

## **“Tecnología y progreso científico. Las ideas de F. J. Dyson sobre política tecnológica”**

**José Luis González Quirós, Instituto de Filosofía del CSIC**

**Manuel González Villa, Facultad de Matemáticas, Universidad Complutense**

Publicado como “Tecnología y progreso científico. Las ideas de F. J. Dyson sobre política tecnológica”, en colaboración con Manuel González Villa, en A. Andreu, J. Echeverría, C. Roldán, Eds. *Actas del Congreso internacional “Ciencia, tecnología y bien común: la actualidad de Leibniz*, Universidad Politécnica de Valencia, pp. 447-453, ISBN 84-9705-205-6, Valencia 2002.

Si hacemos caso a Ortega<sup>1</sup>, reconoceremos que “tal vez el enigma más profundo de la filosofía se encuentre tras la relación entre posibilidad y realidad, como nos ha enseñado el inmortal Leibniz”. Las verdades de razón nos informan sobre lo imposible, marcan un límite que implica a lo real; las verdades de hecho nos informan sobre lo que es y nos permiten atisbar lo que puede ser: la experiencia nos abre a un repertorio de posibilidades que, aunque amparadas por la razón, deben ser desveladas inquiriendo paso a paso sobre su posibilidad y confirmando su realidad efectiva mediante un camino que casi siempre es tortuoso y, muchas veces, se nos aparece sin salida. La ciencia y la tecnología caminan, cuando aciertan, por el sendero de lo posible, avanzan solamente si es posible hacerlo y convierten en decisiva la adopción de un cierto método. En vista de ello, podría definirse la política tecnológica como el conjunto de decisiones acerca de qué desarrollos son en principio posibles y acerca del costo y de las enseñanzas que estamos dispuestos a asumir y a obtener apostando por ellos.

A este respecto, la posición que defiende Freeman J. Dyson recomienda una estrategia de formulación y evaluación de las tecnologías que prima la adopción de proyectos de investigación de corta duración, concretos y modestos, que se pueden abandonar y reformular con rapidez, capaces de ser, a su manera, más eficientes e interesantes para aumentar nuestro conocimiento de la realidad que los grandiosos y aparatosos planes que excitan la imaginación del público y la ambición de los políticos. La tecnología nos permite la realización de posibilidades que de otro modo quedarían en el limbo de lo nunca sido y, si esa apuesta es adecuada al caso, nos permite un aumento de la eficacia del saber y del bienestar público que de él puede y debiera derivarse.

El gran impacto que, en todos los terrenos, está teniendo el desarrollo del llamado proyecto Genoma Humano justifica sobradamente que se llame la atención sobre las ideas de Freeman J. Dyson en torno a la relación entre tecnología y progreso científico. Dyson acertó a vaticinar, en muy buena medida, y hace ya unos años, algunas de las cosas que ahora parecen estar sucediendo en el entorno del empeño genómico<sup>2</sup>, y ha

<sup>1</sup>José Ortega y Gasset, “El mito del hombre allende la técnica”, Ed. De M. Martín Serrano, Teorema, vol. XVII,3, 1998, p. 3, (accesible en [www.oei.es/buscador.htm](http://www.oei.es/buscador.htm) )

<sup>2</sup> En particular, la necesidad de mejorar mucho la calidad del software empleado (lo que parece el punto fuerte de Craig Venter), la conveniencia de sustituir métodos de *química húmeda* por procedimientos más físicos (el *secuenciador de ADN de mesa*) y su predicción de que el proyecto no sería sostenible en la forma en que se planteó. “En mi opinión, los administradores del Proyecto Genoma Humano no acertaron al

hecho diversas sugerencias en torno a las enseñanzas que podríamos sacar del desarrollo en unas investigaciones que se han vuelto muy peculiarmente polémicas aún antes de que se hiciesen públicos los rifirrafes y la rivalidad entre el llamado consorcio público del *Proyecto Genoma* y *Celera Genomics*, la empresa que, con Craig Venter a la cabeza, parece hermanar la rentabilidad con la rapidez en los plazos para conseguir objetivos de algún interés práctico inmediato.

