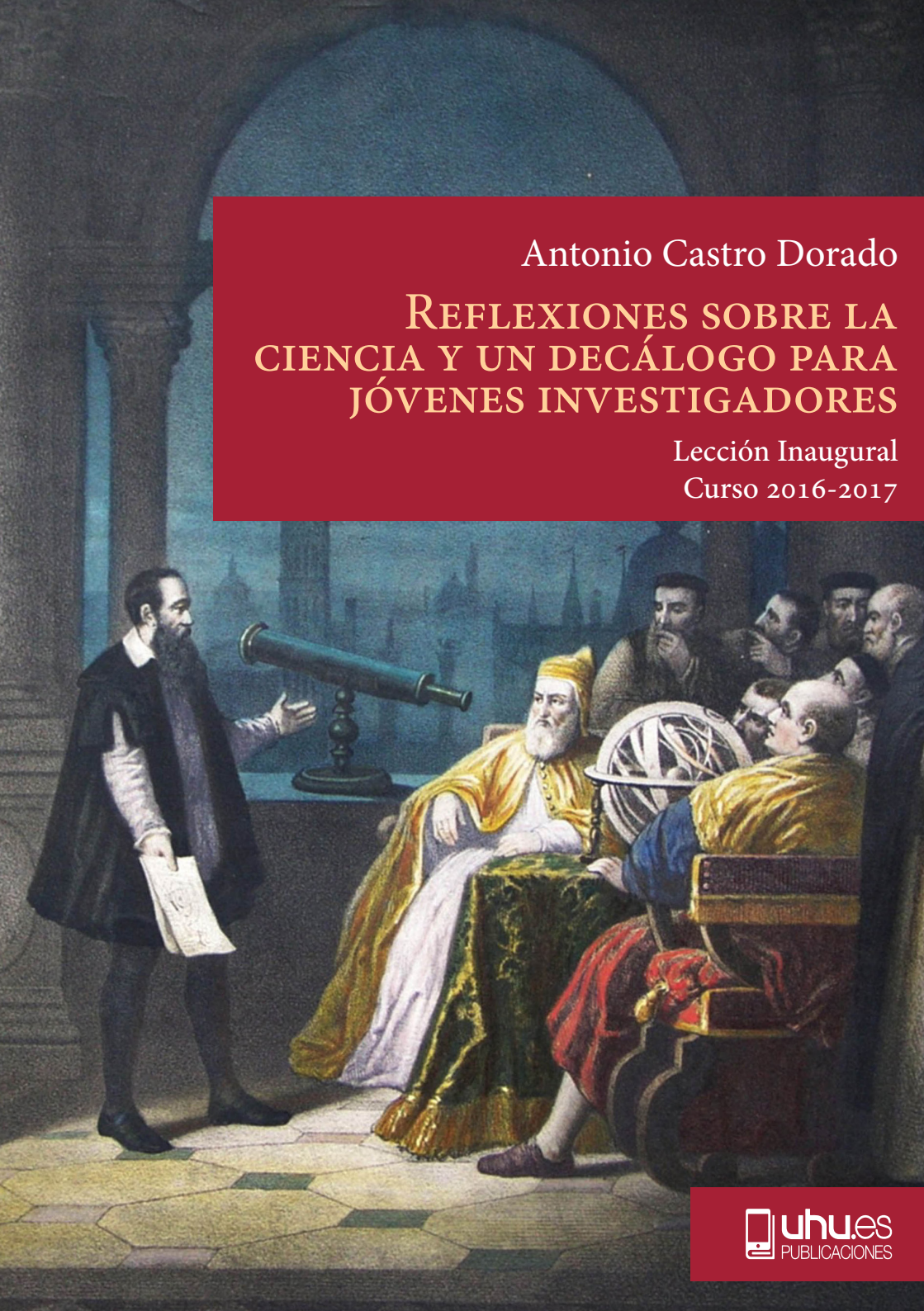

Antonio Castro Dorado

Reflexiones sobre la ciencia y un decálogo para jóvenes investigadores

Lección Inaugural
Curso 2016-2017

uhu.es PUBLICACIONES

REFLEXIONES SOBRE LA CIENCIA Y UN DECÁLOGO PARA JÓVENES INVESTIGADORES

uhu.es PUBLICACIONES
MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

ANTONIO CASTRO DORADO

CATEDRÁTICO DE PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA

REFLEXIONES SOBRE LA CIENCIA Y UN DECÁLOGO PARA JÓVENES INVESTIGADORES

LECCIÓN INAUGURAL
CURSO ACADÉMICO
2016-2017

Universidad de Huelva

uhu.es PUBLICACIONES
MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

uhu.es PUBLICACIONES

A L D I N A

50

DATOS EDICIÓN

Primera edicion en formato ebook: Septiembre 2016

Primera edición en formato papel: Septiembre 2016

© Servicio de Publicaciones
Universidad de Huelva

© Antonio Castro Dorado

I.S.B.N.: 978-84-16621-34-7

Depósito legal: H 156-16

PAPEL

Papel
Offset industrial ahuesado de 90 g/m²
Impreso en papel de bosque certificado

Encuadernación
Rústica, encolado PUR

Printed in Spain. Impreso en España.

Maquetación
Ideas, Marketing y Gestión

Publicaciones de la Univesidad de Huelva es miembro de UNE

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutivo de delito contra la propiedad intelectual.

Clique para mayor información

EL EBOOK LE PERMITE

Citar el libro

Navegar por marcadores e hipervínculos

Realizar notas y búsquedas internas

Volver al índice pulsando el pie de la página

Comparte #LibrosUHU

Únete y comenta

Novedades a golpe de clik

Nuestras publicaciones en movimiento

Suscribete a nuestras novedades

Índice

Introducción 9

¿Qué es la Ciencia? 13
El Método Científico 15
La motivación del científico 18
La intuición en la Ciencia 20
Las fronteras de la Ciencia 23

Ciencia y Tecnología 27
El conocimiento útil 29
Journey to Mars 31
La ética como límite del desarrollo tecnológico 33

¿Quién paga la Ciencia? 35
La endogamia en las Universidades españolas 36
¿Debe hacer la Universidad algo más allá de la Ciencia? 37

La producción científica: Las publicaciones 41
Publicar la Ciencia: El artículo científico 41
Divulgar la Ciencia 45

Un Decálogo Preventivo 51

uhu.es PUBLICACIONES
MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

The method of science is tried and true.
It is not perfect, it's just the best we have.
And to abandon it, with its skeptical protocols,
is the pathway to a dark age

The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark
CARL SAGAN (1934-1996)

Nadie pone en duda que la Ciencia ha sacado al hombre de las cavernas y las tinieblas del "mundo poseído por el diablo" del que nos habla Carl Sagan[1] al relatar los grandes avances del conocimiento científico. Se puede estar en desacuerdo con determinados avances tecnológicos, por considerarlos poco éticos o respetuosos con nuestro entorno natural, pero lo que es seguro es que nadie querría volver a vivir en la sociedad de hace solamente un siglo. Los grandes avances de la sociedad son los grandes avances de la Ciencia.

Pero, ¿Hay que reflexionar sobre la Ciencia? ¿Estamos haciendo algo mal que debamos corregir? Entre los científicos es común hablar y opinar sobre lo que hacemos; y lo que hacemos es básicamente pensar, usar la herramienta más asombrosa y eficiente

1 Carl Sagan (1995) *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*. Random House, New York.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

de todas las que podemos usar: nuestro propio cerebro. Sin embargo, algo que podía parecer tan simple no lo es en la práctica. Usar el cerebro es como programar un ordenador súper complejo. Un ordenador que adquiere una forma de conducta a medida que lo usamos y que puede actuar de forma independiente por debajo de nuestra propia consciencia. Pensar, razonar, son tareas complejas a las que no pueden sustraerse las propias emociones, las vivencias propias de cada uno y la percepción particular de la realidad. No es extraño que los grandes pensadores y filósofos de la historia hayan tenido una preocupación especial por educar en una forma de pensar para usar la razón sobre la base de unos principios homogéneos y comunes. Aunque las ideas de Descartes o de Bacon, los grandes precursores de la Revolución Científica del siglo XVII, nos puedan parecer algo simple hoy, en su momento fueron cruciales para cambiar una forma de pensar más antigua e irracional, ligada a la fe y a la escolástica medieval; algo imprescindible para asumir y entender los grandes avances de la Ciencia de la época que han llevado de forma inexorable a la Ciencia Moderna.

La Ciencia la hacen personas, que aman, odian, sufren, lloran, ríen y tienen emociones que interfieren con la pura lógica que tendría un cerebro especializado o un ordenador debidamente programado. Pero, ¿Acaso no se ha beneficiado la Ciencia de estas ramificaciones afectivas, pasionales de nuestro cerebro? Por supuesto que sí. Y este será uno de los puntos que desarrollaré. La Ciencia moderna, de la cual deriva la tecnología que nos rodea y que nos proporciona la calidad de vida que disfrutamos, no sería la que es si no hubiese surgido en medio de las pasiones humanas. Razón y pasión son partes de un todo que no se pueden considerar por separado. Qué motiva al científico a hacer su trabajo es motivo de estudio y reflexión. Las motivaciones no son muy distintas de las que mueven al artista a pintar o al escritor a escribir.

La Ciencia es sin duda el fenómeno cultual más importante de la humanidad. Una empresa intelectual solamente comparable al Arte o a la Literatura. El Hombre ha cultivado la ciencia desde tiem-

pos remotos, de igual modo que ha pintado figuras estilizadas en las cuevas o ha escrito versos y canciones. Son actividades intrínsecas a la intelectualidad, al hecho de ser consciente de su propia existencia en un medio desconocido e inexplicable. El deseo de explicarlo y conocerlo no se ha detenido ni podrá detenerse. Este anhelo es lo que llamamos Ciencia. La Ciencia es esa "*vela en la oscuridad*" que nos descubre Carl Sagan. La Ciencia es lo que nos ha permitido salir de las cavernas y nos ha dado calidad de vida. Vamos al médico y gracias a la Ciencia nos cura. Gracias a la Ciencia nos comunicamos de un continente a otro; o vemos la tv en casa; etc. Asombrosamente —y lamentablemente— la Ciencia que nos ha permitido viajar a la Luna o enviar sofisticadas sondas espaciales para investigar el Sistema Solar, no ha podido erradicar el hambre, la miseria, las guerras y las injusticias en gran parte del mundo. Este es un fallo fundamental de la Ciencia, sobre el que debemos reflexionar y actuar.

Definir la Ciencia puede ser muy fácil o muy complejo, dependiendo del nivel de precisión de la definición. Igual pasa con el Arte. Podemos reconocer una obra de arte, incluso pagamos por ver un museo, pero tendríamos dificultades para definir con pocas palabras el concepto de arte. Por tanto, he creído oportuno hacer una reflexión sobre la Ciencia con el fin de darla a conocer y hacerla más comprensible para todos. En estas páginas expondré mis reflexiones sobre el concepto de Ciencia, sobre los límites de la Ciencia, los métodos y las condiciones que un científico debe reunir para tener éxito en su trabajo. No es Ciencia todo lo que parece. No todo lo que se pinta en un cuadro es Arte, ni todos los libros que se publican son Literatura.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

¿Qué es la Ciencia?

Ciencia y conocimiento son términos equivalentes. Pero ¿se puede considerar la Ciencia simplemente como la actividad que nos permite adquirir conocimiento? En palabras de Carl Sagan, la Ciencia es más una forma de pensar que un cuerpo de conocimiento La Ciencia se construye mediante el estudio y la investigación. Hay muchos tipos de investigación, pero sólo hay un tipo de investigación científica: la que busca conocer lo desconocido y entender lo paradójico, lo que choca con los sentidos. Conocer lo que nos rodea, y esto incluye a nosotros mismos como seres vivos, como entes pensantes, como sociedad y como individuos. Nuestros sentimientos, nuestras reacciones, nuestras emociones. Para la Ciencia es tan reto entender nuestra Historia como el origen del Universo. Por eso no es extraño que la Ciencia, como actividad ligada a nuestro deseo de saber, esté más relacionada con las Artes o las Humanidades que con las Ingenierías. No debe extrañarnos que las Facultades (Schools) de prestigiosas universidades de Estados Unidos se denominen oficialmente como "School of Arts and Sciences" y en ellas se incluyan los Departamentos de Química, de Geografía o de Literatura. Una adopción clásica, que algunos podrían calificar de antigua, pero que tiene mucho sentido.

