes de su muerte, y que muestra a un Galileo ya anciano, casi ciego por las innumerables horas de telescopio, en arresto domiciliario tras la condena del Santo Oficio por defender las teoría copernicanas, quizá musitando *eppur si muove*, y pensando si realmente valía la pena tanto sacrificio… tranquilo, maestro, sí ha merecido la pena.



Fig. 1: *El astrónomo.* Jan Vermeer (1669) Museo del Louvre (París).



Fig. 2: *La lección de anatomía.* Rembrandt (1632) Mauritshuis (La Haya).



Fig. 3: *Los embajadores.* Hans Holbein (1533). National Gallery (Londres).



Fig. 4: *Un experimento con pájaro y bomba de aire.* Joseph Wright (1768) National Gallery (Londres)



Fig. 5: Caricatura inglesa sobre experiencias de química pneumática en la Royal Institution. S. XVIII

Pero en esta lección quiero mostrar otro aspecto de la relación ciencia-arte: en primer lugar, que no son necesarios unos planteamientos complicados para empezar a hacer física, y que con sencillos razonamientos se puede llegar bastante lejos; y segundo, que esos experimentos y teorías, y los resultados que de ellas se deducen, poseen una belleza similar a las de las obras de arte, belleza con las que se puede disfrutar plenamente. No pretende mi discurso ser una disertación sobre el concepto de belleza. Ya grandes pensadores, desde Platón hasta Kant, han tratado el tema, y hay entre la audiencia compañeros de filosofía y de arte, más cualificados que yo para hacerlo. Tiene más de experiencia personal. Simplemente pretendo mostrar la belleza que yo veo en las teorías y experimentos de la Física.



Fig. 6: *Galileo.* Justus Sustermans (1636) Galleria degli Uffizi (Florencia)

La belleza de lo sencillo

Hay belleza en la sencillez, en la pureza de líneas, como en esta pintura rupestre levantina de la Cueva de los Caballos del Valle de Valltortá.



Fig. 7: *Cacería de ciervos.* Cueva de los caballos. Valle de Valltortá (Castellón)

O este *Daniel en el foso de los leones*, en un capitel de la iglesia visigoda de San Pedro de la Nave.



Fig. 8: *Daniel en el foso de los leones* (capitel). Iglesia de San Pedro de la Nave (Zamora). S. VII.

O en las magníficas miniaturas de los beatos, como este de D. Fernando y Dª Sancha.

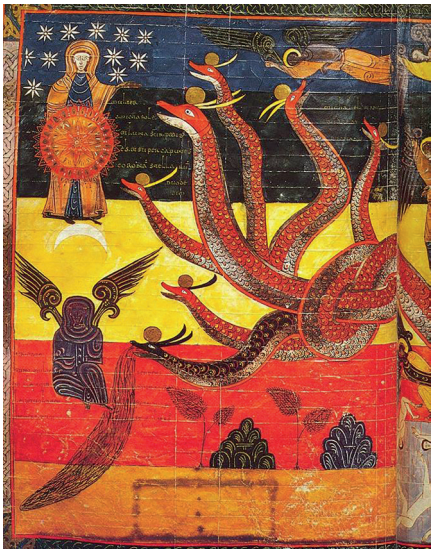


Fig. 9: *Comentarios al Apocalipsis.* Códice de D.Fernando I y Dª Sancha. Facundus. S. XI

O en esta *Foca*, de Brancusi, que tanto me llamó la atención en la EGB.



Fig. 10: *Foca (II)*. Constantin Brancusi (1943) Centro Pompidou (París).

Al igual que en el arte, podemos obtener belleza haciendo física con cosas sencillas.

Por ejemplo, podemos hacer Física con..

La sombra de un palo

Eratóstenes de Cirene, al que aquí vemos en una pintura barroca de Bernardo Strozzi *(figura 11)*. Astrónomo, matemático, geógrafo, historiador, fue el tercer bibliotecario de la biblioteca de Alejandría, en tiempos de Ptolomeo III, en el siglo III a.C. Entre otras obras, nos ha legado la primera medida precisa del Tamaño de la Tierra… usando un palo.

Como bibliotecario, Eratóstenes tenía acceso a multitud de textos, leyendas y relatos de viajeros. De algún modo, tuvo noticia de un hecho curioso que sucedía en la ciudad de Siena, cerca de la actual Assuan, que se encuentra al sur de Alejandría, siguiendo el cauce del Nilo, y prácticamente sobre el trópico de Cáncer, a unos escasos 40 km. No están exactamente sobre el mismo meridiano, hay unos 3º de diferencia en longitud, pero no es una mala aproximación para la época el suponer, como hizo Eratóstenes, que sí lo estaban.

En Siena, a mediodía del solsticio de verano, el 21 de junio, los relatos decían que el Sol se encontraba justo encima de sus cabezas, en el cenit. Los objetos no proyectan sombra, y el sol se ve incluso reflejado en el fondo de un pozo. Esto es algo que solo ocurre a mediodía en aquellos puntos de la Tierra que se encuentran en el



Fig. 11: *Eratóstenes.* Bernardo Strozzi (1635)

trópico. Más al Norte, es algo imposible. De hecho, Eratóstenes podía comprobar por sí mismo que en Alejandría, ese mismo día y a la misma hora, los objetos sí proyectan sombra.

Esto, que podría quedar como un hecho anecdótico o curioso, fue aprovechado por una mente científica como la de Eratóstenes para poder medir la circunferencia terrestre, porque ya desde el siglo V a.C. se sabía que la Tierra era esférica. Filolao de Tarento, Platón, Aristóteles… aportan pruebas basadas en que, por ejemplo, al viajar de norte a Sur, de día en día, dejamos de ver estrellas por el Norte y comenzamos a ver otras por el Sur, que antes eran tapadas por el horizonte. O en los eclipses de Luna, la sombra que proyecta la Tierra sobre la Luna siempre tiene forma redonda… La Tierra es una esfera. Además, Aristarco de Samos unos años antes y el mismo Eratóstenes habían realizado cálculos que, aunque inexactos,

mostraban que el Sol se encontraba mucho más lejos que la Luna y, desde luego, a una distancia enorme comparada con la que había entre Alejandría y Siena, por lo que es una buena aproximación el considerar que los rayos solares inciden paralelos sobre ambas ciudades.

Con esto *(figura 12)*, vemos que los rayos, al mismo tiempo, inciden perpendicularmente sobre Siena, llegando al fondo del pozo, mientras que en Alejandría el palo proyecta una sombra. Midiendo dicha sombra podemos conocer el ángulo que está marcado en el dibujo, que por una cuestión simple de geometría, vemos que es el mismo que este otro, la diferencia de latitudes entre ambas ciudades. El ángulo resulta ser de 7,2º, la cincuentava parte de la circunferencia terrestre. Como la distancia entre Alejandría y Siena es de unos 5000 estadios, unos 800 km, la circunferencia total de la Tierra será cincuenta veces mayor, es decir, 40000 km. De una forma simple, aprovechando un hecho curioso y un palo, hemos medido la Tierra con una precisión bastante aceptable, inferior al 5%

No conocemos exactamente cómo midió Eratóstenes el ángulo, ya que los textos de Eratóstenes se perdieron en uno de los varios saqueos e incendios que sufrió posteriormente la biblioteca de Alejandría, y conocemos su obra por referencias de escritores posteriores, como Cleómedes. En la época no se poseían los conocimientos de trigonometría necesarios para obtener el ángulo a partir de la longitud de la sombra. Probablemente usó un compás, o incluso un *skaphe*, un reloj de sol esférico, con el que podía medir directamente qué fracción de la circunferencia ocupaba la sombra.