Dyson no ha pretendido, en ningún caso, pasar por un experto en biología molecular, de manera que el valor de los puntos de vista del físico angloamericano deriva, en todo caso, de una meditación, que en ningún caso es mero asunto de especialistas, sobre las intrincadas relaciones entre financiación, desarrollo tecnológico y avances del saber. Se trata, por ello mismo, de ideas que pueden tener una repercusión bastante amplia porque contribuyen a dibujar una relación muy específica y cuidadosa entre el desarrollo de las tecnologías y la capacidad de innovación y éxito de la investigación científica. Todo ello hace que (como justamente subrayó Arthur C. Clarke<sup>3</sup>) las ideas de Dyson constituyan una meditación muy adecuada para responsables de la financiación del desarrollo tecnológico.

F.J. Dyson es uno de los físicos cuya obra no estrictamente técnica ha obtenido más audiencia en estos últimos años. Profesor en Princeton y colaborador del equipo con el que Feynmann obtuvo el Premio Nobel, se formó originalmente en Inglaterra y ha defendido en muchas ocasiones un ideal de ciencia muy típicamente empirista al modo inglés, un entendimiento más manchesteriano que ateniense, más cercano al trabajo artesanal y al estudio de lo concreto que a la especulación y los programas de investigación un tanto pretenciosos. Su propia tradición familiar se origina en unos artesanos caldereros a los que él ha rendido homenaje y alcanza al fenómeno Internet, universo en el que su hija Esther Dyson es una de las figuras más prominentes y conocidas del gran público.

---

decidir que, con los métodos existentes, la secuenciación de todo el genoma humano concluiría en el año 2005. La decisión fue forzada por la política y no por las necesidades de la ciencia y de la medicina. Puesto que el proyecto se había emprendido con el objetivo declarado de terminar la secuenciación en quince años, acabarlo a tiempo se convirtió en un imperativo político. Dado que los métodos de secuenciación existentes son lentos y costosos, la decisión de terminarla para el año 2005 exige que la parte del león de los recursos disponibles se dedique a la producción en masa de secuencias. Se reducirán los fondos para la investigación dedicada a buscar nuevos métodos de secuenciación más rápidos y más baratos. El proyecto ya no apoyará el desarrollo de instrumentos de secuenciación que no puedan estar listos para funcionar a gran escala antes de 2005. Había sido mejor para la ciencia que los administradores hubieran decidido seguir usando la tecnología existente para completar la secuenciación de la parte del genoma científicamente importante y mientras tanto aumentar los esfuerzos para encontrar métodos mejores de para secuenciar el resto. De este modo, la parte del proyecto con aplicaciones médicas se habría terminado para el año 2005 a un coste menor y el dinero ahorrado se habría podido invertir en instrumentos para secuenciar más económicamente en los años siguientes al 2005. En la ciencia, alterar los objetivos de un programa a la luz de los nuevos descubrimientos es señal de sabiduría. En política, es un signo de debilidad. Por desgracia, la política prevaleció sobre la ciencia” ( F. J. Dyson, *El Sol, el Genoma e Internet*, Debate, Madrid 2000, p. 55-56).

<sup>3</sup> “Like his earlier books, *Disturbing the Universe* and *Infinite in All Directions, Imagined Worlds* is one of those mind-stretching books that any intelligent reader can enjoy. I particularly recommend it to all politicians and civil servants who have any dealings with technology –and in these days, who doesn’t not?” (A. C. Clarke, *Greetings, Carbon-Based Bipeds! Collected Essays 1934-1998*, St. Martin’s Press. 1999, p. 496).