Coincido con muchos de nuestros más eminentes pensadores contemporáneos en que el concepto de Ciencia es difuso en la sociedad tecnificada actual en la que vivimos. Se usa de forma interesada, a veces para dar prestigio a acciones poco nobles o

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

respetuosas, o para rechazar supuestos "avances" que bajo la excusa de producir un bien a la sociedad tienen como único fin el enriquecimiento de unos cuantos. Se confunde Ciencia con técnicas instrumentales usadas por la Ciencia. Resulta decepcionante, e incluso patético, ver como algunos equipos quieren prestigiar su investigación adornándola con algo "científico" como puede ser una simple imagen de microscopio electrónico acompañando una hallazgo arqueológico. O un simple espectro de rayos X adornando un estudio paleográfico o arqueológico, cuando nada de eso es necesario para las conclusiones alcanzadas en tales estudios. Pero queda más "científico". Y de ahí surgen las colaboraciones multidisciplinares más rocambolescas por inverosímiles, para usar sin necesidad los métodos supuestamente exclusivos de la Ciencia. En la mayoría de los casos ni el científico que hace el espectro de rayos X sabe quienes eran los Fenicios ni el arqueólogo sabe que es un espectro de rayos X. Hay un error en todo esto y un uso equivocado del concepto de Ciencia. No es más científico el Físico que estudia la materia oscura que el Arqueólogo que investiga el origen de los Fenicios, o el Filólogo que estudia la influencia de Ovidio en la poesía contemporánea. Dicho de otro modo, poner "salsa" de rayos X no hace más científico el trabajo del arqueólogo. Esto es algo que debemos tener muy claro los que formamos parte de la comunidad científica. Un ejemplo de uso aberrante de la palabra *ciencia* lo tenemos en el apelativo de "policía científica", para referir a la investigación policial que usa técnicas instrumentales analíticas, espectroscópicas o similares. En este caso el uso de dichas técnicas es siempre decisivo en la investigación policial, pero el término "científica" no está justificado.

La Ciencia es la búsqueda de la verdad. Los científicos somos trabajadores de la verdad, y por eso se nos admira, aunque se nos ha podido ver como magos manipuladores de nuestro propio futuro. Yo hablo por lo que sé como geólogo. Yo no sé si llegará un día en que podamos predecir los terremotos y las erupciones volcánicas con la suficiente antelación para evitar los desastres asociados. Pero de lo que sí estamos seguros los científicos es

que no podremos predecirlas si no conocemos las causas y los mecanismos de tales fenómenos geológicos. Conocer. Esa es la esencia de la Ciencia.

El Método Científico

Una forma de acceder a los entresijos de la Ciencia es a través de su hilo conductor. Se supone que la ciencia tiene un hilo conductor y que este es el método científico. Pero es muy discutible que exista un método único, como tal, como una receta, en la Ciencia.

¿Alguien ha pintado un cuadro siguiendo un tutorial de Internet? ¿O leyendo un magnífico manual de pintura al óleo? No. Nadie. Y, sin embargo, estos manuales proliferan, los compramos y los leemos. Igual ocurre con la Ciencia. Son numerosos los ensayos sobre un supuesto "método científico". El mismo Descartes abrió en su "Discurso sobre el Método" una era de filósofos que toman la Ciencia como un sujeto de estudio; como un fenómeno ligado a la actividad intelectual, como el Arte o la Literatura.

Resulta curioso que los científicos den recetas sobre el método a seguir cuando ellos no las han usado para tener éxito en la Ciencia. Es decir, enseñan el método que han seguido, pero como algo deducido a posteriori, no el que ellos han aprendido antes de realizar su actividad como científicos, y todo por una razón sencilla: ellos no han usado ningún método, simplemente porque no hay método en la Ciencia. No seguir una receta será el primer punto de mi receta, de mi decálogo. ¿Es esto contradictorio? aparentemente al menos si que es contradictorio. El secreto es el siguiente: hay que saber como usar las recetas sin tener que seguirlas. Un cocinero experimentado es como un científico o como un artista, no sigue ningún método. Sigue su intuición y usa una sólida base de conocimiento. No hay método en la Ciencia. No hay recetas. Pero yo voy a dar un decálogo. Un decálogo que puede ser de interés si se lee de forma difusa. Pero una cosa es segura. Nadie que se autodenomine como científico, o que quiera serlo algún día, lo será en realidad si no cumple estos diez puntos. Aunque

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

pueda parecer extraño, la mayoría de los asalariados de la Ciencia no son científicos. Este punto lo desarrollaré más adelante ya que tiene que ver con nuestra concepción de Ciencia.

En cualquier rama del saber la Ciencia se ha complicado tanto que se ha diversificado en multitud de compartimentos, muchas veces mal entendidos como estancos, llamados áreas o áreas temáticas, disciplinas, etc. Incluso ha sido necesaria la adopción de términos unificados por la UNESCO para establecer una clasificación del conocimiento. Pero la Ciencia avanza gracias a la investigación y esta la hacen seres humanos. Esto significa que la Ciencia tiene un desarrollo complejo que va acompañado a lo largo de la Historia de la Humanidad de los avatares sociales, de las guerras, de la emergencia de nuevas civilizaciones, etc. La Ciencia es, en definitiva, un fenómeno social más, como puede ser el Arte, la Literatura, la Tecnología o la Religión. La internacionalización de la Ciencia es su principal valor. Este la protege de las circunstancias sociales o culturales de las Naciones, cada vez más empeñadas en alzar la bandera de sus rasgos diferenciales, idiomáticos, históricos, culturales o raciales en contra de la internacionalización.

Afortunadamente, la Ciencia no tiene nacionalidad ni país, pero sí tiene idioma, el Inglés. Pero no hace muchos años la Ciencia tenía color político o era usada con fines políticos. La época de la Guerra Fría es un buen ejemplo de ello. En la Unión Soviética se tachaba la Tectónica de Placas de teoría burguesa al servicio del capitalismo de los Estados Unidos. El geólogo canadiense James Tuzo Wilson (1908-1993), considerado uno de los padres de la moderna teoría sobre expansión del fondo de los océanos, recibió duras réplicas de su colega ruso Vladimir V. Beloussov (1907-1990) rebatiendo los principios elementales de la Tectónica de Placas que caracteriza la dinámica litosférica de La Tierra. Aunque los detalles de la dinámica litosférica están aún en proceso de estudio, nadie pone en duda que América y África se han separado, y continúan alejándose a varios cm por año, para dar lugar al Océano Atlántico. Este podía ser visto como un caso

de intervención de la política en la Ciencia. Son hechos aislados y prácticamente inexistentes en las modernas Ciencias de la Tierra. La Ciencia es internacional, y haber logrado este status es uno de los mayores avances de su desarrollo moderno.

Pero volvamos al método científico. En palabras de Popper, *la investigación científica empieza por identificar un problema.* Después, el científico pasa a analizarlo, separándolo en partes más sencillas y abordando cada una por separado y, finalmente, el científico propone una solución. Esto simplifica enormemente el análisis de los resultados por separado. Pero la integración de los resultados en la línea de resolver el problema inicial puede ser compleja. De aquí surge la experimentación como solución más inmediata.

La existencia y la necesidad de un método en la Ciencia han sido ambas cuestionadas por los grandes pensadores y filósofos de la Ciencia del s. XX. Paul Feyerabend ha argumentado en contra del método en la Ciencia en su obra *Tratado Contra el Método*[2]. Muchos de mis colegas se escandalizan cuando les comento mis gustos por estas ideas contrarias a la rectitud de un supuesto método científico. Otros pensadores de la Ciencia, como Freeeman Dyson, clasifican a los científicos en dos tipos, los *unificadores* y los *diversificadores*[3]. Es decir los que prescinden de metodología pero pretenden relacionar hechos dentro de grandes teorías, y los que de forma metódica y sistemática pretenden explicar hechos aislados. Los dos tipos son necesarios en la Ciencia, pero la Ciencia sin método es más un trabajo de creación. La ciencia sin método es más reconocida socialmente en algunos casos. Si bien, es cierto que las grandes teorías han surgido de la búsqueda de explicaciones a los detalles menores. En muchos casos, esas explicaciones no planteaban su alcance a mayor escala ni la investigación fue motivada por dar apoyo a una teoría generalista. En la mayor parte

2 Paul Feyerabend (1997) *Tratado Contra el Método*. 3ª edición. Tecnos. Madrid.
3 Freeman Dyson (1991) *El Infinito en Todas Direcciones*. Tusquets. Barcelona.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

de los casos, la Ciencia del detalle y la Ciencia sin método han discurrido por caminos distintos. Caminos que al fin se encuentran en las grandes y pequeñas convulsiones o revoluciones científicas.

También viene a cuento aquí uno de los principales argumentos de Descartes sobre la necesidad de método en la Ciencia. Decía Descartes que hay que andar con pasos seguros y despacio. Decía que es mejor ir lento por el camino correcto que rápido por el camino equivocado. Se podrían poner muchos ejemplos demostrando la conveniencia de saber cuanto antes si el camino era el correcto. Pero se podría argumentar también que no existe método en la Ciencia. Aunque es evidente que Descartes sacó a la humanidad de la ruinosa filosofía *Aristoteliana*. Gracias a Aristóteles, o mejor dicho a sus seguidores, el pensamiento científico se detuvo durante siglos. Hasta bien entrado el siglo XIX no se retoman las ideas de Demócrito (460-370 a.C.) sobre el átomo. Lo peor que le puede ocurrir a la Ciencia es avanzar lento por el camino equivocado. Una cosa puede derivar a la otra, pues no es posible avanzar rápido si el camino no es el correcto. No se llegará a ninguna parte. ¿A donde llevó la filosofía de Aristóteles? a ninguna parte. La humanidad perdió más de 2000 años en la Ciencia al seguir las ideas de Aristóteles adaptadas a las creencias religiosas por San Agustín.

La motivación del científico

La tarea del científico es resolver problemas. Esta tarea aparentemente simple entraña una complejidad enorme por dos simples razones. En primer lugar el científico debe identificar un problema. Luego debe tener las herramientas y diseñar la metodología adecuada para resolverlo. Pero identificar un problema no es tarea sencilla. Es importante en este punto identificar problemas solubles antes que aventurarse en problemas que no tienen solución aparente. Pero la frontera entre ambos tipos de problemas es difusa. Cualquiera puede identificar grandes problemas que no sabría ni siquiera como abordar. Por ejemplo, el origen del agua que llena los océanos, o el origen de los continentes, o el origen

de la vida, por poner unos ejemplos de todos conocidos. ¿Qué hay que hacer para investigar el origen de la vida o de los continentes o de los océanos? Nadie se atrevería a dar un listado de tareas y una metodología adecuada. Estos grandes problemas deben servir de estímulo para resolver otros problemas menores que están relacionados. Pero ¿cuáles son esos problemas menores? ¿Cómo los podemos identificar? Una forma sencilla de abordarlo es conocer el origen de cualquier contingencia natural observada. Cualquier cosa o fenómeno que no esté explicado. Todo lo que es desconocido debe ser estudiado. En este punto, saber distinguir lo esencial de lo superfluo es crítico y esto sólo puede ser entendido desde el estudio. Saber lo que han hecho otros antes de dar un paso es fundamental.

Pero el trabajo del investigador es duro, el camino a la verdad es arduo, ocupa la mente casi las 24 horas del día, pues el subconsciente sigue activo mientras dormimos si así hemos aprendido a usarlo, y si no es así no es previsible que tenga visos de alcanzar un resultado. El trabajo del investigador es el más duro que se pueda hacer y para ejecutarlo debe existir una motivación vital, además de la vocacional, por la que persigue conocer lo desconocido. La motivación vital es la pasión. El científico debe apasionarse con las ideas que quiere erradicar o que quiere defender. Según Feyerabend, la pasión da lugar a una conducta específica que crea las circunstancias y las ideas para hacer que el proceso sea racional, que pueda ser entendido. En el proceso de resolución del problema, el científico formulará hipótesis que irá cambiando a medida que analiza la información. Cambiará el rumbo, tomará nuevos caminos sin explorar y abandonará otros por no fructíferos, y abordará un sinfín de acontecimientos que eran absolutamente impredecibles al comienzo de la investigación.