A menudo se muestra esta experiencia como una demostración de la esfericidad de la Tierra, y no es así. Suponiendo una Tierra plana y un Sol muy cercano, también puede producirse el que los rayos lleguen perpendiculares a una ciudad, mientras producen sombra en otras *(figura 13)*. En un texto chino del siglo II a.C., el *Libro del maestro de Huainan*, se comenta que esto podría servir para calcular a qué altura está el Sol. Eratóstenes llegó a la solución correcta porque ya sabía que la Tierra era redonda y el Sol estaba a una gran distancia.

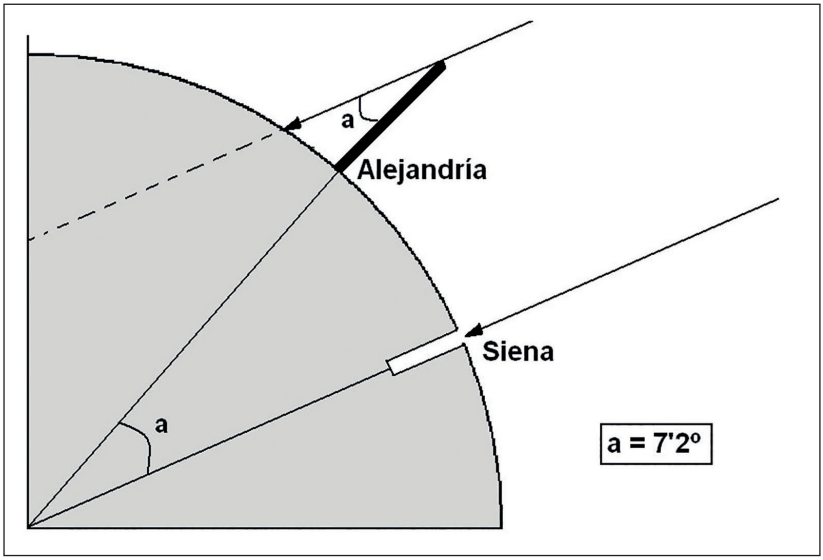


Fig. 12: Esquema de los ángulos que forman los rayos del Sol sobre un pozo en Siena y un bastón en Alejandría en el solsticio de verano.

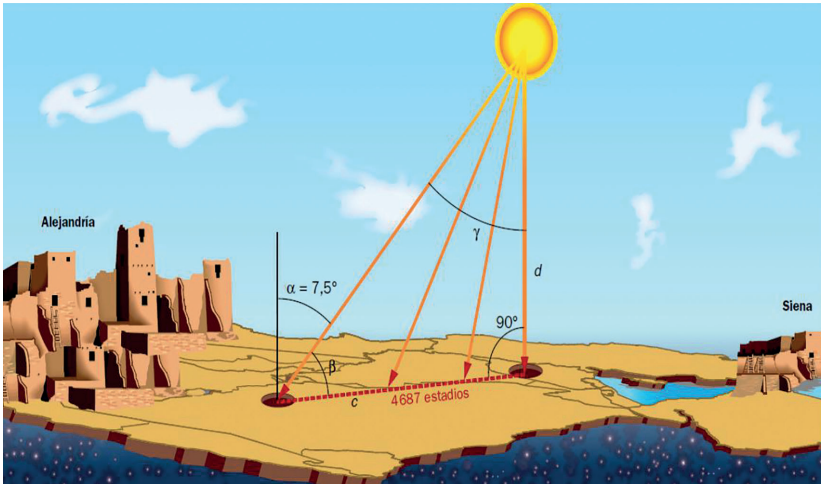


Fig. 13: Esquema que muestra cómo, con una Tierra plana y un Sol cercano, podría explicarse la diferencia en la incidencia de los rayos solares, e incluso medir la altura a la que está el Sol.

Esto nos lleva a una reflexión. Para llegar a la solución correcta, para desarrollar la competencia de poder comprender el mundo y su funcionamiento, necesitamos poseer conocimientos previos bien asentados. Unos conocimientos que pueden provenir de diferentes disciplinas y a los que no les vemos una utilidad inmediata, pero que se terminarán interconectando en nuestra mente para producir nuevo conocimiento.

Veamos otro ejemplo simple, tanto como...

Mira al cielo…

- *"Es de noche, está oscuro"*
- *"Pues ese es el problema"*

Heinrich Olbers fue un eminente médico y astrónomo alemán del s. XIX. Descubridor de varios asteroides y cometas, sin embargo su mayor aportación es una paradoja que mantuvo perplejos a los astrónomos durante bastante tiempo.

Hagamos lo que nos propone Olbers. Miremos al cielo, como en esta preciosa *Noche estrellada sobre el Ródano*, donde apreciamos las vigorosas pinceladas de Van Gogh *(figura15)*. Lo primero que nos llama la atención del cielo nocturno son, lógicamente, las estrellas, podemos incluso distinguir la Osa Mayor. Pero Olbers dirige su atención hacia la oscuridad de la noche. Si usamos un telescopio, notamos que en esa oscuridad hay múltiples estrellas que no vemos a simple vista, y que estas están distribuidas de



Fig. 14: Heinrich Olbers (1758 -1840) Litografía de Rudolf Suhrlandt.



Fig. 15: *Noche estrellada sobre el Ródano.* V. van Gogh (1888) Museo de Orsay (París).

forma aproximadamente uniforme por un Universo que suponemos que es infinito. Cuando se descubre posteriormente que en el Universo las estrellas están agrupadas formando galaxias, y que estas también se distribuyen de forma uniforme a gran escala, el razonamiento que vamos a realizar no va a cambiar, ya que, comparadas con el infinito, una estrella y una galaxia son igual de pequeñas.

Cuanto más lejos está una estrella, menor es la intensidad de la luz que nos llega, ya que la energía que emite tiene que repartirse por una superficie esférica cada vez mayor conforme se aleja. La intensidad de la luz que nos llega de la estrella disminuye con el cuadrado de la distancia. A una distancia doble, la intensidad se habrá reducido a la cuarta parte.

Pero por otro lado, a mayor distancia, el número de estrellas que podemos ver y que nos envían luz es cada vez mayor. Aumenta con el cuadrado de la distancia, como la superficie de una esfera. Si hacemos la distancia el doble, tendremos cuatro veces más estrellas a

esa distancia, pero la intensidad de la luz que recibimos de cada una habrá disminuido a la cuarta parte. Ambos factores se compensan, y vemos que tendríamos que recibir la misma cantidad de luz de cada "capa" de estrellas, lo que, si suponemos que el Universo es infinito, daría el paradójico resultado de que deberíamos observar no un cielo oscuro, sino una iluminación uniforme, la misma cantidad de luz miremos en la dirección que miremos. Una luz, por otra parte, infinita. Pero evidentemente no es esto lo que ocurre, el cielo nocturno es oscuro. En eso consiste la paradoja de Olbers.

Algo debe de haber mal en nuestro planteamiento.

Posibilidad nº 1: El Universo no es infinito, y llega un momento en que ya no hay más estrellas o galaxias que nos envíen luz. Esto nos plantea interesantes cuestiones acerca de qué hay más allá, o sobre la geometría del Universo.

Posibilidad nº 2: Sabemos que la velocidad de la luz no es infinita. Es posible que para las estrellas muy lejanas, no le haya dado tiempo aún a la luz a llegar hasta nosotros, lo que nos obliga a reconocer que el Universo no es eterno, no ha existido siempre, tuvo un comienzo.