Estudiante con Hardy, puede verse en Dyson una preocupación por desmentir el desdén del matemático inglés por lo práctico<sup>4</sup> (en ese caso, con lo que tenía que ver con la guerra) y por conseguir que la tecnología se asocie a un beneficio humano y no se convierta en una mera cadena de desastres y complicaciones. En este punto Dyson se diferencia un poco de la praxis americana más común que, tal como estableció Vannebar Bush, considera que la tecnología es un saber aplicado del que se han de derivar beneficios sociales y a cuya financiación deben contribuir, precisamente por esa razón benefactora, los poderes públicos. En primer lugar, Dyson no asigna a la financiación pública ningún papel relevante; para él, el estilo de ciencia *tolstoyano* es muy preferible, entre otras razones, porque se zafa mejor de la dependencia de una financiación de la investigación que tenderá a ser cada vez más inestable. Además, uno de los mayores males que puede padecer una carrera tecnológica a juicio de Dyson es que no se le permita fracasar. Uno de los motivos por los que se puede llegar al caso de que a una tecnología no se la permita fracasar es que se halla invertido demasiado dinero público y con él, el orgullo de un país.

El problema reside en el qué se financia, en cómo se determina una estrategia creativa y viable para obtener un bien público, y en cómo se substraen esa cadena de favores al poderoso influjo de los intereses a corto plazo, del mercado, y de las presiones de la comunicación y de la fama. En la medida en que la financiación es pública comienza una carrera de los gestores para impresionar a los poderes políticos con sus ambiciones, con sus logros y con su tirón popular. Un ejemplo particularmente claro de todo ello es el viaje del ex - astronauta y senador John Glenn en la lanzadera espacial. En esa ocasión Story Musgrave<sup>5</sup>, un experto astronauta entonces recientemente retirado por la NASA, puso de manifiesto cómo el motivo aducido por los dirigentes espaciales (la experimentación de los efectos del vuelo en personas de edad avanzada) ocultaba una operación de relaciones públicas. No era la primera vez que la NASA, como cualquier corporación, se había dejado llevar por intereses enteramente ajenos a la investigación: el caso tal vez más resonante fue su intento de ocultar el informe de Richard Feynman, el maestro de Dyson, que a propósito de las causas que dieron lugar a la espectacular explosión de la nave Challenger en la primera fase del vuelo, concluía con una severa amonestación: “Para una tecnología exitosa, la realidad debe tener preferencia sobre las relaciones públicas, pues la naturaleza no puede ser engañada”<sup>6</sup>

Como Dyson apunta, “Lo que describo es una posible trayectoria, entre los millones de ellas que el futuro puede tomar. La probabilidad de que las cosas ocurran del modo que yo las describo es muy pequeña. Lo que me interesa es demostrar que existe una posible

---

<sup>4</sup> Dice Dyson: “Cuando diseñaba máquinas me acordaba muchas veces de la famosa declaración de Hardy en aquel libro, con la que expresaba en pocas y amargas palabras su aborrecimiento por la ciencia aplicada. Se dice que una ciencia es útil cuando sus avances tienden a acentuar las desigualdades en la distribución de la riqueza, o cuando favorecen más directamente a la destrucción de la vida humana”. Yo intentaba demostrar que Hardy estaba equivocado, que la ciencia puede ser útil sin ser dañina. Al elegir problemas en los que trabajar siempre tenía presente la advertencia de Hardy. En muchos casos, su declaración es completamente cierta, y todos los científicos aplicados deberían tomarse muy en serio su advertencia” (*El Sol ...* p. 9).

<sup>5</sup> Puede verse información muy completa acerca del caso y de las críticas de Musgrave en Space Future Discusión, [www.spacefuture.com/lists/sf-discuss/november-1998/msg0019.html](http://www.spacefuture.com/lists/sf-discuss/november-1998/msg0019.html). A propósito de este asunto puede verse J. L. González Quirós, “Musgrave”, *Gaceta de los negocios*, 9-XI-1998.