Lo primero es identificar el problema. Hay dos formas de identificar un problema. Una es a través del estudio sobre un hecho particular, una paradoja o cualquier otra cosa que haya motivado atención y que no haya sido explicada todavía o bien, que habiendo sido estudiada previamente, las hipótesis al uso no expliquen

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

todos los hechos u observaciones de forma satisfactoria. La otra forma consiste en que alguien identifique el problema y lo ofrezca a un tercero para resolverlo. Esta forma debe evitarse. Lamentablemente, muchos de los así llamados "equipos de investigación" funcionan así. Como pequeños ejércitos en los que uno organiza la estrategia y define los objetivos y los demás ejecutan tareas. Muchas Tesis Doctorales son en realidad tareas encargadas por un "director" a un estudiante de doctorado. Esta no es la mejor forma de hacer Ciencia y no es extraño que esta forma de actuar lleve al fracaso y al desencanto de los gregarios del equipo. Unberto Eco nos dice como escribir una tesis[4], pero no como "gestar" una tesis. La Tesis debe ser dirigida, o mejor dicho supervisada como se dice en el mundo anglosajón, pero no dictada por un científico "senior" como una parte de un amplio proyecto que él dirige y en el que lleva ocupado varios años. Esto es como usar a un estudiante de doctorado como un simple obrero al servicio de un equipo de investigadores. Estamos ante una "*pseudotesis*", no una tesis de doctorado. Pero la Ciencia es costosa y de ahí surge la excesiva orientación de los trabajos ofertados como temas de Tesis por los equipos de investigación.

Se dice que para los grandes científicos como Einstein, la motivación principal era usar la Ciencia como una forma de evadirse de la realidad mundana. Según Freeman Dyson, para muchos científicos la recompensa no es el poder o el dinero, sino la posibilidad de conocer la belleza de la naturaleza. No debemos hurtar al joven investigador la posibilidad de vivir la Ciencia como una experiencia personal apasionante.

La intuición en la Ciencia

¿Se puede intuir la Ciencia? La respuesta es: "depende". Depende de los conceptos que ocupen la mente de un observador. Y, otra pregunta ¿Es la observación (el empirismo) la fuente de la

4 Umberto Eco (2001) *Cómo se Hace una Tesis*. Gedisa. Barcelona

Ciencia? Aquí habría que poner un depende mucho más grande todavía que en el caso anterior. El problema se reduce a qué entendemos por observación. Observar es la base de la Ciencia, aún en contra de lo que muchos filósofos modernos hayan argumentado sobre la observación. Aprender a observar es esencial en Ciencia. Observar es una tarea sumamente abstracta en cualquier caso. Obviamente me refiero a la observación hecha por los ojos de un observador cualificado. Escuchar lo que un observador cualificado ve en un objeto es un verdadero deleite. Una vez asistí de forma casual a una conferencia en mi Universidad en la que un experto estudioso del Arte exponía una explicación del Guernica de Picasso. Realmente fue un deleite oír y asimilar lo que se ve en un cuadro cuando alguien que entiende nos lo enseña.

Se puede decir que no hay hechos de observación como tales. Los hechos están interpretados. Son en realidad "hechos teóricos". Y en contra de lo que pueda parecer, las dotes de observador no son innatas. La capacidad de observar depende en gran medida de la cantidad y calidad del conocimiento que tengamos en nuestro cerebro; es decir, de nuestra cultura. Por eso la observación se convierte en una tarea sumamente abstracta. Pues al observar aplicamos filtros que eliminan lo superfluo con respecto a un fin y se concentran en lo importante con respecto a otro. El observador no experimentado no ve nada ya que todo está mezclado y sus conocimientos no le permiten distinguir partes y eliminarlas para quedarse con la esencia.

Una de las mayores utilidades de los modelos en Ciencia es que nos permiten ganar intuición. Se dice que nos abren la mente, nos permiten tener un punto de vista que antes no teníamos y que nos ayuda a entender hechos que antes no se entendían y, lo más importante, nos permiten ver, observar, hechos que antes no podíamos ni siquiera sospechar. Los modelos, tanto si son modelos teóricos resultantes de la aplicación de ecuaciones como si son experimentales o simplemente conceptuales, son esquemas simplificados de la realidad natural. Pueden ser completamente falsos pero son de gran utilidad para nuestra

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

capacidad de intuir y observar los fenómenos físicos o sociales. La física atómica y molecular nos ha enseñado que la experiencia macroscópica no nos da idea de la naturaleza de los fenómenos. El calor puede ser una excepción. Pero la mecánica cuántica es un buen ejemplo. Algunos elementos como el Helio han sido descubiertos por su espectro de emisión de luz en paquetes discretos, como una huella de identidad de su estructura electrónica. El nombre de Helio hace alusión a que este elemento fue descubierto en el Sol por su espectro. Sin embargo, el espectro de emisión del Helio, como de cualquier átomo, no nos informa de la geometría de sus orbitales o de la forma de su núcleo atómico. La dualidad forma-materia pierde sentido a la escala microscópica. Schrödinger dejó bien sentado que los efectos macroscópicos del átomo son consecuencia de la forma, no de la materia. El volumen de un átomo es infinitamente superior al volumen de los electrones que forman su corteza. Dicho de otra forma, la materia es esencialmente forma. Algo que no podemos intuir por nuestra percepción sensorial sin ayuda de la Ciencia. El conocimiento de la materia y de su complejidad microscópica y efectos macroscópicos, hacen que nuestra capacidad de intuir nuevos conceptos se vea incrementada. Pero esta complejidad creciente hace que la capacidad de intuir esté reservada a los que conocen los secretos de la materia. No es algo que esté al alcance de cualquiera, de lo que se deduce que divulgar la Ciencia es una tarea fundamental para incrementar nuestra cultura y, en definitiva, ser más libres.

Los nuevos descubrimientos surgen de la intuición. Pero no hay magia en este proceso creativo. La intuición procede de los nuevos modelos y de los nuevos datos que los alimentan. Sin datos no puede haber nuevas concepciones o avances. Es decir, encontrar explicación a los fenómenos macroscópicos, como el caso de la mecánica cuántica, ha sido esencial para avanzar en las nuevas concepciones de la Ciencia. Los nuevos descubrimientos surgen de la búsqueda, aunque en algunos casos son casuales. En una ocasión durante una recepción en mi Universidad a la que tuve el honor de

asistir con personalidades políticas del más alto nivel, alguien nos hizo la pregunta de si es verdad que los grandes descubrimientos se hacen por casualidad. Recuerdo que yo respondí que sí, pero que los hacían científicos que tenían la capacidad de verlos y entenderlos y, por supuesto, una mente abierta a cualquier eventualidad sea esta casual o forzada. Por citar un par de ejemplos baste con mencionar el descubrimiento de la radiactividad por Becquerel en 1896 al observar que se velaban las placas fotográficas sin haber sido expuestas a la luz. O el caso del descubrimiento de las ondas de radio por Penzias y Wilson en 1964 al detectar un ruido de fondo inexplicable en una antena diseñada para detectar ondas de radio débiles. El ruido de fondo percibido de forma casual era la radiación residual de microondas, como el "eco", que probaba la teoría del Big Bang sobre el origen del Universo. Tanto Becquerel en 1903, como Penzias y Wilson en 1978, recibieron el premio Nobel de Física por sus "casuales" descubrimientos.

Un hecho es que los nuevos descubrimientos hacen que los viejos conceptos se tambaleen, se vuelvan difusos y se necesiten explicaciones adicionales, e incluso un nuevo lenguaje. Pero los nuevos descubrimientos son fuente de nuevas ideas y de nuevos modelos. Las ideas por sí solas no contribuyen a que la Ciencia avance. Sólo los datos, las observaciones y los hechos hacen avanzar la Ciencia.

Las fronteras de la Ciencia

Uno de los momentos más apasionantes de una investigación científica, y hay varios, es cuando se toca el fondo de la verdad, cuando se llega a la frontera del conocimiento. La frontera de la Ciencia es el límite de lo que puede ser entendido e interpretado correctamente. El límite al que se puede llegar con los medios disponibles. Por medios disponibles debemos entender no sólo los medios técnicos sino los medios conceptuales, las teorías, y las hipótesis que siguen a los hechos, a las observaciones. La explicación de hechos pasados es uno de los grandes retos de la Ciencia. Los confines de la Ciencia se sitúan en lo infinito hacia lo grande o

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

hacia lo pequeño. El cosmos y las partículas subatómicas. El estudio y conocimiento de nuestro planeta, las Ciencias de la Tierra, encuentra sus fronteras en el pasado remoto y en lo profundo del manto y del núcleo.

Los límites de la ciencia deben ser entendidos como el horizonte al que nunca se llega pero al que caminamos sin dudar. La colonización del espacio por seres humanos será un hecho un día. Pero la historia no es lineal y los recientes descubrimientos y avances tecnológicos nos lo han demostrado. Hace solamente 30 años nadie podía imaginar a donde podíamos llegar en las comunicaciones gracias a Internet y los teléfonos inteligentes, que hoy todos llevamos en el bolsillo. Algo impensable sin duda para los más formados hombres de ciencia de hace unas décadas. Aunque la historia no sea lineal, podemos suponer que el futuro de la humanidad es inimaginable, como lo fue la era de las comunicaciones actual hace sólo unas décadas. Los hechos han demostrado que la realidad ha superado a la ficción en muchos casos. Pero también podemos imaginar un estancamiento social y tecnológico. Hace más de un siglo que los automóviles tienen cuatro ruedas, un volante y un motor de combustión. No hemos encontrado en cien años una mejor forma de desplazarnos por tierra, seguimos usando trenes y coches de forma masiva. Es posible que algunos de los avances tecnológicos actuales se instalen por siglos en nuestra vida sin sufrir cambios, pero es posible que otros no sobrevivan.

La concienciación social y la ética jugarán, sin duda, un papel crucial en el desarrollo tecnológico. Nuestra capacidad de avanzar será frenada o impulsada, quién sabe, por limitaciones de tipo ético hacia el medio que nos rodea y hacia nuestros mismos congéneres. Es posible que no nos parezcan tan impresionantes las imágenes del telescopio Hubble, o de otros similares, si su coste económico supera lo necesario para erradicar el hambre y la injusticia del mundo. Se argumenta que la Ciencia con las vacunas y los avances de la medicina ha evitado más muertes en el Planeta que todas las guerras juntas. El razonamiento es falaz.

Pues no han evitado esas muertes por enfermedades en todos los países, y tampoco ha evitado la Ciencia que haya guerras, hambre y miseria.

No es posible, ni se debe, poner fronteras a la Ciencia que no sean las impuestas por la misma evolución de los conocimientos y por las limitaciones técnicas para la obtención de nuevos datos y nuevos modelos. El avance de la Ciencia es, y debe ser imparable. Pero si que podemos, y debemos, poner límites éticos a las aplicaciones tecnológicas de los conocimientos científicos. Hemos aprendido que hay que limitar la producción de armas atómicas y que debemos respetar los bosques y parar el calentamiento global producido por el uso de combustibles fósiles. Pero aún nos falta por saber como erradicar el hambre, la miseria, la injusticia y las guerras.

El futuro es una de las fronteras de la Ciencia. La Ciencia tiene dos formas de predecir el futuro. Una es a través de modelos extrapolables en el tiempo. La otra, es a través de la Ciencia Ficción. La extrapolación de modelos sigue reglas físicas y matemáticas, la Ciencia Ficción sigue las reglas de la imaginación de científicos experimentados. Por eso la Ciencia Ficción es considerada un género literario y no un tipo de Ciencia. En cualquier caso es una forma de conocer y recrear las inferencias sobre el futuro que sólo los científicos pueden hacer. La extrapolación de modelos físicos es una frontera del conocimiento y como tal debe ser entendida.

Los hechos más recientes de los últimos treinta años nos han demostrado que el futuro es impredecible. Según Arthur Clarke, astrofísico y escritor que nos deleitó con su *Odisea del Espacio* llevada al cine por él mismo y Stanley Kubrick en 1968, hizo este pronóstico del futuro: *La única cosa sobre el futuro de la que podemos estar seguros es que será absolutamente fantástico*. Obviamente Clarke no es un sentimental, sus afirmaciones vienen de la fascinante experiencia de la Ciencia. Otra cosa es que la percepción de fantástico no sea compartida por los que vayan a vivirlo. Es posible que la Ciencia no pueda predecir cuando el *homo sapiens* colonizará el universo, pero lo que es totalmente seguro

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

es que lo acabará haciendo. Es la tendencia natural de la vida inteligente: conquistar otros mundos. Como dijo el gran visionario y escritor de Ciencia Ficción Jules Verne: "*Tout ce qui est dans la limite du possible doit être et sera accompli".* La Ciencia no tiene límites y, por tanto, tampoco los tiene el uso que los humanos harán de la Ciencia en el futuro.