Miramos al cielo, vemos que está oscuro, y llegamos a la conclusión de que el Universo, o no es infinito, o no es eterno, o las dos cosas. A partir de una observación simple y razonamientos sencillos, sacamos conclusiones sobre cuestiones básicas de nuestro Universo.

Además de la sencillez, ¿qué belleza podemos apreciar en estos ejemplos? Pues un tipo de belleza que podríamos clasificar de sublime, ya que los trabajos de Eratóstenes y de Olbers nos colocan cara a cara, y de golpe, frente a la inmensidad del Universo, nos ponen en nuestro verdadero tamaño. Experimentamos la belleza de contemplar algo que nos desborda, que no podemos abarcar, ante lo que sentimos vértigo por lo descomunal, pero que al mismo tiempo nos fascina, no podemos dejar de mirarlo.



Fig. 16: Interior de la Catedral de León. S. XIII.

Como nos ocurre la primera vez que entramos en una catedral gótica, como esta de León *(figura 16).*

O como lo experimenta el *Caminante sobre el mar de nubes*, de Caspar Friedrich, obra cumbre del romanticismo alemán *(figura 17)*.



Fig. 17: *Caminante sobre el mar de nubes* (copia al óleo realizada por el autor). Original de C. Friedrich (1818) Kunsthalle (Hamburgo).

Humanizar los cielos

Isaac Newton es considerado, por unanimidad de la comunidad científica, incluido el propio Einstein, la figura más relevante de la historia de la Física. Nacido en 1643, el mismo año en que murió Galileo, e hijo de una familia de granjeros, trajo a su madre de cabeza, que no sabía qué hacer con aquel chico ensimismado que sólo se dedicaba a pensar y a leer libros, sin preocuparse por el campo o los negocios. Al final, tuvo que reconocer la buena señora que no podría sacar nada provechoso de aquel bala perdida, que después de todo solo valía para la universidad. Así que el joven Newton entró en el Trinity College de Cambridge, donde más tarde ocuparía la cátedra Lucasiana de Matemáticas, y llegaría a dirigir la Royal Society y la Casa de la Moneda.

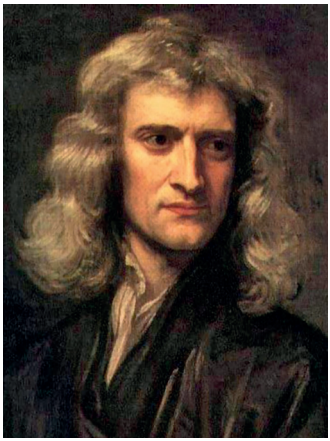


Fig. 18: Isaac Newton.
Geodfrey Kneller (1689)

Viene Newton invitado a esta lección por la simplificación que su Teoría de la Gravitación Universal supuso en el conocimiento acerca del Universo. Resumiendo en dos pinceladas, recordemos que hasta bien avanzado el S.XVI el modelo aceptado del Universo era

el geocentrismo, en la versión desarrollada por Ptolomeo en el S.II, y que fue modificándose durante cientos de años para adaptarse a las nuevas observaciones, introduciendo todo un conjunto de epiciclos, deferentes y ecuantes al movimiento de los planetas alrededor de la Tierra, llegando incluso a desplazar a ésta del centro, porque las cuentas no cuadraban. Tanto se enmarañó, que incluso Alfonso X el sabio llegó a comentar que "si Dios le hubiera pedido consejo para hacer el universo, él no lo hubiera hecho tan complicado".

Una simplificación vino en 1543 con la hipótesis correcta: el Heliocentrismo de Copérnico, que luego se perfecciona con los trabajos de Galileo y Kepler, que llega a describir las órbitas y los movimientos de los planetas. Pero aún no se había explicado el porqué, aunque Kepler deja traslucir en sus escritos que va por el buen camino. Y los cielos y la tierra seguían separados. El movimiento de un planeta o de una piedra parecían no tener nada que ver… hasta que cayó una manzana sobre la cabeza adecuada.

Parece que la anécdota de la manzana es cierta. Al menos así se lo contó un anciano Newton a su sobrina, que a su vez lo relató a Voltaire. Lo cierto es que en los años 1665 y 1666, cuando Newton contaba 23 años, una epidemia de peste asoló Inglaterra. La Universidad cerró y Newton, ya graduado, se refugió durante ese tiempo en la granja familiar en Woolsthorpe. En ese tiempo, aislado completamente de la comunidad científica, se dedicó a reflexionar y sentó las bases de todo lo que desarrollaría posteriormente, desde el cálculo diferencial a la dinámica y la óptica, incluyendo la ley de la gravedad.

Con manzana o sin ella, e investigando el movimiento de la Luna, Newton dio una respuesta, genial por lo sencilla y también por lo inesperada, a la pregunta de: ¿Por qué la Luna no se cae sobre la Tierra?

¿Y quién ha dicho que no se caiga? La Luna se está cayendo ahora mismo sobre nosotros, cae constantemente hacia la Tierra, atraída por esta, igual que la manzana. Lo que ocurre es que, debido a la velocidad que lleva y a la dirección de su movimiento, su trayectoria

no llega a chocar con la superficie terrestre. Se acerca para pasar de largo y alejarse, y así indefinidamente. La Luna está en caída libre, lo mismo que la Tierra está en caída libre hacia el Sol desde hace 4500 millones de años.

O dicho de otro modo. La Luna se cae, o es la manzana la que se pone en órbita si la lanzamos. El mero hecho de dar un saltito hacia adelante, o de lanzar una pelota, significa ponerla en órbita alrededor del centro de la Tierra. Adelante, pueden sentirse astronautas dando un saltito, aunque sólo sea por un segundo. Si no hubiera una superficie, si toda la masa de la Tierra estuviera concentrada en su centro, la pelota describiría una órbita elíptica, llegando al centro de la Tierra, pasando a su alrededor, y volviendo a nuestra mano. La única diferencia, como expresó Newton en su magna obra, *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, está en la velocidad y la dirección del lanzamiento *(figura 19)*. Hagan que la trayectoria no

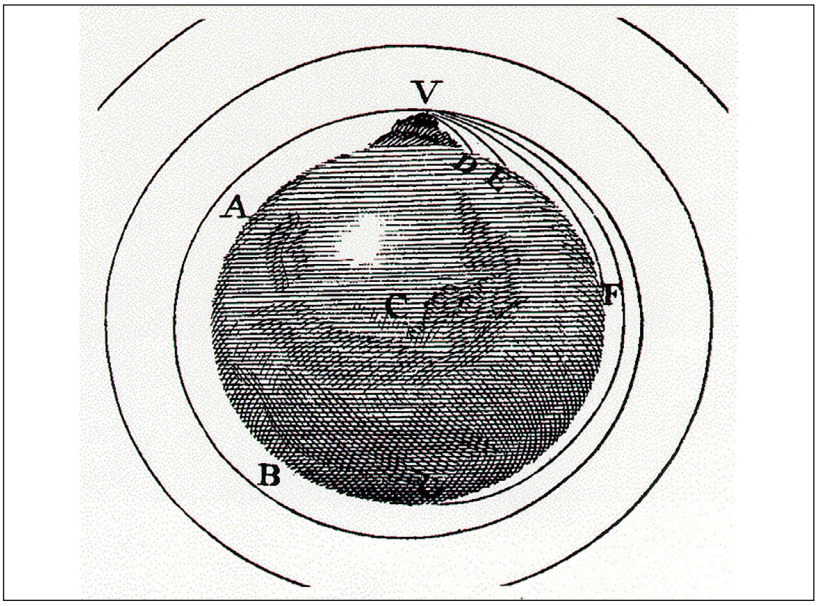


Fig. 19: Grabado incluido en *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, de Isaac Newton (1687).

entre en colisión con la superficie terrestre, y ya está. Y eso es lo que se hace cuando se lanza un satélite artificial. El cohete se pone a la altura adecuada, con la velocidad y dirección precisas… y se suelta el satélite, se deja caer, literalmente.