<sup>6</sup> Richard P. Feynman, *El placer de descubrir*, Crítica, Barcelona, 2000. p. 137.

vía a un futuro mejor<sup>7</sup>”. Dyson rechaza la opinión tan generalizada<sup>8</sup> tras la II Guerra Mundial y la construcción de la bomba atómica de que los científicos no son responsables de los problemas éticos y morales que se originan de los avances de la ciencia y tecnología. Por el contrario Dyson afirma que: “los científicos y los empresarios han de hacer valer su libertad para promover nuevas tecnologías que sean más amables que las viejas con las personas y los países pobres. Las normas éticas de los científicos tienen que cambiar al haber cambiado el alcance del bien y el mal que la ciencia provoca<sup>9</sup>”. Dyson mantiene que no solo la ética impulsa la ciencia y la tecnología como nos enseñó Weber, sino que hay ocasiones en que es la ciencia la que promueve avances éticos. Por ello Dyson se pregunta: “¿Cómo podemos hacer que la ética influya en las tecnologías de manera que las consecuencias malas se reduzcan y las buenas aumenten al máximo?<sup>10</sup>” A lo que responde “Mi argumento es que la cadena de causación, de la ética a la tecnología y de la tecnología a la ética, deja abierta una posibilidad de lograr que el progreso tecnológico y el progreso ético vayan de la mano. Las nuevas tecnologías nos ofrecen oportunidades reales de convertir el mundo en un sitio mejor<sup>11</sup>”.

Dyson ha unido en el título de una de sus obras lo que considera que son las tres grandes avenidas por las que debería circular un futuro progreso científico y tecnológico capaz de proporcionar efectos sociales claramente positivos: el Sol, el Genoma e Internet.

El aprovechamiento del Sol podría ser el paradigma de una explotación prácticamente inagotable, la fuente de energía más poderosa y abundante que podemos tener a nuestra disposición si sabemos usarla: está en todas partes, mantiene unos ritmos bastante uniformes y previsibles de actividad; el problema está en que no hemos hecho un uso eficiente de esas posibilidades porque las tecnologías que hemos desarrollado son caras, poco eficaces y muy dependientes de otros suministros y economías. Habría que encontrar formas bastante autónomas de aprovechamiento que ahora no tenemos.

El genoma es una llave de excelente calidad para poder torcer el curso de la producción de bienes naturales a nuestro favor. Dyson no entiende la razón por la cual no se ha empezado con el conocimiento del genoma de los vegetales en lugar de abordar esa empresa gigantesca y tal vez un tanto absurda de dominar el genoma humano. Conocer el genoma de los vegetales permitiría una mejora prácticamente infinita de nuestros recursos agrícolas mediante la creación de vegetales adecuados a nuestras necesidades energéticas y de alimentación sin que se nos planteen, además, problemas éticos con los

---

<sup>7</sup> *El Sol...* p. 15.

<sup>8</sup> Posición que queda muy bien expuesta en las palabras de John von Neumann para un informativo de la NBC del 17 de julio de 1955 en el que ante la pizarra de su laboratorio decía: “Lo que ustedes pueden ver aquí (en la pizarra) es la descripción en lenguaje matemático de la energía de una reacción nuclear. Es un hecho comprobable, y también un hecho con implicaciones políticas. Existe una gran preocupación entre la gente debido al poder destructivo que poseen las armas nucleares; hay quien piensa que hubiera sido mejor que nunca se inventarán. Sin embargo, la ciencia y la tecnología deben ser neutrales..” Más tarde añadía “No le concierne al científico decidir la manera de usar o controlar lo que ha desarrollado. Esta cuestión es asunto de todo el pueblo y de sus dirigentes políticos”. Vid. William Poundstone, *El dilema del prisionero. John Von Neumann, la teoría de juegos y la bomba*, Alianza, Madrid 1995, p. 279.