Ciencia y Tecnología

Cuando los científicos aplican el conocimiento disponible se convierten en tecnólogos. Pero ¿Puede un investigador hacer Ciencia y aplicarla a la vez? Sí, claro que es posible. Y esta es la línea de acción de muchos equipos de investigadores en nuestro entorno universitario. Pero la aplicación del conocimiento no debe ser una condición apriorística. Eso condena la Ciencia al fracaso y, por supuesto, a cualquier aplicación razonable futura o inmediata.

La Tecnología no está desligada de la Ciencia. Para avanzar en el conocimiento, los científicos necesitan nuevos datos que soporten nuevos modelos. Y la obtención de nuevos datos depende en muchos casos de la tecnología. La instrumentación científica avanza gracias a la Ciencia y ésta, a su vez, necesita de nueva instrumentación para avanzar. Conocer la composición de los planetas vecinos es un desafío cotidiano de la Ciencias del Espacio. Tomar datos nuevos es imprescindible para avanzar en lo desconocido. Pero también hay que investigar como enviar una nave a Marte para tomar muestras y datos. Esto es tecnología, aplicación de la Ciencia para solucionar problemas. En el caso de la investigación espacial, la tecnología se aplica con fines puramente científicos, existiendo una fuerte conexión entre conocimiento y tecnología. En general, la Ciencia moderna en casi todos los campos del saber, está muy ligada a los desarrollos tecnológicos. En muchos casos es imposible separar Ciencia y Tecnología.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

A veces resulta complicado justificar las grandes inversiones de los Estados en los grandes programas de investigación como los de la NASA en Estados Unidos o la ESA en Europa. Sin embargo, hay una forma simple de razonar: *Si crees que el conocimiento es caro, prueba cuanto cuesta la ignorancia*. La frase es tan repetida en multitud de contextos que ya nadie sabe con certeza quien es su autor. Pero podría ocurrírsele a cualquiera. Lo realmente costoso es intentar resolver un problema sin saber como hacerlo, sin conocer las causas. Se disculpa a los Estados desarrollados de tener un gasto excesivo en grandes programas y, a la vez, de no poder resolver el problema del hambre en el mundo, las guerras y las injusticias que asolan a gran parte de la humanidad, y especialmente a la infancia. Se les disculpa diciendo que gracias a la Ciencia no vivimos en las cavernas, que probemos la ignorancia, y frases así, que no gustan mucho a humanistas y ecologistas. Pero ¿es acaso más difícil erradicar el hambre en el mundo que fotografiar el nacimiento de una supernova? Lo que parece difícil de entender es que estos dos problemas sean incompatibles. Podemos estar de acuerdo o no con la inversión en ciertos programas costosos, pero nadie querría volver a vivir en el s. XIX. Aunque es muy posible que ciertos pueblos que no se benefician de los avances de la tecnología no entendieran el razonamiento.

Ahora puedo hacer de abogado del diablo y dar una lista de avances tecnológicos que no necesitaron a la Ciencia. Avances que se han basado en el empirismo, en la observación, en la *cuenta de la vieja*, la prueba y el error. Posiblemente procedentes de mentes superdotadas que carecían de teorías, pero que intuían los procesos físicos y naturales. La prueba y error es uno de los métodos más acertados que ha dado grandes resultados. El hombre ha manejado los genes sin saber lo que era una célula. Ha seleccionado un carácter de un ser vivo, animal o planta, y lo ha desarrollado hasta generar una nueva raza o variedad. Así el hombre carente de conocimientos hace de la misma planta un repollo, o una coliflor. O hace del lobo un perro para cuidar el ganado.

Conoce los metales, las aleaciones, la minería. Y ni siquiera se sabía que eran los elementos químicos y ni mucho menos como reaccionan entre ellos o como forman estructuras cristalinas o aleaciones.

Hacer una perforación en la tierra para muestrear la corteza hasta los 30 o 40 km de profundidad es un desafío tecnológico similar al de poner en órbita el telescopio James Webb. El sondeo de Kola de la época de la Unión Soviética llegó a los 12.000 metros, pero no dio más información de la que ya se sabía sobre las rocas de la corteza. Los basaltos, magmas procedentes del manto profundo, arrancan y transportan de forma gratuita muestras de la corteza que atraviesan sin necesidad de un costoso sondeo. En pleno Programa Apolo en lo años 60 del siglo pasado, el mismo año que los astronautas norteamericanos Armstrong, Aldrin y Collins pisaban la Luna, se produjo la caída del meteorito Allende en Chihuahua, México, aportando una valiosísima información sobre la formación del Sistema Solar, un objetivo del Programa Apolo. A diferencia del costoso Programa Apolo, la caída del meteorito Allende fue gratis, fue un regalo. Las muestras traídas de la Luna no han aportado mucho más de lo que se sabía antes de los lanzamientos. Esto no significa que haya que cancelar los programas espaciales en espera de hallazgos fortuitos que no implican coste económico. Lo que significa es que la Ciencia no avanza necesariamente como consecuencia de la aplicación de costosos Programas de Investigación. Estos hechos justifican el caos reinante en la historia de la Ciencia y la ausencia de un método que garantice un desarrollo seguro.

El conocimiento útil

Toda la Ciencia es aplicable al desarrollo social. Todo el conocimiento es útil. No hay conocimiento útil y conocimiento no-útil. La historia de la humanidad, y la Ciencia ocupa una parte importante de esta historia, ha demostrado que conocer lo desconocido es siempre útil. Otra cosa puede ser que la utilidad no sea inmediata o que se plantee como la razón de un programa de investigación.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

¿Debemos entonces aceptar que la investigación en Ciencia básica, también llamada "no orientada", sea limitada o planeada por los Estados? La respuesta es sí. Y es sí por una razón simple: La investigación en Ciencia básica requiere de altísimos costes económicos. Los organismos que financian la Investigación científica deben establecer prioridades. Todo el conocimiento es útil, pero su investigación debe ser planificada si se requiere una financiación para conocer lo desconocido.

Las grandes aplicaciones de la Ciencia no fueron nunca previstas. Y esto debe ser tenido en cuenta a la hora de financiar proyectos aplicados o no aplicados. Cualquier avance en el conocimiento de la materia, de nuestro entorno o de nuestro organismo, será usado para un nuevo avance tecnológico o biomédico. No se debe impedir que se investigue algo desconocido por el mero hecho de no planear una aplicación inmediata. La pregunta del profano es contundente en esta materia: ¿Y eso para qué sirve? ¿Para qué sirve estudiar la materia oscura? ¿Para qué sirve secuenciar el ADN de la mosca? O investigar la posibilidad de vida en Marte, o el origen de los continentes, o las tumbas egipcias, o muchas otras coas que ocupan a los científicos. Esta pregunta tiene una difícil respuesta. A veces la pregunta viene de los mismos estudiantes, sobre todo de aquellos que ven la universidad como un medio para tener un título, no para aprender, y obtener con él un puesto de trabajo. Los programas de investigación en Ciencias no aplicadas, que pretenden resolver estas y otras cuestiones no se plantean para resolver problemas tecnológicos ni necesidades sociales. Son programas para conocer lo desconocido. Y sabemos que ese empeño en conocer lo desconocido ha sido útil para la humanidad.

Como científico interesado en el estudio de los procesos geológicos puedo ofrecer dos ejemplos que ilustran bien sobre la necesidad de ahondar e invertir en la investigación no orientada. Dos de los más desbastadores desastres naturales tienen su origen en la dinámica interna de la Tierra. Estos son los volcanes y los terremotos. Estamos muy lejos de predecir las erupciones

volcánicas y los seísmos. Se hacen esfuerzos en monitorizar en tiempo real los volcanes con actividad latente. Se analizan los gases de sus fumarolas, se estudian sistemáticamente los espectros sísmicos asociados, se miden con precisión milimétrica, mediante interferometría por satélite, las deformaciones, etc. Pero se está muy lejos de predecir las erupciones. Uno de los principales inconvenientes es poder interpretar las señales registradas. Para ello es preciso conocer sus causas. Nadie puede poner en duda que estudiar las causas de las erupciones es esencial para entender esas señales. Investigar las causas del vulcanismo y su registro geológico es esencial en ese sentido. Igual pasa con los terremotos. Es esencial saber como es la dinámica del manto terrestre y de la corteza para entender y, tal vez algún día, predecir un movimiento sísmico. Es decir, la investigación básica sí que es orientada. Sí que puede organizarse en forma de líneas prioritarias. Llamar a la Ciencia básica "no orientada" es como poco una temeridad y un despropósito.

Journey to Mars

La NASA planea el primer viaje tripulado a Marte en la década de 2030. Será un viaje apasionante como lo fue el viaje a la Luna. Es seguro que un día la humanidad habrá colonizado otros ambientes habitables del sistema solar. Se podrían argumentar varias razones que explican, y que pueden llegar a justificar, la realización de estos costosos programas. Volvemos al principio general de la Ciencia, y es que *todo lo desconocido debe ser estudiado*. Esta es sin duda la principal razón. Y no es en sí misma una razón, pues sería difícil de argumentar que eso resuelva nuestros problemas de crisis demográficas, guerras, hambre, injusticias, etc. Pero sí es una fuerza imparable, la de conocer lo desconocido. La misma fuerza que nos sacó de las cavernas y nos llevó a vivir en sociedad con reglas, con comodidades, mejorando cada día nuestra calidad de vida. Los grandes descubrimientos de la Ciencia en el pasado han sido determinantes para

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

conseguir nuestro nivel de vida actual. Pero ¿Son comparables estos grandes descubrimientos con los grandes programas espaciales actuales? En cierto modo sí que lo son, pero hay grandes diferencias. Los descubrimientos de la Ciencia del siglo XIX y de principios de s XX procedían del ingenio de unos cuantos científicos, y no de un gran programa de investigación. El descubrimiento de la electricidad no fue planeado ni se sospechaban sus aplicaciones. Hoy no podríamos entender una sociedad sin electricidad. Igual pasó con el descubrimiento del láser, fue predicho por Einstein, pero no fue desarrollado hasta muchos años más tarde. Sus aplicaciones son diversas y no fueron sospechadas. Son desarrollos que siguen a descubrimientos non planeados, que sólo pretendían conocer, ir más allá. Sin embargo, conocer más e ir más allá en la Ciencia moderna requiere grandes inversiones económicas lo que pone a la Ciencia a merced de los Estados desarrollados.

Y ¿Qué es mejor para la Ciencia? La Ciencia es una actividad humana, como el Arte o la Literatura, la hacen personas no Estados o empresas. Esto quiere decir que los grandes pensadores, los genios, pueden investigar para los grandes programas estatales y a la vez desarrollar su afán por saber, que será su aportación real a la Ciencia. No es extraño que en los equipos de investigación de las Universidades y Centros de I+D se financien proyectos aplicados al desarrollo, que a la vez están financiando las necesidades intelectuales de sus investigadores. A esto se le llama trabajar en "lo suyo", denominación que se hace a la actividad de trabajar en esa inquietud por conocer lo desconocido y que es intrínseca a cualquier científico.

La ética como límite del desarrollo tecnológico

"El libre mercado no producirá por sí mismo una tecnología que sea favorable para los pobres"

Freeman Dyson, "El Científico rebelde"

En un magnífico libro, el físico y filósofo de la Ciencia Freeman Dyson[5] expone el papel de la ética como límite de los avances tecnológicos. Lo mismo podría aplicarse a la Ciencia básica cuando esta requiere de grandes inversiones. Las grandes inversiones de los países más ricos, y especialmente de los EEUU, en los costosos programas espaciales resulta, cuanto menos, chocante por no decir inmoral. Una pequeña parte de esas inversiones sería suficiente para acabar con las enfermedades en África o con el hambre en el mundo. Cualquiera podría plantearse una cuestión ética a este respecto. En palabras del físico y divulgador de la Ciencia Isaac Asimov (1919-1992), "el gran deber de la Ciencia es comprender el Universo, pero también mejorar las condiciones de vida de la humanidad en cualquier lugar de la Tierra".