La sencillez de la argumentación de Newton nos acerca los cielos, los hace más cercanos, más accesibles… más humanos. Y nos proporciona una poderosa herramienta para descifrar sus secretos, para conocer el funcionamiento del Universo. Volvamos por un momento a nuestro caminante de Friedrich. Quizá ahora lo veamos con otros ojos. Está evidentemente asombrado, extasiado ante la inmensidad que le rodea. Pero ahora su actitud es otra, más desafiante, tiene el poder para desentrañar los misterios que se esconden en lo inabarcable.

En palabras de Hamlet

> "*Podría estar encerrado en una cáscara de nuez y sentirme dueño del espacio infinito*".
>
> (Willian Shakespeare, *Hamlet*, 2º acto, escena 2)

¡Qué sencillo! ¿Por qué no se me ocurrió a mí?

Muchas veces nos ha surgido esta pregunta cuando de repente se nos enciende la bombilla y comprendemos algo. Y para tratar esto nos servirá como ejemplo el estudio de un fenómeno que unánimemente es reconocido como bello: el arco iris, fuente de inspiración de poetas y creadores de leyendas. Bellos como este, captado en el valle del río Navia, en Asturias *(figura 20)*.

Ya era conocido desde antiguo el hecho de que en un vaso de agua, o en un cristal, o en el arco iris, se producía en ocasiones una multitud de colores cuando era atravesado por la luz. Lo que no estaba claro era su explicación.

En la primera mitad del siglo XVII Descartes describe el proceso de formación del arco iris, explicando las refracciones y reflexiones que ocurren en el interior de la gota de agua, y que veremos el arco iris si hay gotas de agua suspendidas en la atmósfera tras una tormenta, y si tenemos el Sol detrás nuestro, con una orientación muy precisa, formando un ángulo de 42º. Por cierto, el arco iris no está físicamente allí, sino en nuestro ojo (o en nuestro cerebro) y es algo personal. Una persona que esté a cierta distancia de nosotros verá los rayos de luz que se han reflejado en otras gotas de agua diferentes a las "nuestras", así que, en cierto modo, ese arco iris que vemos es nuestro, y merece la pena disfrutarlo.



Fig. 20: Arco iris en Serandinas. Valle del río Navia (Asturias). Foto del autor.

La hipótesis de Descartes (publicada en *Meteoros*, 1637) para explicar la formación de los colores era la aceptada en la época. La luz blanca es luz pura, sin mezclas de ningún tipo, y está formada por una especie de corpúsculos de éter, que inciden, rebotan y llegan al ojo, produciendo la sensación visual. El color de los objetos se atribuye a la rotación de esos corpúsculos. Como si fuera una pelota, al rebotar contra el objeto, éste hace que las partículas giren de cierta forma. Es este giro, más rápido o más lento el que, según Descartes, producirá en nuestro ojo la sensación del color. Del mismo modo, al chocar con un prisma y atravesarlo, estas partículas girarán de diferentes formas, dando lugar a distintos colores. Es el prisma, o la

gota de agua, el que modifica las características de la luz. Como no podemos ver estas partículas, no tenemos forma de comprobar si la hipótesis de Descartes es correcta a no.

¿O sí la tenemos? Volvamos a Newton. No estaba convencido de la hipótesis de Descartes, y era meticuloso, tenaz, obstinado hasta la extenuación. Escribe el profesor Eduardo Battaner en su muy recomendable libro *Los pecados de dos grandes científicos, Newton y Einstein*, que Newton llegó incluso a experimentar consigo mismo introduciendo punzones en su propio ojo, entre el globo ocular y la cuenca, para comprobar si la sensación visual cambiaba con la percepción obtenida. Me calculo que vería las estrellas, pero no mucho más. Como anécdota de su carácter, llegaron a preguntar a colegas suyos en estos términos:

"¿Pero come, bebe, duerme, es como los demás hombres?" Y la respuesta, según Battaner, sería no, no y no.

Newton ya poseía bastantes indicios y experiencias que corroboraban que la luz blanca no es pura, sino una mezcla de rayos de los distintos colores. Los colores ya están en la luz, el prisma lo único que hace es separarlos, debido a que cada color tiene un índice de refracción diferente. Sin embargo, diseñó un experimento didáctico, para refutar de una vez por todas la teoría de Descartes y acallar las bocas que se alzaban desde Francia, y también de algunos colegas ingleses como Hooke, que criticaban su hipótesis de la mezcla de colores.

En una habitación que podía ponerse completamente oscura, salvo una rendija, Newton colocó un prisma, que efectivamente producía los distintos colores del arco iris *(figura 21).* ¿Cómo saber si los colores los produce el propio prisma, o si simplemente los separa? Muy sencillo, aislemos un rayo de luz de un solo color mediante una rendija y coloquemos un segundo prisma. Si es el prisma el que modifica la luz, el color del rayo debería cambiar a la salida, o producir nuevos colores. Pero eso no sucedió. El prisma desvió el rayo, pero seguía del mismo color. Queda probado que la luz blanca es una mezcla de colores.



Fig. 21: *Isaac Newton realiza su crucial experimento con un prisma (experimentum crucis) en su dormitorio de Woolsthorpe Manor.* Pintura acrílica de Sascha Grushe (2015).

Sencillo, directo, K.O. técnico a la hipótesis de Descartes. Y de paso, golpe también a su encarnizado enemigo Robert Hooke. La famosa frase "*Si he llegado lejos es porque me he aupado a hombros de gigantes*", no es de modestia ni reconocimiento a Galileo, o Kepler, como comúnmente se supone. En realidad es una cruel puya lanzada en una carta contra Robert Hooke, que era más bien bajito y encorvado. A ver, que no es ningún secreto el que Newton tenía un carácter difícil e insoportable, y no era el tipo de enemigo que nos convendría tener.

El experimento que propone Newton es sin duda sencillo. Pero, ¿Se nos hubiera ocurrido a nosotros? Seguramente no. Vemos el experimento como algo simple porque Newton nos lo presenta de la forma adecuada. El primer descubrimiento requiere cambiar la mentalidad, desafiar a veces lo establecido y, ¿por qué no?, genialidad. Pero se nos hace asequible, incluso trivial, si nos lo explican convenientemente. De ahí la importancia de la labor del docente, y de su dominio de la materia, para poder hacer ver como sencillo algo que en principio no lo era.

También esto ocurre en el arte. Unos brochazos de pintura que parece que podríamos hacer todos, ¿no? *(figura 22)*



Fig. 22.

Bueno, ahora quizá no nos lo parezca tanto. Habría que ser Don Francisco de Goya *(figura 23)*



Fig. 23: *La familia de Carlos IV.* Francisco de Goya (1800). Museo del Prado (Madrid).

Suena de fondo la sonata para piano 111 de Beethoven.

¿Impide la Ciencia disfrutar de la belleza?