<sup>9</sup> F. J. Dyson, *Mundos del Futuro*, Crítica, Barcelona 1998, p. 181.

<sup>10</sup> *El Sol, ...* p. 90.

<sup>11</sup> *Ibid.*

que es muy difícil encararse. Esta investigación podría contribuir, además, a perfeccionar las fórmulas de aprovechamiento de la energía solar.

Internet, por último, representa la posibilidad de un sistema de comunicación prácticamente universal, idealmente barato y capaz de distribuir los saberes y las técnicas sin las limitaciones de los sistemas tradicionales. En los tres casos y, aún más, en la confluencia histórica de los tres que ahora podemos aprovechar, encuentra Dyson motivos de esperanza y de optimismo.

La cuestión es, entonces, ¿por qué razones no acertamos a hacerlo bien? Dejando al margen cuestiones políticas muy relevantes (pero que, en cualquier caso, nos enseñan que la solución no es meramente política) Dyson aventura sus ideas como fórmulas que permitirían iniciar una deriva más humanística en la marcha de la revolución tecnológica a la que estamos asistiendo.

Para Dyson la ciencia contemporánea se constituye en la convergencia de dos tradiciones bastante distintas, la que proviene de la tradición teórica del pensamiento filosófico y aquella otra tradición que se origina en la constitución de las artes y oficios de la Europa medieval que bebe, a su vez, de tradiciones más antiguas. Esta última tradición ha sido menos advertida por la historia de la ciencia que se ha centrado más en los paradigmas teóricos que en el avance efectivo de los conocimientos. Además, a principios del siglo pasado la naciente revolución económica e industrial casi termina por completo con la vida de los artesanos. Es el momento de las grandes teorías y tiende a predominar la sensación de que ya se sabe todo. Sin embargo, el espíritu de curiosidad de los experimentadores y de los nuevos artesanos (de quienes desarrollan nuevos instrumentos y quienes cultivan los márgenes del saber bien establecido) han ido llevando al saber hacia nuevas preguntas, a renovar el horizonte de la ciencia. Para Dyson los ejemplos más claros de esa renovación son los desarrollos de la industria del software y las nuevas biotecnologías<sup>12</sup>.

Inspirado en esa distinción de orígenes, Dyson establece una separación entre dos maneras de programar las tareas de la ciencia, lo que él llama el estilo *napoleónico* (cuyo paradigma pudiera ser el de los grandes ciclotrones destinados a descubrir cada vez menos del creciente e inmenso número de partículas y subpartículas a cambio de unas inversiones económicas cada vez mayores) y el modelo al que ha llamado *tolstoyano*, caracterizado por una menor planificación, mayor espontaneidad y autonomía de los investigadores individuales y mayor capacidad de adaptación al fracaso (que, en el fondo, es siempre inevitable). El modelo napoleónico lleva, por el contrario, frecuentemente, a disimular el fracaso intensificando los trabajos y burocratizando la gestión (la llamada carrera espacial ha tenido mucho de napoleónico<sup>13</sup>).

---

<sup>12</sup> “Debido a la enorme variedad de aplicaciones especializadas siempre habrá sitio para individuos que creen programas basados en sus conocimientos particulares. Siempre habrá nichos del mercado que mantengan vivas a las pequeñas empresas de software. El oficio de programador nunca quedará obsoleto. Y el oficio de utilizar creativamente el software está floreciendo aún más que el oficio de crearlo. La disponibilidad de programas y la habilidad para utilizarlos ha dado origen a toda una constelación de nuevas industrias artesanales, desde la edición personal hasta el diseño y fabricación asistidos por ordenador”. *El Sol...* pp. 29-30.

<sup>13</sup> “Por resultar inmantenible el programa Apolo detuvo el avance de la ciencia espacial durante veinte años”, *El Sol ...* p. 59.