El simple hecho de que los Estados deban priorizar ciertos programas sobre otros en investigación básica, hace que la Ciencia y la Política se relacionen estrechamente. Los gobiernos democráticos se retrotraen a las prácticas del despotismo ilustrado para decidir qué se financia y qué no. Apareen entonces los comités de asesoramiento, los círculos de influencia, etc. En los EEUU tuvieron una larga experiencia al tener que decidir si continuar con la fabricación de armas atómicas o suspender los planes armamentísticos, sobre todo al final de la Segunda Guerra mundial. Los científicos han tenido, y tienen, un considerable poder en la toma de decisiones por los gobiernos. En nuestra vieja Europa, ahora nuestro nuevo espacio común europeo, las decisiones se toman en Bruselas. Nunca lo tuvieron tan fácil los políticos de los Estados de la actual UE para justificar sus acciones. Es cierto que al día

5 Freeeman Dyson (2008) *El Científico Rebelde*. Penguin Random House. Barcelona.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

de hoy cada Estado de la UE sigue teniendo su propio Plan de Investigación y Desarrollo (I+D) estatal. En España, hasta las comunidades autónomas tienen el suyo propio (algo insólito), pero ninguno de estos planes se aparta notoriamente de los Programas Europeos.

¿Quién paga la Ciencia?

Los criterios para financiar la Ciencia son políticos y esto crea un conflicto de difícil solución debido a las diferencias de plazos. Raramente los políticos van a hacer planes a un plazo superior al de una o dos legislaturas (4 u 8 años). Y raramente un programa de investigación va a dar frutos en un plazo de menos de diez años. De nuevo la ética, y no los beneficios de las empresas, debe imponerse en las tomas de decisiones. La Ciencia debe estar del lado de contribuir a una mejor calidad de vida y una sociedad más justa en la que predominen los derechos inalienables de los hombres, el derecho a la vida, a la libertad y a la felicidad. En palabras de Freeman Dyson, "*…el abandono de millones de personas al desempleo y a la indigencia es una profanación de la tierra aún peor que la construcción y explotación de centrales nucleares…*". Hay que tomar ejemplo de estos movimientos ecologistas que han podido detener avances tecnológicos como la energía nuclear argumentando principios éticos sobre el respeto al ecosistema. Resulta chocante que una ética más inmediata, como es la que hace referencia la respeto a nuestros mismos congéneres que mueren de hambre a miles cada año en África, no haya sido capaz de detener ciertos programas costosos, que podrían calificarse de lujo, en favor de erradicar el hambre y la miseria en el mundo. Esto puede calificarse sencillamente de inmoral.

En conclusión, los Estados a través de sus sistemas de Ciencia y Tecnología, sus Universidades, Centros de I+D, deben identificar al "científico loco", ese que no tiene interés en aplicar nada a las ne-

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

cesidades sociales o empresariales, y darle los medios para trabajar a la vez que el reconocimiento social a su trabajo. Pero ¿Cómo se sabe que un científico será un genio y hará grandes desarrollos y aportaciones al conocimiento? Tener un buen salario de funcionario de alto nivel sólo por pensar parece un trabajo muy interesante como ocupación profesional. ¿Cómo evitar que oportunistas y pícaros se cuelen en el sistema? De hecho, una gran parte de nuestros funcionarios de la Ciencia no hacen ni desarrollan nada, pero se han instalado en un sistema permisivo del que se aprovechan y, lo más grave, corrompen el sistema apoyando a otros que quieren seguir los mismos pasos, a la vez que ponen obstáculos a los que trabajan. No estoy contando nada nuevo. Nuestro gran sabio Ramón y Cajal expuso con claridad y esmero estos problemas en sus "Tónicos de la Voluntad", en un intento de "curar" las enfermedades de los "funcionarios de la Ciencia". ¿Qué puede hacer el sistema para evitar este gran problema? Una cosa puede hacer: Ser más estricto en los métodos de selección aplicados. Nuestro sistema es demasiado permisivo y esto explica los malos resultados obtenidos. Nuestras Universidades están a la cola de Europa en los rankings de calidad. Muchas de nuestras Universidades están incluso por debajo de algunas de países emergentes. Desperdiciamos nuestros escasos fondos en las fugas. Tenemos un sistema con demasiadas fugas que debemos corregir lo antes posible.

La endogamia en las Universidades españolas

Un objetivo para los sistemas de I+D (Investigación más desarrollo) es establecer y aplicar criterios de excelencia en la selección de las plantillas de investigadores y en la selección de los proyectos financiables. Las Universidades no pueden estar ajenas a este problema, pues una gran parte de la plantilla de nuestros investigadores en España, y en otros países de nuestro entorno, son profesores de universidad. Pero ¿Quién establece y aplica los criterios de excelencia? En España existe una agencia nacional de evaluación de la calidad (ANECA), y diversas agencias regionales, que se encargan de este cometido. De todos es sabido que este

sistema no es perfecto y permite fallos. Pero este es un problema menor, pues todos los sistemas tienen fallos. El problema es que al final son las Universidades las que deciden la selección final entre candidatos acreditados. Y esto se hace generalmente favoreciendo de forma descarada a los candidatos de dentro sobre los externos, incurriéndose en muchos casos en graves injusticias que, a la postre, perjudican a la propia institución. A esto se le ha llamado eufemísticamente *autonomía universitaria*. Su nombre verdadero es endogamia; algo que defienden los Rectores con especial ahínco dada su dependencia de un sistema democrático interno que ha de hacer caso a las mayorías, aunque estas sean mediocres. Sinceramente, no veo como se puede salir de este círculo de "anticalidad". Pero los daños que se están produciendo al sistema son considerables.

¿Debe hacer la Universidad algo más allá de la Ciencia?

Pero volvamos a la Ciencia. Desde hace algunas décadas la Universidad española se convierte en un agente de desarrollo social, no necesariamente en un agente de producción y difusión del conocimiento. Cierto es que la Universidad es una pieza clave en el desarrollo social. Sin embargo, han sido y son muchas las voces que reclaman peligrosamente un papel de la universidad como agente transmisor del conocimiento, como fuente de asesoramiento a empresas, como formadora de profesionales y agente de empleo. Muchos universitarios nos planteamos si debe la Universidad convertirse en un agente empresarial. ¿Acaso esto no hace daño a la Ciencia real e impide el desarrollo de nuevos científicos y nuevas ideas? ¿Es compatible la Ciencia con la Tecnología en el ámbito universitario? Volviendo a palabras de Freeman Dyson, la ciencia está más cerca del Arte o de la Literatura que de las Tecnologías. La tecnología usa la Ciencia, y viceversa, pero los grandes desarrollos tecnológicos están al servicio de los intereses económicos de las grandes compañías, no al servicio de los ciudadanos en la mayoría de los casos, como ya he comentado en un apartado anterior.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

La Universidad es ante todo un Centro de Educación Superior. La principal preocupación de la Universidad como Institución deber ser la de educar. Educar implica investigar y desarrollar conocimiento nuevo. Educar en la Universidad es enseñar a pensar, a descubrir, a razonar. El profesor universitario debe transmitir al estudiante la pasión por el estudio, por el conocimiento. Valores que no se aprenden en los libros. Seleccionar el profesorado que sea capaz de hacer esto puede ser una tarea compleja, pero algo totalmente necesario para mejorar nuestro sistema universitario.

El Estudio, la Investigación y la Docencia son parte de un todo en la Universidad. Con gran preocupación vemos a compañeros que se agarran a cualquier recurso para quitarse horas de docencia. Hasta las mismas universidades usan el término "exoneración" para las reducciones de horas de docencia a los profesores; admitiendo que la docencia es una pesada carga de la que hay que "aligerar" a los profesores con mayores méritos. Como si fuese un premio. La Docencia, que es en definitiva la esencia de la Universidad, es considerada como un castigo para los docentes. No son pocos los colegas de nuestro entorno universitario que reivindican un mayor papel de la investigación en las universidades, dejando al lado los objetivos docentes. Si esto fuese así de claro y rotundo, no sería un problema mayor, pues la investigación es la única vía para formar buenos docentes universitarios. De forma que en alguna etapa de su carrera universitaria el profesor más dedicado a la investigación podrá revertir sus conocimientos a los estudiantes, contribuyendo con su valiosa experiencia personal. Sin embargo, no siempre es así. Se considera la investigación como causa de reducción de la "carga" docente sin tener en cuenta el tipo de investigación ni la calidad de la misma. Se establecen baremos blandos, consensuados por la comunidad universitaria.

Está bien que en esta mal llamada "sociedad del conocimiento" (la sociedad siempre fue del conocimiento desde que los hombres vivían en cavernas) la Universidad sea un agente protagonista o, al menos que tenga relevancia, pero ¿Quién hace el conocimiento que aplicamos al servicio de la sociedad? Nos estamos poniendo en manos de los desarrolladores de nuevas

tendencias y nuevas concepciones, en manos de esos países que sí fomentan la verdadera Ciencia, la que no está orientada al "conocimiento útil". Esos países que atienden por igual a la investigación básica y a la tecnológica. Ese es el caso de los EEUU. Nuestra mal llamada Ciencia útil, es sólo la aplicación de lo que otros que van por delante hacen. Los políticos deben saber si esto es lo que quieren para sus ciudadanos.

Yo entiendo los temores. Pues entre esos que hacen Ciencia no aplicada hay tanto o más defraudadores que en los que aplican los conocimientos a desarrollos tecnológicos. Es cierto. Se desperdician recursos económicos. En todos los planes estatales de I+D de los países desarrollados se incluye un programa especial dedicado a la investigación básica no aplicada. Recibe nombres en España tales como "Promoción General del Conocimiento" o, más recientemente, "Investigación no orientada". Parece que los asesores de los gobiernos dejan bien claro a los políticos la conveniencia de financiar proyectos de *investigación no orientada*. Algo les suena de que esto debe hacerse aunque se derrochen aparentemente recursos en investigar algo que aparentemente puede parecer un simple capricho intelectual de algunos grupos de científicos. Al ser una investigación sin pretensiones de ser aplicada, ¿Cómo sabemos que debe financiarse? Si no podemos evaluar su utilidad en proyectos anteriores de un equipo de investigadores ¿Cómo sabemos que se puede conceder una nueva subvención a un equipo? Este es un gran problema para las comisiones de evaluación de proyectos. Se toman como guía unos parámetros de referencia que, en muchos casos, pueden resultar engañosos. Voy a mencionar dos de los más usados:

1. La producción científica valorada por el número de artículos publicados y el impacto de las revistas en las que se publican dichos artículos.
2. La capacidad formativa del equipo, valorada mediante el número de Tesis Doctorales defendidas en su seno en los años precedentes. Ambos criterios son de dudosa utilidad. Sobretodo por que son susceptibles de fraude.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

La producción científica: Las publicaciones

Una cosa es publicar resultados y otra muy distinta es escribir un artículo científico. Hay científicos "ágrafos". Hay científicos con un extenso currículo de publicaciones que nunca han escrito más de dos renglones seguidos de un artículo. Escribir es una parte esencial del trabajo de un investigador. Para el joven investigador, escribir puede convertirse en un calvario. Escribir implica ordenar las ideas, conocer un lenguaje, razonar usando los datos, etc. Escribir implica leer. No hay recetas para escribir un artículo. Nuestra capacidad para hacerlo o no depende de la estructura lógica de nuestro cerebro. Depende de nuestros conocimientos. Depende, en esencia, de nuestra *cultura*. Pero se puede aprender a escribir. Igual que se puede aprender a tocar el piano. A escribir se aprende de una única forma: leyendo. Leyendo mucho. La palabra cultura es esencial, la cultura científica en este caso. Suena como a formación, a tener muchos libros en la cabeza, pero no es eso solamente, que también, la cultura se puede definir de forma sencilla. La cultura es reconocer la inteligencia de otros. Ser culto es uno de los pilares esenciales de un científico y así lo voy a recoger como uno de los puntos de mi decálogo.

Publicar la Ciencia: El artículo científico

Para el científico saber escribir es como saber pensar, como saber estudiar un problema y resolverlo. ¿Hay científicos ágrafos? Pues no si incluimos esta condición en la definición de científico. El científico que llega a un resultado positivo o resuelve un problema,

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

aunque sea de forma parcial, quiere contarlo, darlo a conocer a otros colegas. Se puede decir que la Ciencia que no se publica no es Ciencia. La necesidad de publicar debe ser intrínseca a la misma labor de investigación. Esto debe ser así y se cumple en cierta medida entre los investigadores. Pero no es siempre es así, existiendo grandes problemas relacionados con las publicaciones científicas.