Al hilo de la experiencia de Newton sobre el prisma, nos cuenta el filósofo Robert Crease en su interesante libro *El prisma y el péndulo*, que durante los siglos XVIII y XIX fueron numerosos los poetas y artistas plásticos que criticaban a Newton por haber "roto el misterio y la magia del arco iris" y "destruido su belleza al reducirlo a meras matemáticas". Esto no era nuevo. Ya Platón en La República advertía de la distracción que el goce estético produce en la argumentación y el razonamiento lógico.

Pero, ¿acaso porque un luthier conozca las técnicas de fabricación de un instrumento, o un compositor las reglas de la armonía musical, van a disfrutar menos de la belleza de la última de las sonatas para piano de Beethoven, la 111? Ya volveremos a ella más adelante.

¿Acaso por el hecho de saber que Jan Vermeer usaba la cámara oscura a la hora de realizar sus cuadros, y que se inspiraba en los efectos de luz producidos por una lente imperfecta o ligeramente desenfocada, vamos a dejar de disfrutar de la maravillosa atmósfera de este cuadro de *La lechera (figura 24)*, o de la *Vista de Delft (figura 25)*? Más bien al contrario, un conocimiento más profundo de la realidad complementa a la percepción estética, y permite disfrutar con más intensidad de la belleza, y desde más puntos de vista.



Fig. 24: *La lechera.* Jan Vermeer (1658-60) Rijksmuseum (Amsterdam)



Fig. 25: *Vista de Delft.* Jan Vermeer (1660-61) Mauritshuis (La Haya).

A veces la belleza te sorprende, te deja sin palabras, lleno de incertidumbres…

Sin palabras como seguramente se quedó Marcelino Sanz de Sautuola cuando en 1879 descubrió junto a su hija los bisontes de Altamira *(figura 26)*.



Fig. 26: *Bisonte* (h. 13000 a.C.) Cueva de Altamira. Santillana del Mar.

O cuando contemplas el impresionante *Descendimiento* de Van der Weyden, en el museo del Prado, obra maestra de la pintura flamenca del S.XV, con su elegante dramatismo y su perfección técnica, hasta el más mínimo detalle *(figura 27)*.



Fig. 27: *El Descendimiento.* R. Van der Weyden (1435). Museo del Prado (Madrid)

O lleno de incertidumbres, de preguntas, como este *Perro semihundido* de Goya, una obra tremendamente moderna, adelantada a su tiempo. ¿Se hunde? ¿Se asoma? ¿Qué representa, qué quiso expresar el pintor? *(figura 28)*

O la *Joven de la perla*, de Vermeer, que aparece en la página siguiente. La verdad es que, permítanme, la prefiero a la *Gioconda*, me parece mucho más enigmática, con su imagen congelada en el momento justo de volverse a mirarnos, esbozando lo que esperamos ansiosamente que sea una sonrisa abierta y alegre ¿o no lo será hoy? *(figura 29)*



Fig. 28: *Perro semihundido.* Fco. de Goya (1819-23) Museo del Prado (Madrid).



Fig. 29: *La joven de la perla.* Jan Vermeer (1665-67) Mauritshuis (La Haya).

Pues bien, esos mismos sentimientos nos suscita la Física Cuántica a los que la estudiamos por vez primera, y por vez segunda, y tercera, y… Podemos asegurar sin temor a equivocarnos que, el que no se haya sentido desconcertando y diciéndose a sí mismo "¿¡cómo!?" cuando estudia física cuántica, ese no se está enterando absolutamente de nada. La verdad es que aquí no podemos usar el calificativo de "sencillo", pero sí de "bello", con una belleza basada en la fascinación que nos produce lo misterioso, lo que desafía al sentido común y a toda lógica.

Un mundo tan ajeno al nuestro, pero que en el fondo es el nuestro, pero a escala subatómica. Un mundo donde las partículas son a veces partículas y otras se extienden por el espacio como ondas, y viceversa, un mundo donde un electrón es capaz de pasar por dos rendijas al mismo tiempo y producir interferencias, como una onda. Un mundo cruel que no se deja conocer, porque el principio de incertidumbre establece precisamente eso, que no podemos medir las magnitudes con toda la precisión que queramos, si medimos una con precisión, habrá otra magnitud relacionada en la que el error cometido en su medida sea muy grande. Esto mismo permite que aparezcan partículas virtuales aparentemente de la nada para mediar en una interacción y desaparecer luego… un mundo, en suma, en que nos vemos obligados a hablar de probabilidades, donde el sistema que estudiamos está en todos sus estados posibles hasta que midamos, y donde el famoso gato de Schrödinger está condenado a estar vivo y muerto al mismo tiempo, hasta que nos decidamos a abrir la caja.

Esto de sentirse en dos estados al mismo tiempo, es lo que ocurre cuando contemplamos la obra maestra de Velázquez. En *Las meninas* estamos dentro y fuera del cuadro al mismo tiempo. Nos sentimos observadores, pero al mismo tiempo retratados por Velázquez en el lienzo que nos aparece de espaldas… incluso a veces nos entran ganas de mirar de reojo hacia atrás, buscando a Felipe IV y a Mariana de Austria *(figura 30)*.



Fig. 30: *Las meninas.* Diego Velázquez (1656) Museo del Prado (Madrid).

Suena el concierto para piano y orquesta nº 20 de Mozart

Creación científica vs Creación artística

El nacimiento de la Física cuántica nos va a servir para tratar brevemente la controversia

Werner Heisenberg, descubridor del principio de incertidumbre, uno de los padres de la Física Cuántica, premio nobel en 1932. Además de todo eso era un más que notable pianista, y este concierto para piano y orquesta nº 20 de Mozart era una de sus piezas preferidas. También lo era la sonata 111 de Beethoven, que hemos oído con anterioridad. Un día, después de deleitar a unos amigos interpretando al piano esta sonata, declaró: "*Si yo no hubiera existido, otro hubiera formulado el principio de incertidumbre, pero si Beethoven no hubiera existido, nadie hubiera compuesto la sonata 111*".



Fig. 31: Werner Heisenberg (1901-1976)

Esta frase marca una diferencia abismal entre el proceso de creación de una obra de arte, y el de una teoría científica, en un sentido que viene a decir que las teorías científicas "están ahí" en la naturaleza, esperando a ser descubiertas por alguien, en tanto que una creación artística (literaria, plástica, musical) es algo libre, único, propio de la mente de su autor.

Esto, aun siendo esencialmente cierto, ya que una teoría científica se refiere al comportamiento de la naturaleza, y debe superar el filtro de la comprobación experimental, de la contrastación con la realidad, admite a mi entender ciertos matices que nos permiten establecer una analogía entre ambos procesos de creación.

No olvidemos que las teorías científicas son constructos del pensamiento, modelos que hacemos para llegar a aproximarnos a entender el funcionamiento de la naturaleza, donde buscamos regularidades y relaciones entre determinadas magnitudes que escogemos para su estudio. Pero esa aproximación al mismo fenómeno físico puede realizarse desde diversos enfoques, centrándose en unas magnitudes o en otras, lo que confiere cierto grado de libertad, de carácter de autor, a la hora de elaborar formalmente la teoría. Es decir, la forma, las expresiones de una teoría científica, no son algo tan inexorable como pueda parecernos.

Por ejemplo, durante los años 20 del pasado siglo, los fenómenos cuánticos fueron descritos y explicados desde tres enfoques diferentes: Werner Heisenberg, con su mecánica matricial (el punto de vista de la juventud que rompe con todo lo establecido), Erwin Schrödinger, con la mecánica ondulatoria (de corte más clasicista), y Paul Dirac, con el álgebra cuántica (el enfoque de un matemático). Los tres recibieron conjuntamente el Premio Nobel de Física en 1933 (aunque a Heisemberg en realidad le correspondía el de 1932, que no fue entregado dicho año).