En paralelo con esa distinción Dyson subraya la importancia de lo que llama las *revoluciones instrumentales*<sup>14</sup> frente a las *revoluciones conceptuales* a lo Kuhn. Para Dyson éstas (y no se recata en reconocer a grandes genios como protagonistas de ellas, por ejemplo: Copérnico, Newton, Darwin, Maxwell, Freud y Einstein) explican viejas dificultades en términos nuevos mientras que las instrumentales nos descubren nuevas cosas que necesitan explicación. Por fortuna para la ciencia, las revoluciones instrumentales son más frecuentes que las conceptuales.

Dyson es bastante popperiano<sup>15</sup> a la hora de evaluar el interés de los distintos proyectos de investigación y cree que el error fundamental que se puede cometer en la política científica y tecnológica es empeñarse en evitar el fracaso de los distintos equipos. Debe de haber una lucha darwiniana entre las tecnologías y los métodos, entre los distintos programas de investigación. Cuando la tecnología es promovida y protegida por la ideología el fracaso es un mal absoluto, algo que se ha de evitar a cualquier precio. Dyson cree, por el contrario, que sólo el fracaso nos enseña lo que no sabemos.

Tal vez el ejemplo más brillante de la visión dysoniana sea el que sugiere al comparar el desarrollo de la aviación con el destino final de los dirigibles<sup>16</sup>. Los aviones que ahora conocemos y usamos comenzaron a ser posibles a partir del empeño de unos chalados aburridos de fabricar bicicletas y no de la intención imperial de construir naves flotantes que pudieran atravesar imperios. Comenzaron poco a poco, de una manera asaz poco ilustre ruidosa y creíble. Pero su costo en vidas y en dinero fue mucho menor que el que supuso la forzada navegación de aquellos gigantes de los cielos y, al final, han dado lugar a máquinas que efectivamente vuelan y lo hacen infinitamente mejor que cualquier globo.

En general, el problema es que el progreso solo se hace paso a paso y que no se puede imponer un ritmo a los descubrimientos. Los hermanos Wright querían divertirse y por eso pudieron encontrar un camino hacia una tecnología muy eficaz y exitosa, pero si hubieran comenzado a pensar en términos de las grandes naves no hubieran sido capaces de dar el menor salto. Se puede establecer un cierto paralelismo entre el ejemplo de Dyson y lo que ha pasado con los desarrollos de la inteligencia artificial: el pretendido diseño de la *máquina superinteligente* de Minsky, estaba basado en un error, casi en una cadena de despropósitos fruto de la obcecación: era necesariamente una idea que conduciría al fracaso, mientras que los desarrollos de máquinas que, poco a poco, *aprenden* (por decirlo de algún modo) a hacer tareas crecientemente complejas está conduciendo, evidentemente, a la obtención de prototipos y desarrollos de clara utilidad pero de menor pretenciosidad teórica.

---

<sup>14</sup> Dyson ha encontrado a un paladín de la ciencia y las revoluciones instrumentales en Peter Galison (cuya obra, que Dyson contraponen al influjo de las tesis de Kuhn) presenta la ciencia desde el punto de vista del fabricante de instrumentos) quien publicó *Imagen y lógica*, el mismo año en que apareció la broma de Alan Sokal en *Social Text* lo que para Dyson supuso “un correctivo aún más severo a la representación de la ciencia como una lucha política por el poder” (*El Sol ...* p. 37).

<sup>15</sup> “Lo primero que hace un buen científico cuando se encuentra con un descubrimiento importante es intentar demostrar que es falso”, *El Sol ...* p. 45.

<sup>16</sup> “El aeroplano o avión se originó a partir de los sueños de la aventura personal. La aeronave o dirigible surgió de los sueños del imperio”, *Mundos...* p. 22.