Lo único que hay que tener para escribir un buen artículo científico es una idea clara para contar con una base en datos nuevos y con implicaciones sobre nuevos conceptos o sobre viejos modelos. En definitiva algo nuevo que comunicar de interés para la comunidad científica internacional. Todo lo demás, todas las reglas y recetas disponibles, pueden ser útiles pero serán infructuosas si no se cumple el requisito anterior. Pero ¿Hay artículos científicos que no cumplan este requisito esencial? Por supuesto que sí. La inmensa mayoría de los artículos publicados no lo cumplen. La inmensa mayoría de lo publicado es superfluo, repetitivo e innecesario. Entonces ¿Por qué se publica esta Ciencia o *Tecnociencia*? Pues no sólo se publica, sino que existen además cientos de revistas especializadas dispuestas a publicarla, tanto revistas internacionales de editoriales comerciales como revistas online en las que uno mismo puede darse de alta como editor y escribir lo que le plazca, eso sí, pagando una cuota por hacerlo en la mayoría de los casos. Es un clamor general entre los científicos que el sistema de publicaciones está completamente corrupto. Sin embargo, seguimos jugando a publicar mucho, cuanto más mejor, con independencia de la calidad de lo publicado. Existen problemas que tienen que ver con los sistemas de revisión y aceptación de manuscritos, con el valor de las citas a los trabajos publicados y con la proliferación sin fin de revistas *superespecializadas*. Hay dos grandes factores esenciales que están en la raíz de la corrupción del sistema de publicación de la Ciencia: Uno es que publicar revistas se ha convertido en un negocio para las grandes editoriales. El otro problema es que al investigador se le exige publicar artículos, cuantos más mejor, sin que importe la calidad de los mismos. Analicemos estos problemas por separado.

El sistema de revisión de artículos usado de forma estándar por las revistas internacionales es el llamado "peer review", o revisión por pares, por comunes, o por iguales, como mejor queramos traducir el término "peer" del Inglés. La revisión por pares tiene serias limitaciones e inconvenientes, pero no hay otro mecanismo mejor para conocer la originalidad de un artículo, su calidad, etc. Los revisores (pares, colegas, comunes) son elegidos por el editor de la revista y aquí está el primer problema. Los revisores no obtienen remuneración económica por su trabajo y en muchos casos rehúsan hacer la revisión. Para facilitar el trabajo del editor, se le pide al autor una lista de revisores sugeridos y una lista opcional de revisores vetados. De esta forma, el autor puede manipular el proceso. La probabilidad de tener buenos informes de un artículo sólo depende del número de colegas que pueden actuar de árbitro. El sistema se corrompe aún más cuando un autor entra en el sistema. Es decir, es revisor y a la vez autor, el caso general. Ser un revisor constructivo y amable con tus colegas, potenciales revisores de tus artículos, puede asegurarnos una vía fácil para publicar. Así se crea una cadena de "calidad" cerrada, cuyo fin acaba siendo endogámico, orientado a apoyarse mutuamente en una comunidad cerrada de autores.

Un problema adicional al anterior, y que viene a agravarlo, es el papel que se da a las citas bibliográficas. El número de veces que un artículo es citado se usa como criterio para acometer la evaluación de sus autores como investigadores en las instituciones que los contratan, bien sea para aplicar incrementos salariales (el caso de los funcionarios en España), o para acceder a plazas de mayor nivel o en otras instituciones. En definitiva es un patrón de medida internacional. El parámetro más usado es el llamado índice H. Consiste en el número de artículos de un autor que son citados un número igual de veces. Es decir un autor con un índice H=20 tiene 20 artículos que han sido citados un número de veces mayor o igual a 20 cada uno de ellos. No hace faltar listar aquí las posibles vías para hacer que este número se vea incrementado de forma artificiosa, no natural. La "autocita" es una de ellas, aun-

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

que no necesariamente las más efectiva. Incluir citas de un autor, venga a cuento o no, a quien proponemos como árbitro es una forma. Es bastante probable que el árbitro emita un buen informe de un artículo cuya publicación eventual va a incrementar su índice H. Obviamente, el sistema no es bueno, pero tampoco hay un sistema mejor. Por otra parte, los editores no pueden hacer de censores (a veces lo hacen) y suprimir aquellas citas que aparecen en largos paréntesis en las introducciones de los artículos y que no son necesarias para la argumentación de la investigación que se presenta.

El asunto se complica aun más por la acción de los editores. Estos tienen el encargo de sus superiores, en muchos casos grandes multinacionales dedicadas a la publicación de revistas científicas, de mantener y si es posible incrementar el *factor de impacto* (IF) de la revista. Las revistas son clasificadas según su valor de IF por el Institute for Scientific Information (ISI), integrado en la Compañía Estadounidense Thomson-Reuters. El valor del IF de una revista científica se basa esencialmente en el número de citas que esa revista recibe dentro de un campo de especialidad cuyos límites son establecidos por el mismo ISI. No es extraño que muchos editores hayan incrementado el valor de IF de una revista recomendando a los autores la inclusión de citas de la misma revista en sus artículos.

Los paquetes de revistas con acceso on-line son la fuente principal del negocio de las editoriales comerciales. Estos paquetes pueden incluir varios centenares de revistas de una misma editorial y tener un coste muy elevado para las instituciones. El alto coste obliga a las universidades a formar consorcios interuniversitarios para poder hacer frente a contratos anuales millonarios por accesos electrónicos a las revistas. En algunos países los contratos son asumidos por los gobiernos para dar acceso a la comunidad de investigadores a tan preciado servicio. Resulta paradójico que las mismas instituciones que ponen sus fondos para realizar costosas investigaciones tengan finalmente que pagar para tener acceso a sus propias publicaciones. El tema está en permanente discusión

pues se hace necesario un sistema más justo y más transparente que permita valorar la calidad de la investigación realizada libre de trampas y obstáculos. Por el momento, la situación es tal que sólo podemos que recomendar a nuestros investigadores que publiquen artículos, cuantos más mejor. Pero la dirección esperada de cambio en este sistema, hacia una mejora de la calidad del mismo, aconseja que se elijan las mejores revistas, las más selectivas, y que no se incremente artificialmente el número de autores en las publicaciones.

Divulgar la Ciencia

Debe ser frustrante para un físico, incluso de la talla de Stephen Hawkins, haber llegado a entender el significado del tiempo y no haber conseguido que lo entienda un hombre de la calle, por mucho que ha intentado divulgarlo en fantásticos libros de divulgación. Divulgar la Ciencia es una tarea sumamente compleja. Llegar a la mente desprovista de información básica sobre conceptos físicos fundamentales para explicar fenómenos complejos debe ser casi imposible. Yo entendí el significado del tiempo leyendo los fantásticos libros de Ilya Prigogine. El tiempo surge del desequilibrio. Hay tiempo simplemente por que la energía está heterogéneamente distribuida en el Universo y migra de unos lugares a otros. El tiempo es cero en el equilibrio. No hay Historia en el equilibrio. El libro del Nacimiento del Tiempo de Prigogine[6] nos da esta visión como una lección magistral. Pero no nos engañemos, sólo los grandes pensadores y grandes científicos han sido magníficos divulgadores. Nadie mejor que ellos, que entienden los fenómenos físicos en toda su complejidad, para explicarlos a los profanos. Personalmente, nunca leería un libro de divulgación escrito por un magnífico escritor o periodista que no sea a la vez un eminente científico. Y no lo aconsejo. Hay varias razones para

6 Ilya Prigogine (1991) *El Nacimiento del Tiempo*. Tusquets Editores S.A., Buenos Aires.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

llegar a esta afirmación. La principal es que la divulgación escrita por los científicos contiene una carga extra de apasionamiento por lo estudiado que es esencial para transmitir las ideas complejas. Las palabras de los grandes científicos pesan como losas en el papel, pues van cargadas de seguridad, de razón y de experiencia de muchos años. Divulgar no es una actividad periodística, y si lo fuese debe ser hecha por científicos.

¿Cómo explicar a un profano, por muy culto que sea, que la materia es esencialmente vacío? Rutherford demostró la existencia del núcleo de los átomos. La práctica totalidad de la masa de un átomo está en su núcleo, en torno al cual giran los electrones. Lo sorprendente fue que el volumen del núcleo es miles de veces más pequeño que la envuelta de electrones. El famoso ejemplo de la mosca y la catedral lo ilustra en sus proporciones. Si el volumen del átomo fuese una catedral, el núcleo tendría el tamaño de una mosca. Entonces, esto significa que la materia que tocamos y conocemos como dura y metálica es esencialmente vacío, huecos, distancias. No es fácil de entender algo tan abstracto para una mente no formada en las leyes de la física.

Los fenómenos naturales no son siempre intuitivos y no se pueden explicar con metáforas. A veces las metáforas pueden hacer aún mas difícil de entender la naturaleza. Sin embargo, en ocasiones la intuición basada en la vida real es poderosa y puede explicar fenómenos naturales aparentemente complejos. Uno de los más grandes avances de la Ciencia fue la explicación del calor. El calor, algo cotidiano que expresamos con nuestros propios sentidos. Hoy hace calor, el café está muy caliente. Sabemos como manejarlo, como protegernos del calor o de su defecto, el frío. Sabemos como usarlo, como calentar el agua o como enfriarla. Es puro empirismo. Sabemos como usar algo que no sabemos lo que es. Los científicos del s. XIX se preocupaban de forma particular por entender qué es el calor. Se pensó que podía ser un elemento químico desconocido, y como había aún huecos en la Tabla Periódica se buscó el lugar de ese elemento que tenía el calor. Se le llamó Calórico y se le calculó su peso atómico, punto

de fusión y otras propiedades físicas siguiendo el más riguroso método científico del momento. Boltzmann descubrió y demostró que no existía ningún elemento que llevase el calor a las cosas. Es algo muchísimo más simple, tan simple que cualquiera lo podría entender. El calor es simplemente el reflejo del estado de excitación de las moléculas que forman la materia. La fuente del calor es mecánica y su transferencia de unos cuerpos a otros es la esencia de una de las ramas de la física que más ha contribuido al desarrollo tecnológico: la Termodinámica. Uno de los mayores empeños de Boltzmann fue divulgar su Ciencia y demostrar el origen del calor y las leyes de que lo rigen. En esencia, Boltzmann fue un gran científico y un gran divulgador de la Ciencia.

Pero ojo a los predicadores. Ojo al uso de la Ciencia, y a su divulgación periodística, con fines políticos. La sociedad ha depositado confianza en la Ciencia. Cualquiera puede verse beneficiado por los adelantos de la medicina, de las comunicaciones, de los nuevos materiales que contribuyen a una mejor calidad de vida. Nadie se plantea entender como funciona una vacuna o un teléfono móvil, simplemente se usa, y se usa a sabiendas de que son logros de la Ciencia. Por eso confiamos en la Ciencia. Y por eso hay que procurar que ese contrato social entre los ciudadanos y la Ciencia no se rompa. Sería un desastre desconfiar de los científicos. Algo que estuvo a punto de ocurrir con la proliferación de armas nucleares al fin de la Segunda Guerra Mundial, y que puede ocurrir ahora por un uso política y económicamente interesado de la Ciencia en apoyo o detrimento del temido cambio climático. En su libro sobre *El futuro profundo*, El paleoecólogo estadounidense Curt Stager[7] analiza los detalles del cambio climático y nos muestra una visión menos alarmista que lo normal. Nos plantea que al encontrarnos en un período interglaciar en nuestro período geológico, que él denomina Antropoceno, se prevé que la próxima glaciación se produzca dentro de unos 50.000 años. Sin em-

7 Curt Stager (2012) *El Futuro Profundo.* Crítica. Barcelona.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

bargo, el calentamiento global producido por la actividad antrópica y nuestros desechos puede retrasar la próxima edad de hielo a dentro de 130.000 años. Imagino que estos datos son discutibles y que son motivo de debate, pero a todas luces parece razonable temer tanto a un calentamiento como a una era glaciar que llegará pase lo que pase. Por otra parte, se sabe que el registro fósil de nuestro Planeta nos muestra períodos de éxitos de especies que han producido deshechos contaminantes que, a su vez, han cambiado la composición de nuestra atmósfera, y que han obligado a las nuevas especies a adaptarse a vivir con los deshechos. Este es el caso de la producción de oxígeno como "contaminante" tras la aparición de la vida fotosintética bacteriana en la era Arcaica, hace más de 2.000 millones de años. En cualquier caso, aunque contaminar en este Antropoceno que vivimos sea una acción natural, pues la hace el hombre que es parte de la naturaleza, siempre será más agradable vivir en un mundo limpio. A diferencia de las bacterias del Arcaico, el *homo sapiens* está dotado de inteligencia. Es decir es consciente de su existencia y puede saber si el camino emprendido está equivocado y, en consecuencia, corregirlo. En suma, el movimiento ecologista es algo necesario en nuestra vida, dando paso a esta nueva ética en la que nos asentamos y a la que defendemos en el mundo desarrollado. Ahora toca aplicar la otra ética, la que debe avergonzarnos de que exista hambre, miseria, guerras e injusticias en el mundo. En este punto la Ciencia tiene mucho que hacer, y los políticos también. No podemos dar prioridad a salvar los bosques amazónicos antes de erradicar el hambre y la miseria en África.