También Newton y Leibniz tuvieron una de sus muchas controversias acerca del mejor formalismo para expresar el cálculo diferencial e integral. O en dinámica, tenemos el análisis de fuerzas desarrollado por Newton, y otra forma alternativa y complementaria

de afrontar los problemas: el estudio de las energías presentes y sus variaciones, elaborado, entre otros, por Helmholtz, Lagrange o Hamilton.

En resumen, una teoría científica tiene mucho de la persona que la ha desarrollado. Hay cierto sitio para la creación dentro de la ciencia.

La búsqueda de la elegancia

Quisiera terminar este breve paseo por la belleza de la ciencia con una semblanza sobre este científico, Paul Dirac. Matemático de formación, apreciaba la simetría, la armonía… la elegancia, en suma, de las fórmulas y teorías, y usaba este criterio de la elegancia como "intuición" a la hora de establecer sus hipótesis.

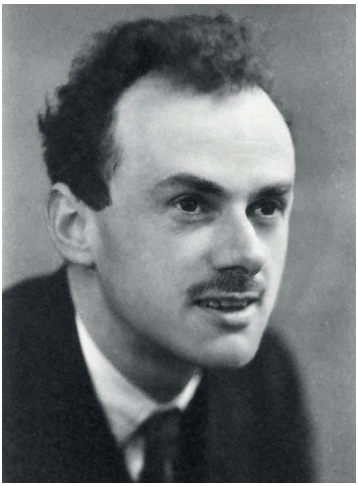


Fig. 32: Paul Dirac (1902-1984).

Elegancia es la palabra que me viene a la mente cuando admiro esta joya del *quatroccento* italiano, La *Madonna con el niño y dos ángeles*, de Fra Filippo Lippi *(figura 33).*

O el *Busto de Nefertiti*, del artista egipcio Tutmose *(figura 34).*

O el *Sepulcro de Ilaria del Carreto*, obra maestra de Jacopo della Quercia, en la catedral de Lucca *(figura 35)*.

Pues bien, la búsqueda de la elegancia permitió a Dirac realizar uno de los descubrimientos más fascinantes del siglo XX: la antimateria.

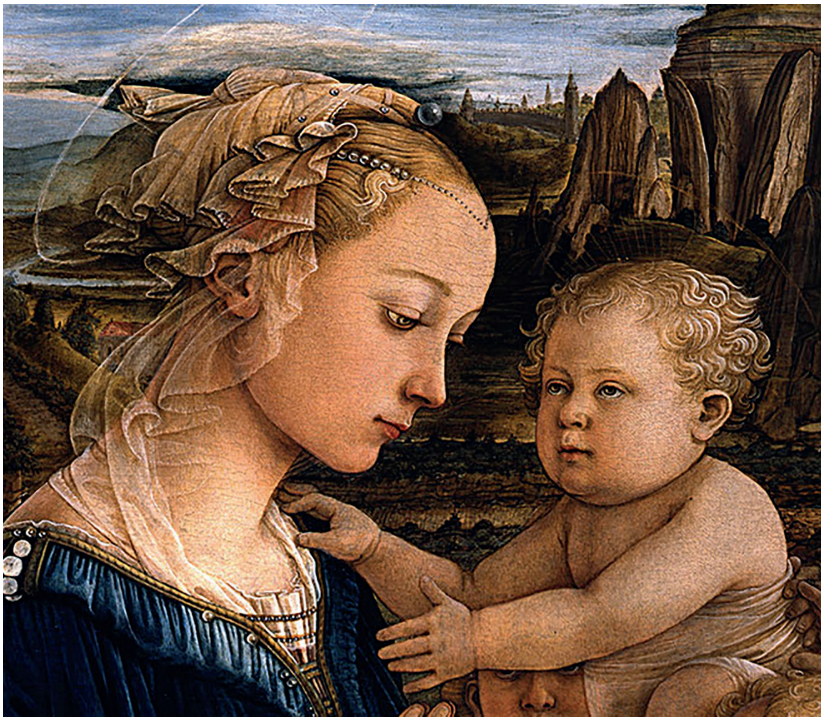


Figura 33: *Madonna con niño y dos ángeles.* F. Lippi (1460-65). G. Uffizi (Florencia).

Paul Dirac tenía un carácter reservado, de pocas palabras, y con mucha dificultad para relacionarse con los demás o para leer entre líneas o ver dobles sentidos. Algunos biógrafos creen que podría haber padecido cierto grado de autismo, o quizá Asperger. Entre sus colegas se había establecido la unidad del Dirac como la cantidad mínima de palabras que pueden decirse en una conversación. Y es famosa otra anécdota que ocurrió en el transcurso de una conferencia. Tras la misma, el moderador dijo: ¿Alguna pregunta? Un asistente de la sala levantó la mano y dijo: "*Profesor Dirac, no entiendo esa fórmula que ha puesto usted en la pizarra*". Dirac guardó silencio. Tras un largo e incómodo intervalo, el moderador se decide a intervenir: *"¿No va a responder, profesor?*" "*Es que no ha hecho ninguna pregunta.*"



Fig. 34: *Busto de Nefertiti Tutmose* (S. XIV a.C.) Neues Museum (Berlín).

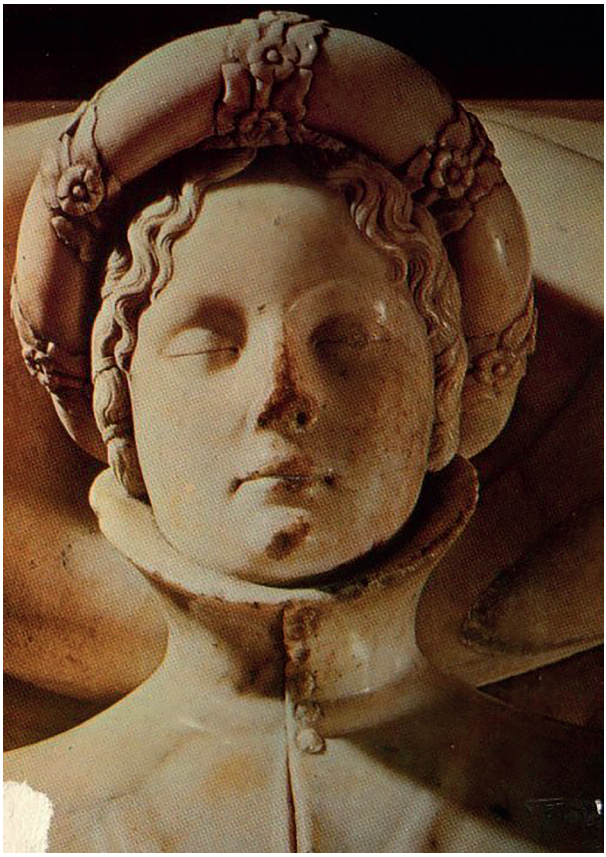


Fig. 35: *Sepulcro de Ilaria del Carretto.* J. della Quercia (1406) Catedral de Lucca

El gran éxito de Dirac llegó con la determinación de la ecuación de onda del electrón. Buscando la simetría, introdujo en su ecuación un tratamiento igual (con derivadas de primer orden) tanto para las coordenadas espaciales como para el tiempo. Con esto abría también la puerta a hacerla compatible con la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein. Al resolver la ecuación, aparecían explicadas todas las características del electrón, incluyendo el spin… y algo más. Además de explicar el comportamiento de los electrones de carga negativa, por simetría, también permitía la existencia