Dyson suministra en sus lecciones y libros numerosos ejemplos del mismo tipo de análisis (el desarrollo de la energía nuclear, las *charcas de hielo*, el *Neptune Orbiter*, etc.) de los que cabe deducir la pertinencia de una estrategia de promoción de la tecnología muy pegada al terreno. Dyson pone mucho énfasis en que las investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos deberían vincularse a un período de tiempo en el que sea razonable completarlas. Es de gran importancia respetar este criterio y el ritmo de trabajo a que obliga. De este modo, el fracaso supondrá tan sólo un revés, pero no el fin de la investigación en esa dirección y el éxito servirá para afrontar el comienzo de nuevas iniciativas en un campo en el que se pueden precisar los objetivos cada vez más y mejor.

A la hora de analizar el desarrollo del *Proyecto Genoma Humano*, Dyson lo compara con el *Programa Sloan* de inspección digital del cielo. Este último aprovecha a fondo las tecnologías disponibles en exploración del universo (los telescopios ópticos, la electrónica, la programación) y emplea en su avance las energías y el tiempo tanto de los astrónomos profesionales como de una legión de aficionados dispuestos a detectar y describir casi cualquier cosa que se ponga a tiro en su capacidad de observación.

Frente a este panorama tan participativo y plural, el Proyecto Genoma parece haberse inspirado en un concepto plenamente *napoleónico*: un programa de largo plazo con unas previsiones bastante equivocadas, con unos gastos realmente tremendos (por encima del medio billón de dólares) y con unas perspectivas de seguimiento poco claras. El Mapa espacial se ha realizado cuando ya se tenían las herramientas adecuadas; al contrario que en el proyecto Genoma Humano. Ambos proyectos son, en el fondo, bastante mecánicos: las diferencias de tiempo e inversión que hay entre ellos se deben a esa razón instrumental. Dyson sugiere que el proyecto público podría cancelarse tras completar el mapa y que la que se ha calificado como gran aventura del autoconocimiento del ser humano pudiera quedar en una recogida de información, no excesivamente bien estructurada, que no sepamos interpretar ni aprovechar bien. Dyson sostiene que la gran diferencia cultural entre físicos y biólogos estriba en que aquellos construyen sus propios instrumentos para investigar mientras que, por el contrario, los biólogos utilizan instrumentos ya existentes.

El énfasis de Dyson en que la ciencia se encuentra, al menos, tan cerca de la calderería como de la filosofía<sup>17</sup>, le lleva a considerar que buena parte de los grandes descubrimientos del pasado siglo se debe al desarrollo de nuevos instrumentos (concepto que aplica incluso a los virus que, antes que otra cosa, le parecen instrumentos<sup>18</sup> para acrecentar el conocimiento biológico). Así, por ejemplo, ve en el trabajo de Randall la clave de tres grandes avances: los rayos X y la cristalografía para descubrir la estructura del ADN, las radiaciones de onda corta para la astronomía y la espectroscopia de microondas para un mejor conocimiento de la estructura atómica.

Es difícil acertar a poner en la práctica propuestas tan atractivas como las de Dyson, sobre todo si se tiene en cuenta la tendencia, por otra parte muy razonable desde varios

---

<sup>17</sup> “Para mí, la ciencia es la práctica de un oficio especializado, más próximo a la fabricación de calderas que a la filosofía”, *El Sol ...* p. 33.

<sup>18</sup> “El virus es un instrumento, no una teoría. y es un instrumento para la práctica de la medicina y para el avance de la ciencia” *El Sol...* p. 40.

puntos de vista, a organizar la investigación en grandes centros que consigan economías de escala y alcancen la *masa crítica* suficiente como para abordar tareas de verdadera relevancia. Nos parece que la reflexión sobre las sugerencias de Dyson puede resultar especialmente útil en un país como España, lugar en el que se puede caer fácilmente en una serie de errores en materia de política tecnológica: la burocratización, la atomización, y la politización, entre otras razones, porque el papel que, hasta la fecha, ha alcanzado a asumir la iniciativa privada es muy poco más que episódico y testimonial.