Es imposible no hablar de los políticos en este apartado dedicado a la divulgación de la Ciencia. Los políticos deben seguir los consejos de los científicos y a la vez satisfacer los anhelos de los ciudadanos para obtener su apoyo. Para hacer esto, los ciudadanos deben entender los motivos de los programas políticos y, por tanto, el apoyo que reciben de los científicos. Es decir, divulgar la Ciencia no es una mera tarea orientada a la curiosidad, que también, sino una forma de adquirir la cultura necesaria para decidir

libremente nuestro propio futuro. Por esto me revelo contra esa visión de la divulgación de la Ciencia como algo frívolo, divertido, curioso, algo que nos permite tener conversaciones interesantes con nuestros amigos.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

Un Decálogo Preventivo

La comunidad científica la forman científicos y otros que no lo son pero lo aparentan. Lo aparentan de forma consciente o inconsciente. Es decir, existe el científico que se esfuerza en parecer que lo es a sabiendas, y el que cree que lo es sin serlo. La historia de la Ciencia nos ha dado un listado considerable de grandes pensadores, grandes científicos que han protagonizado grandes avances en el conocimiento. Hay que pensar que cada unos de ellos se encontraba en un entorno, por lo general poco favorable, en el que otros académicos y hombres de reputación les discutían y criticaban sus estudios. Había en esos entornos académicos muchos científicos que no lo eran, bien por voluntad o bien por sus propias limitaciones. Ramón y Cajal recogió estas impresiones en un libro que se ha convertido en referencia obligada en estudios epistemológicos. Ramón y Cajal, quien se veía a sí mismo como un humilde médico, no como un científico, nos dejó un legado de gran valor sobre el entorno social y profesional en el que se hace la Ciencia. El identificó claramente a esos llamados a sí mismos científicos, que poseían alguna *enfermedad de la voluntad* que les impedía avanzar en sus estudios y que, lo más grave, ponía en serio riesgo a los que estaban sanos de tales dolencias. Nos dio una lista de tónicos para curar tales enfermedades de la voluntad. Las seis categorías de enfermos que da Ramón y Cajal, a los que denomina ilustres fracasados, son:

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

- Diletantes o contempladores
- Eruditos o bibliófilos
- Organófilos
- Megalófilos
- Descentrados
- Teorizantes

El tono de humor con que nos deleita Don Santiago en las descripciones de tales enfermos de la voluntad no quita importancia al problema, que sigue siendo actual lamentablemente. Resulta penosamente gracioso como identificamos a muchos colegas en estas descripciones. Muchos colegas que obtuvieron una cátedra en la Universidad para no hacer absolutamente nada de provecho en su vida, ni por la Ciencia ni por la educación de nuestros estudiantes. Si cien años después de la obra de Ramón y Cajal el problema persiste es que no estamos haciendo las cosas bien. Curiosamente, el programa de acceso a la carrera de investigador científico en España recibe el nombre de Programa Ramón y Cajal. Por algo se empieza. Esperemos que no sea una simple ironía.

Creo personalmente que Don Santiago pecó de ingenuo al creer que los enfermos de la voluntad se veían a sí mismos como tales. Mas bien verían a nuestro genio como un individuo excéntrico y medio enloquecido por tantas horas de estudio y trabajo en el laboratorio. Los que mucha gente no sabe, y debería saber, es que el científico disfruta trabajando y estudiando, porque sabe que el esfuerzo tiene una recompensa. Nadie se arrepiente del esfuerzo y sacrificio empleado durante una larga marcha para subir a la cima de una montaña cuando está arriba y disfruta del paisaje.

Sin embargo, esta lección está dirigida a jóvenes investigadores, aun sanos de la epidemia que relaciona Ramón y Cajal sobre la voluntad. Sólo tienen que saber si pueden dedicarse o no a la Ciencia. Si lo hacen sin cumplir este decálogo acabarán enfermos de la voluntad y deberán pasar por administrarse los tónicos que Ramón y Cajal propuso. Este es, por tanto, un decálogo preventivo. Pero esto no es una receta. Si alguien necesita una receta para hacer Ciencia es posible que deba dedicarse a otra actividad, posiblemente más compleja y que requiera más cualidades intelectuales. Pero la Ciencia requiere intelecto y vocación, talen-

to y avidez por conocer, por llegar a donde otros no han llegado.

Según Ramón y Cajal, las "*cualidades de orden moral que debe poseer un investigador*" son: Independencia mental, curiosidad intelectual, perseverancia en el trabajo, la religión de la patria y el amor a la gloria. Nuestro "Decálogo" es una actualización matizada de estas "cualidades". La internacionalización de la Ciencia ha servido para dejar a un lado los patriotismos. El amor a la gloria se diluye en la gloria de grandes equipos más que en personas. Pero el éxito personal no cabe duda de que sigue siendo una motivación importante para los jóvenes investigadores del siglo XXI. De ahí la necesidad de un nuevo código de cualidades actualizado a los nuevos tiempos. Un joven investigador debe reunir las siguientes cualidades para llegar a ser un científico y tener éxito en su trabajo:

1) Ser crítico. No seguir instrucciones sin argumentos
2) Elegir personalmente el tema de investigación
3) Cultivar el estudio
4) Ser humilde
5) Ser honesto
6) Tener perseverancia
7) Saber contar lo que has hecho a otros: Escribir
8) Aceptar las críticas
9) Rectificar los errores
10) Administrar el éxito y disfrutarlo

1) No seguir instrucciones vengan de donde vengan. No seguir ninguna receta. Sólo seguir nuestra mente y nuestras capacidades intelectuales. Pero sí es necesario leer lo que otros han pensado de cómo abordar un trabajo de investigación, como por ejemplo una Tesis Doctoral. No hay método apriorístico en la Ciencia. Hay que abordar los problemas y resolverlos con las herramientas disponibles. Por lo general no existe una forma única de abordar un problema y resolverlo. En este proceso hay que ser sumamente crítico con todo lo previamente realizado. Los problemas en Ciencia no siempre se resuelven. En muchos casos se disuelven. Por

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

tanto, la crítica no siempre tiene que ser constructiva, puede ser y en muchos casos debe ser destructiva. Recordemos que las hipótesis científicas deben ser *falsables*. Y falsar una hipótesis produce un mayor avance en la Ciencia que aportar pruebas en su favor. Por mucho que se demuestre una hipótesis seguirá siendo hipótesis (conjetura). No hay que tener miedo a ser críticos. Decía Ramón y Cajal "los mansos pueden ser buenos santos. Los rebeldes pueden ser buenos científicos". Puede parecer exagerada esta afirmación de nuestro sabio y modesto científico. Pero es bastante cierta. Lo cual no quita que entre los santos tengamos a grandes rebeldes en la historia de la cristiandad. En cualquier caso, la crítica sin fundamento es gratuita e ineficiente.

2) Elegir como tema de investigación aquello que despierte nuestro interés. No lo que supuestamente nos va a proporcionar un empleo. Hay cursos de formación para obtener trabajos de todo tipo. La Ciencia no es uno de ellos. Lamentablemente, creo que no voy a encontrar mucho apoyo entre los más modernos de mis colegas universitarios. Para muchos estudiantes de doctorado, la Tesis se toma como un medio para incrementar las posibilidades de obtener un empleo estable. Esto no está reñido con la más purista acepción de la investigación científica como una tarea vocacional. Los científicos son necesarios para la sociedad y hacen un trabajo que debe tener una recompensa salarial y un reconocimiento social. Ambas cosas no son ni de lejos satisfactorias para ningún trabajador de la Ciencia en nuestra sociedad. Algo que debería corregirse para evitar un colapso del sistema que nos lleve a una excesiva dependencia tecnológica. Los políticos deben tomar medidas en esta materia. La situación en España no es muy halagüeña, lo que lleva al desánimo entre nuestros jóvenes investigadores. España e Italia son los principales exportadores de jóvenes investigadores en Europa. Gran Bretaña, Francia y Alemania los principales importadores. La lectura que se puede sacar de este dato es evidente.

Pero hablamos de elegir el tema de investigación para un joven investigador. Insisto que debe ser el investigador y no el "direc-

tor" el que debe elegir el tema de estudio, aunque sea sobre una oferta de posibles temas por parte de los equipos de investigación. Es bueno que el investigador elija su tema de estudio pensando en una salida profesional futura. Es decir, que elija aquello que le gusta hacer y que le proporcione una formación adecuada para una salida profesional. La elección de un tema de Tesis cualquiera con el único fin de tener un título para acceder a un puesto de trabajo, es una opción muy arriesgada y que en la mayoría de los casos conduce al fracaso.

3) Estudiar: Conocer el tema de trabajo en toda su profundidad y toda su extensión. Si el trabajo está orientado a una Tesis Doctoral, será necesario dedicar los primeros años a estudiar y simultanear el estudio con el laboratorio siempre que sea posible. Un científico debe pasar el mismo tiempo en la biblioteca que en el laboratorio. Obviamente, por biblioteca se entiende el estudio, la lectura y la escritura. Y por laboratorio se entiende tanto el tratamiento de datos como su obtención. Este esquema simple puede aplicarse a cualquier disciplina científica. La investigación en las disciplinas humanísticas y sociales no difiere mucho de las Ciencias llamadas experimentales. Sin estudio no hay crítica, no hay posibilidad de entender los resultados experimentales, y no es posible planificar el trabajo de forma independiente.

La Ciencia es acumulativa. Cada avance se fundamenta en otros previos. Cada paso se da sobre un paso anterior. Empezar un tema de estudio desde el inicio, ignorando lo ya hecho por otros, es totalmente absurdo. Para avanzar hay que identificar los problemas que deben resolverse. Y para identificar un problema hay que estudiar lo que han hecho otros. Estudiar. Es la palabra clave de la investigación científica.

4) Sobre la humildad. No hay lugar para la soberbia en la Ciencia. Hay dos tipos de doctorandos, los que se refieren al trabajo de Tesis que están desarrollando como "mi Tesis" y los que dicen "la Tesis". Esto demuestra dos actitudes totalmente

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

distintas. La del humilde (la Tesis) y la del menos humilde por inseguro y desconfiado (mi Tesis). Es cierto que la perífrasis nos puede obligar a uno u otro uso, pero un uso excesivo del "mi" implica inseguridad. La Tesis es de su autor y esto no debe ser recalcado en ningún momento. No es necesario, se debe dar por hecho. El exceso de celo por lo privativo puede reflejar una duda importante sobre el derecho de su propiedad. El caso extremo es cuando el uso del "mi" se hace para dejar claro que la Tesis no es del director sino de quien la ejecuta. Lo cual es una obviedad que no debe ser enfatizada. Si este asunto no queda claro, y si alguien tiene duda sobre lo que digo, es posible que no se hayan cumplido algunos de los puntos anteriores de este decálogo. Es muy posible que el tema haya sido impuesto por el director "senior" de la investigación al estudiante de doctorado. Esto puede ser bastante frecuente entre las Tesis de Ciencias Experimentales. Es un gran error y un desvío considerable de la filosofía que subyace al sistema de aprendizaje e investigación: la libertad de estudio y la vocación.

A alguien le puede parecer todo esto "romántico" o desfasado. Lo contrario es lo post-moderno, lo carente de valores, salvo los meros valores crematísticos que obviamente no conducen a enriquecer el conocimiento de nuestro entorno ni de nosotros mismos, ni como personas ni como seres vivos.