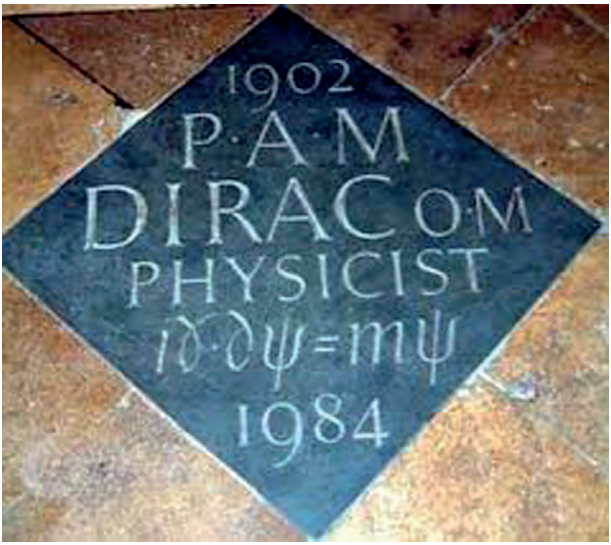


Fig. 36: Lápida de Paul Dirac. Abadía de Westminster.

de partículas iguales a los electrones, pero con carga positiva. Dirac había predicho la antimateria, que fue descubierta experimentalmente por Anderson unos años más tarde.

La ecuación de Dirac, en su forma simplificada, aparece como epitafio en la lápida erigida en su honor en la abadía de Westminster *(figura 36)*. Un bonito legado, pero qué quieren que les diga, me gusta más como epitafio el "*Perdonen que no me levante*" de Groucho Marx. Y recordemos esta frase que guió el trabajo investigador de Dirac:

"Una ley física deben poseer belleza matemática".

Y termino con esta *Escuela de Atenas* de Rafael *(figura 37)*, como símbolo de la unión de todas las ramas del saber en el objetivo común de transmitir la cultura a las nuevas generaciones, y agradeciéndoles el haberme permitido compartir con ustedes la belleza que veo en la Física y la pasión con la que intento mostrarla en mi labor diaria.



Fig. 37: *La escuela de Atenas.* Rafael Sanzio (1510-11) Estancias Vaticanas

Bibliografía

Recojo aquí una serie de títulos sobre historia de la ciencia y biografías que me han ayudado a elaborar esta lección. A la hora de seleccionar las obras, me he dejado llevar por mis experiencias personales como simple aficionado al Arte, contando con la inestimable guía de Sonia Caballero, sin la que, sin duda, este proyecto no hubiera llegado a buen puerto.

BATTANER LÓPEZ, EDUARDO. *Bailando con las estrellas. Kepler, el movimiento planetario*. Colección Grandes Ideas de la Ciencia. Barcelona: RBA. 2012.

BATTANER LÓPEZ, EDUARDO. *¿Qué es el Universo? ¿Qué es el hombre?* Madrid. Alianza Editorial. 2012.

BATTANER LÓPEZ, EDUARDO. *Los pecados de dos grandes físicos: Newton y Einstein*. Granada. Editorial Universidad de Granada. 2016.

BLANCO LASERNA, DAVID. *EL Universo está en la onda. Schrödinger, las paradojas cuánticas*. Colección Grandes Ideas de la Ciencia. Barcelona: RBA. 2012.

CABALLERO CARRETERO, JUAN ANTONIO. *El reflejo oscuro de la materia. Dirac, la antimateria*. Colección Grandes Ideas de la Ciencia. Barcelona: RBA. 2013.

CORCHO ORRIT, ROGER. *La naturaleza se escribe con fórmulas. Galileo, el método científico*. Colección Grandes Ideas de la Ciencia. Barcelona: RBA. 2012.

CREASE, ROBERT P. *El prisma y el péndulo. Los diez experimentos más bellos de la ciencia*. Barcelona: Drakontos. 2009.

DURÁN GUARDEÑO, ANTONIO J. *La fuerza más atractiva del universo. Newton. La ley de la gravedad*. Colección Grandes Ideas de la Ciencia. Barcelona: RBA. 2013.

GRACIÁN RODRÍGUEZ, ENRIQUE. *Estiramientos para recuperar la forma. Hooke. La ley de Hooke*. Colección Grandes Ideas de la Ciencia. Barcelona: RBA. 2013.

KANT, IMMANUEL. *Observaciones acerca del sentimiento de lo bello y lo sublime*. Madrid: Alianza Editorial. 2017.

NAVARRO FAUS, JESÚS. *¿Existe el mundo mientras no lo ves? Heisenberg, el principio de incertidumbre*. Colección Grandes Ideas de la Ciencia. Barcelona: RBA. 2012.

SOLÍS, CARLOS y SELLÉS, MANUEL. *Historia de la Ciencia*. Madrid: Espasa Calpe. 2005.

Referencias

Pies de foto y enlaces a las webs de donde se han extraído las fotos:

Figura 1: *El astrónomo.* Jan Vermeer (1669)
Museo del Louvre (París).

(https://es.wikipedia.org/wiki/El_astr%C3%B3nomo#/media/File:VERMEER_-_El_astr%C3%B3nomo_(Museo_del_Louvre,_1688).jpg)

Figura 2: *La lección de anatomía.* Rembrandt (1632)
Mauritshuis (La Haya).

(https://es.wikipedia.org/wiki/Lecci%C3%B3n_de_anatom%C3%ADa_del_Dr._Nicolaes_Tulp#/media/File:Rembrandt_Harmensz._van_Rijn_007.jpg)

Figura 3: *Los embajadores.* Hans Holbein (1533)
National Gallery (Londres).

(https://www.google.com/culturalinstitute/beta/asset/the-ambassadors/bQEWbLB26MG1LA?hl=es)

Figura 4: *Un experimento con pájaro y bomba de aire.* Joseph Wright (1768) National Gallery (Londres)

(https://es.wikipedia.org/wiki/Experimento_con_un_p%C3%A1jaro_en_una_bomba_de_aire#/media/File:An_Experiment_on_a_Bird_in_an_Air_Pump_by_Joseph_Wright_of_Derby,_1768.jpg)

Figura 5: Caricatura inglesa sobre experiencias de química pneumática en la Royal Insttitution. S. XVIII
Figura 6: Galileo. Justus Sustermans (1636)
Galería Uffizi (Florencia)

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Justus_Sustermans_-_Portrait_of_Galileo_Galilei,_1636.jpg)

Figura 7: *Cacería de ciervos.* Cueva de los caballos.
Valle de Valltorta (Castellón)

(http://marchavezc.blogspot.com.es/2012/02/que-relacion-existe-entre-el-arte.html)

Figura 8: *Daniel en el foso de los leones* (capitel)
Iglesia de San Pedro de la Nave (Zamora). S. VII

Foto del autor

Figura 9: *Comentarios al Apocalipsis.* Códice de D.Fernando I y DªSancha. S. XI

(http://vacioesformaformaesvacio.blogspot.com.es/2012/10/beato-facundo-o-de-fernando-i-y-dona.html)

Figura 10: *Foca (II).* C. Brancusi (1943)
Centro Pompidou (París).

(http://vacioesformaformaesvacio.blogspot.com.es/2012/09/constantin-brancusi.html)

Figura 11: *Eratóstenes.* Bernardo Strozzi (1635)

(https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/26/bc/58/26bc580a8a06bf2cf1ec7681a040f88c.jpg)

Figura 12: Esquema de los ángulos que forman los rayos de luz sobre un pozo en Siena y sobre un bastón en Alejandría en el solsticio de verano.

http://www.escritoscientificos.es/trab1a20/eratoste.htm

Figura 13: Esquema que muestra que con una Tierra plana y un Sol cercano podría explicarse la diferencia en la incidencia de los rayos solares, e incluso medir la altura a la que está el Sol.

http://pasionporlafyq.blogspot.com.es/2015/09/actividad-jornadas-de-acogida-la.html

Figura 14: Heinrich Olbers (1758-1840).

(https://es.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Olbers#/media/File:Heinrich_Wilhelm_Matthias_Olbers.jpg)

Figura 15: *Noche estrellada sobre el Ródano.* V. van Gogh (1888) Museo de Orsay (París).

(https://www.google.com/culturalinstitute/beta/asset/starry-night/uQE3XORhSK37Dw?hl=es)

Figura 16: Catedral de León. S. XIII.

(https://es.wikipedia.org/wiki/Catedral_de_León#/media/File:Altar_Mayor,_Catedral_de_León.jpg)

Figura 17: *Caminante sobre el mar de nubes* (copia al óleo realizada por el autor). Original de C. Friedrich (1818) Kunsthalle (Hamburgo).

Figura 18: Issac Newton.
Geodfrey Kneller (1689)

(https://i1.wp.com/upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg)

Figura 19: Grabado incluido en *Philosophiae Naturalis Principia Matemathica*, de Isaac Newton.

Figura 20: Arco iris en Serandinas. Valle del Navia (Asturias). Fotografía del autor.

Figura 21: Isaac Newton realiza su crucial experimento con un prisma (experimentum crucis) en su dormitorio de Woolsthorpe Manor. Pintura acrílica de Sascha Grushe (17 de diciembre de 2015)

(https://es.wikipedia.org/wiki/Experimentum_crucis#/media/File:Newton%27s_Experimentum_Crucis_(Grusche_2015).jpg)

Figura 22: *La familia de Carlos IV.* Francisco de Goya (detalle)

Figura 23: *La familia de Carlos IV.* Francisco de Goya (1800). Museo del Prado (Madrid).

(https://es.wikipedia.org/wiki/La_familia_de_Carlos_IV#/media/File:La_familia_de_Carlos_IV.jpg)

Figura 24: *La lechera.* Jan Vermeer (1658-60)
Rijksmuseum (Amsterdam)

(https://es.wikipedia.org/wiki/La_lechera#/media/File:Johannes_Vermeer_-_Het_melkmeisje_-_Google_Art_Project.jpg)

Figura 25: Vista de Delft. Jan Vermeer (1660-61)
Mauritshuis (La Haya).

(https://es.wikipedia.org/wiki/Vista_de_Delft#/media/File:Vermeer-view-of-delft.jpg)

Figura 26: Bisonte (h. 13000 a.C.) Cueva de Altamira.
Santillana del Mar.

(https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Neocueva#/media/File:AltamiraBison.jpg)

Figura 27: Descendimiento. R. Van der Weyden (1435)
Museo del Prado (Madrid)

(https://www.museodelprado.es/coleccion/obra-de-arte/el-descendimiento/856d822a-dd22-4425-bebd-920a1d416aa7)

Figura 28: Perro semihundido. Francisco de Goya (1819-23)
Museo del Prado (Madrid).

(https://es.wikipedia.org/wiki/Perro_semihundido#/media/File:Goya_Dog.jpg)

Figura 29: La joven de la perla. Jan Vermeer (1665-67)
Mauritshuis (La Haya).

(https://es.wikipedia.org/wiki/La_joven_de_la_perla#/media/File:Meisje_met_de_parel.jpg)

Figura 30: Las meninas. Diego Velázquez (1656)
Museo del Prado (Madrid).

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/99/Las_Meninas_01.jpg)

Figura 31: Werner Heisemberg (1901-1976).

(https://hipertextual.com/2014/12/heisenberg)

Figura 32: Paul Dirac (1902-1984).

(https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Dirac#/media/File:Dirac_4.jpg)

Figura 33: *Madonna con niño.* F. Lippi (1460-65)
Galería Uffizi (Florencia).

(https://es.wikipedia.org/wiki/Virgen_con_Ni%C3%B1o#/media/File:Filippo_Lippi_-_Madonna_col_Bambino_e_due_angeli_-_Google_Art_Project.jpg)

Figura 34: Busto de Nefertiti Tutmose (S. XIV a.C.)
Neues Museum (Berlín).

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Nofretete_Neues_Museum.jpg)

Figura 35: *Sepulcro de Ilaria del Carretto.* J. della Quercia (1406)
Catedral de Lucca
(https://es.wikipedia.org/wiki/Ilaria_del_Carretto#/media/File:Ilaria_del_Carretto.jpg)

Figura 36: Lápida de Paul Dirac.
Abadía de Westminster.

(https://tamtampress.es/2015/10/06/en-el-oceano-de-dirac/)

Figura 37: *La escuela de Atenas.* Rafael Sanzio (1510-11)
Estancias Vaticanas.

(https://es.wikipedia.org/wiki/La_escuela_de_Atenas#/media/File:La_scuola_di_Atene.jpg)



Aclaración sobre el copyright de las ilustraciones

La presente publicación tiene una finalidad educativa dentro del ámbito docente, por lo que el propósito de las imágenes que aparecen reproducidas en el mismo no es otro que el de apoyar el texto del autor. Las ilustraciones incluidas se emplean a título de cita para su análisis, comentario o juicio crítico, bajo el amparo del derecho de cita establecido en el artículo 32 de la Ley de Propiedad Intelectual. Todas y cada una de las imágenes reproducidas son propiedad de sus respectivos autores.

Siguiendo el espíritu didáctico que me ha llevado a plantear este ensayo, animo al lector a seguir descubriendo la belleza en la Ciencia y en el Arte, admirando in situ las obras maestras citadas, en los museos, templos y lugares naturales donde se encuentran.

COLECCIÓN "LECCIONES INAUGURALES"

Títulos publicados:

1 *Diario de un testigo de la Guerra de África.*
Juan Machado Grima

2 *La Parapsicología ante el método científico. Siete tesis.*
Tomás Moreno Fernández

3 *Estudios, Estudiantes y Capigorrones.*
Eladio Cuadrado Cuadrado

4 *Aproximación al flamenco.*
Jorge Vasallo Navarro

5 *Valores éticos de los géneros de cine.*
Juan Antonio Bernabé Llorente

6 *Don Quijote y Cervantes o la libertad como proyecto de vida.*
Juan José Gallego Tribaldos

7 *Cambio climático. Alternativas energéticas.*
José Antonio Baena Gómez

8 *La canción popular griega: Tradición y actualidad.*
Rosario García Ortega

9 *Transformación, deterioro y recuperación de la medina de la Alhambra.*
Carlos Vílchez Vílchez

10 *Granada a la plancha. Aproximación a la obra gráfica y sus técnicas a través de estampas de tema granadino.*
Manuel Martínez Vela

11 *La Música: el arte que no se ve.*
Jesús Gil Corral

12 *El Pasado remoto. Desde la formación del sistema solar, hasta la aparición de las primeras células.*
Manuel Alfredo Entrena Guadix

13 *Otra visión de la historia. España en el humor gráfico y en las ilustraciones de la prensa internacional del siglo XX.*
Daniel Morales Escobar

14 *Significación y proyección histórica del Quijote.*
Tomas Moreno Fernánez

15 *Nikos Kazantzakis. Viajero por España.*
Mª Salud Baldrich López

www.iespadremanjon.es


IES PADRE
MANJÓN