5) *La honestidad*. Ser honesto debe ser una condición sine qua non para un científico. Y no es precisamente por el bien de la Ciencia. A quien más beneficia ser honesto es a uno mismo. En la Ciencia y en cualquier otro aspecto de la vida. Como se ha dicho arriba, la Ciencia es acumulativa. Esto implica usar los avances que otros han hecho como base de nuestro trabajo. Pero, por el propio interés del investigador, es esencial separar lo que se sabía de lo nuevo que se aporta. El ejercicio de la honestidad no sólo se aplica en la redacción de un artículo científico. La honestidad se aplica desde la toma de datos y manejo de datos ya publicados. Los datos publicados tienen un autor y debe ser referido siempre

de forma explícita. La mayor dificultad se da en el respeto a las ideas. Las ideas tienen tanto o más valor que los datos. Las ideas en la Ciencia son el fruto del trabajo y la experiencia de años. Lo que con frecuencia llamamos "ideas" son verdaderas hipótesis que, como tales, deben ser respetadas, apoyadas o refutadas, pero siempre manteniendo claramente que es propio y que es ajeno. Copiar ideas, seguir hipótesis es totalmente correcto en Ciencia, pero siempre que se diga el autor que ha formulado dicha hipótesis. Si se nos ocurre una idea o una forma de abordar o solucionar un problema, y descubrimos después que esa idea ya existe y no la conocimos en su momento, debemos estar contentos de haber puesto nuestra mente en sintonía con la de otros científicos, pero debemos renunciar a la idea como propia aunque de verdad lo haya sido. La historia de la Ciencia y de los grandes descubrimientos científicos está repleta de ejemplos de acusaciones de plagio entre científicos que resultaron ser falsas. No es nada extraño que dos equipos de investigación trabajando de forma totalmente desconectados entre sí hayan llegado a descubrimientos similares. Esto demuestra el carácter acumulativo del conocimiento científico y el curso racional de la investigación. Un ejemplo es el descubrimiento del láser. Varios equipos se lo han disputado. Pero muchos estaban detrás de este descubrimiento por una sencilla razón. Existía una base predictiva basada en teorías de Einstein. Otro ejemplo es el descubrimiento de la ordenación de los elementos químicos y de sus propiedades periódicas. Y podríamos encontrar muchos más en la historia de la Ciencia Moderna. Actualmente es casi imposible que se den estos fenómenos aislados dada la intensa interconexión que existe entre los equipos de investigación de cualquier lugar del mundo. Se podría decir que en esta era de las comunicaciones las ideas circulan por Internet a velocidad de la luz. Son colectivas. O al menos lo parecen. Esta es una de las desventajas de la "*hipercomunicación*" en la que vivimos y trabajamos. Hay muchas ventajas que lo compensan con creces. Aun así, debemos mantener el principio de honestidad, por nuestro propio interés. Defender como propia,

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

sin serlo, una hipótesis que puede ser falsada puede convertirse en un trabajo totalmente estéril y desilusionante.

6) *Perseverancia*. La ausencia de perseverancia sólo conduce al fracaso. El trabajo del investigador es duro. Muchas veces puede resultar decepcionante, desilusionante. "…He perdido varios meses en el laboratorio para nada…/ …no tengo resultados claros y llevo ya un año de trabajo…". Frases como estas pueden ser familiares entre nuestros doctorandos. Ser perseverante, sin llegar a ser obstinado, es esencial para avanzar. Cuidado con los atajos. Si algo sale mal es preciso detenerse y estudiar las causas antes de repetirlo. Y repetirlo desde el principio si es necesario. La perseverancia, la tenacidad, son la clave de un posible éxito. Abandonar no conduce a nada. No hay reglas para saber si hemos elegido un buen camino para llegar a la verdad de algo. Si hemos elegido la metodología correcta. No hay reglas para eso. La Ciencia es una aventura, pero una aventura fascinante. En el camino nos encontraremos con multitud de contratiempos, con pesadas tardes de estudio, con larguísimos días sin concentración. Con etapas de pérdida de interés, y todo tipo de obstáculos e infortunios. La clave está en seguir, perseverar. Pero no olvidemos la esencia de la Ciencia como una actividad hecha por nuestra mente, no por ordenadores ni complejos equipos de investigación. Las decisiones finales están en nuestro cerebro. Esto obliga a tener una mente ágil y despejada, dispuesta y entrenada para una actividad intensa, en la que combinamos y procesamos la información recibida de la observación y del estudio con la complejidad del problema que queremos resolver. Y esta actividad mental no está, ni debe estar sujeta a horarios de trabajo. Por eso, perseverar en la Ciencia implica dedicar toda nuestra actividad a ella. Por eso se dice que la Ciencia es una forma de Cultura, una forma de vida, como el Arte o la Religión. El joven investigador que durante el período de la Tesis Doctoral, por ejemplo, es capaz de desconectar de su trabajo y dedicar períodos de días o semanas a otras actividades, es poco probable que consiga hacer un trabajo relevante o una

aportación significativa a la Ciencia. Si alguien necesita de esa desconexión es que algo va mal o que ha elegido un camino profesional equivocado. Tiemblo cuando un estudiante de doctorado me dice que se toma un verano de vacaciones. El concepto de "vacaciones" no debe existir en la mente de un investigador, pues se supone que tampoco existe el concepto de "trabajo" como actividad de supervivencia, para el cual un período vacacional es totalmente necesario.

7) *Escribir, Comunicar*. Escribir es el ejercicio intelectual más complejo de todos los que puede hacer un científico, sea cual sea la rama del conocimiento en la que se desarrolle su labor de investigador. Nadie nos puede enseñar a escribir. A escribir se aprende leyendo. El lenguaje es esencial en nuestro desarrollo cognitivo y en la asimilación de observaciones o hechos teóricos en los que se basa la Ciencia. El lenguaje es parte esencial de la Ciencia, no importa en que idioma pensemos ni en qué idioma escribamos. En cualquier caso siempre existirá un lenguaje propio que hay que asimilar y manejar con soltura. Antes hice algunas reflexiones de cómo se concibe un artículo científico y cómo de complejo es el proceso de revisión y publicación en las revistas especializadas. A pesar de existir multitud de fallos en el sistema de revisiones y de los múltiples e impredecibles avatares a los que se somete el investigador cuando quiere ver su trabajo publicado, una cosa es segura: debemos publicar los resultados en las revistas internacionales especializadas. No hay alternativa. No hacemos Ciencia si esta no se pone en conocimiento de la comunidad científica internacional. Posiblemente es en esta faceta del trabajo de un investigador, la de escribir, en la que más hay que aplicar todo lo dicho sobre la perseverancia en el punto anterior.

Puedo dar algunos consejos prácticos para escribir buenos artículos científicos. Pero existen varios manuales de "Cómo hacer…" que cualquiera puede consultar. Lo frustrante de estos manuales es que resultan completamente inútiles, imposibles de llevar a la práctica. Básicamente se podría decir que si se estudia un proble-

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

ma interesante que preocupa a la comunidad internacional y se dispone de medios para abordarlo aunque sea de forma parcial, es casi seguro que podremos escribir buenos artículos científicos aunque no aportemos soluciones al problema. Esta forma de proceder de los sistemas de publicaciones comerciales es bastante común. Importa más el problema que las soluciones. El cambio climático es un gran problema para el futuro de la humanidad. Pero se ha publicado mucho más sobre si el problema es real o no que sobre posibles soluciones e implicaciones. La Ciencia no sólo se ocupa de solucionar problemas, también se ocupa de identificarlos como tales.

Un consejo esencial para escribir un buen artículo científico es plantear el problema que se quiere abordar de forma clara. Este paso es esencial y tiene mucho que ver con los criterios aplicados para reconocer el problema antes de empezar a estudiarlo. El inconveniente surge cuando los resultados de la investigación no son concluyentes y para producir un artículo científico con esos datos nos vemos obligados a "inventar" un problema. Al final estos datos no concluyentes acaban llenando páginas y bites de memoria en publicaciones electrónicas en revistas "escoba" dedicadas a esta Ciencia de *segunda división* en la que nos limitamos a decir que nuestros datos contribuyen a conocer más a fondo un problema, ya existente, pero no resuelto. La editorial hace su negocio incrementando el número de artículos y el científico cumple con el compromiso contraído con la administración que ha financiado la investigación de publicar los resultados en revistas internacionales "especializadas", a la vez que el investigador nutre su cv de más y más publicaciones para competir por un puesto de trabajo en un mercado complejo en el que las plazas escasean. Yo no puedo aconsejar a los jóvenes investigadores que publiquen menos artículos y en las mejores revistas. El consejo es publicar mucho y bueno. Pero una preocupación excesiva por publicar artículos puede desviarnos la atención sobre el trabajo de investigación del que proceden tales artículos. La situación internacional es altamente competitiva. Y eso no es malo para la Ciencia.

8) *Aceptar la crítica*. Esto nos ayudará a avanzar. El investigador puede llegar a ser obsesivo y dejar de percibir otros problemas colaterales en su empeño de encontrar el camino a la solución de un problema. Desde fuera, otro investigador puede ver en nuestro trabajo grandes defectos que nosotros mismos no vemos. Debemos someter nuestro trabajo a la visión crítica de otros. Escuchar otros puntos de vista, opiniones y comentarios. Y aceptar la crítica. Este proceso es intrínseco a la revisión de artículos científicos por el sistema de "pares" (peer review). Pero la crítica es mucho más interesante cuando surge en medio del diálogo. Para eso están los seminarios internos de los equipos de investigación. Son de gran utilidad para descubrir puntos oscuros de nuestro trabajo. Nos ayudarán de forma esencial a redactar los artículos y a reconducir el trabajo de indagación si fuese necesario.

9) *Corregir los errores*. Corregir un error implica volver al principio en muchos casos y repetir un proceso largo y costoso. Pero los errores son resultados de gran importancia en el trabajo de investigación de un científico. El error no debe desanimar al investigador a seguir en su empeño de resolver el problema. El valor del error es muy relativo dependiendo del ámbito donde se ha producido. Podemos distinguir tres tipos de errores en el proceso de investigación de un problema científico. Cuando se trata de investigar hechos ya ocurridos, el proceso y sus errores no difieren mucho de la investigación de un asesinato. No es extraño que en manuales de Ciencias se ilustren los textos con la famosa frase de Conan Doyle, creador del personaje de Sherlock Holmes, que dice así: "*cuando se descarta lo imposible, lo que queda aunque parezca increíble, es la verdad*". Descartar lo imposible es en Ciencia un paso esencial para llegar a la verdad. Los tres tipos de errores a los que me refiero son: (1) Error en el planteamiento del problema. (2) Error en los cálculos y los datos. 3) Error en la interpretación de los datos. Es decir, el sospechoso puede ser un individuo equivocado, la hora de la muerte puede estar mal estimada y las causas de la muerte no ser el veneno encontrado.

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

En Ciencia el error de planteamiento significa que hemos usado una hipótesis de trabajo equivocada. Esto es un riesgo que se asume en cualquier proceso de investigación. Pues por algo hay que empezar. La hipótesis de trabajo es esencial para desplegar la metodología a aplicar y la toma de datos. Es importante procurar que los datos sean objetivos ya que pueden ser usados en el contexto de otra hipótesis, aunque complementados con nuevos datos. Se dice que "rectificar es de sabios" y esto es absolutamente necesario para poder avanzar. Descartar una hipótesis de trabajo es un paso esencial para llegar a la verdad.

El segundo tipo de error se refiere a los datos y cálculos. Detectar errores en la toma de datos y en los cálculos es algo que podemos considerar habitual. Corregir estos errores es simple. El problema es identificarlos y no dejarlos arrastrar hasta el proceso final produciendo resultados o modelos equivocados.

El error en la interpretación de los datos puede deberse a diversas causas. Una causa frecuente es la falta de información básica sobre aspectos teóricos del problema que se quiere resolver. Por muchos datos precisos que se tengan de la temperatura del aire en miles de puntos de una región, será difícil hacer una predicción meteorológica si no se conocen los modelos de circulación atmosférica y las propiedades termodinámicas del aire.

10) *Administrar el éxito y disfrutarlo*. El éxito es una de las motivaciones del investigador. Llegar a donde otros no han llegado en la solución de un problema, recibir el reconocimiento al trabajo por otros colegas, ser invitado a dar una conferencia, etc., son claves del éxito. Esto debe motivar al investigador a continuar con el trabajo realizado y mejorarlo, o bien a abordar nuevos problemas. Pero el éxito debe afianzarnos en los valores que hicieron posible el trabajo inicial: la honestidad, la humildad, la perseverancia, etc. El éxito debe servir para fomentar esos valores. La transmisión de valores en las aulas es una de las grandes tareas del científico.

Aljaraque, Huelva | *Septiembre de 2016*

uhu.es PUBLICACIONES MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR

Se acabó de editar esta Lección Inaugural del Curso
Académico 2016-2017 con el título *"Reflexiones
sobre la ciencia y un decálogo para
jóvenes investigadores"* el día
16 de septiembre, siendo
la festividad de
San Rogelio

uhu.es PUBLICACIONES
MATERIAL PROTEGIDO DERECHOS DE AUTOR