



*LAS IDEAS Y HECHOS CLAVES QUE ME HAN
HECHO EVOLUCIONAR CIENTÍFICAMENTE*

*Nada es permanente salvo el cambio
(Heráclito de Éfeso)*

Hace ya muchos años, siendo alumno del Curso de Orientación Universitaria [1971-1972] en el Colegio Cardenal Xavierre (Zaragoza) y en parte debido a la actividad docente del profesor de Física D. Tomás Pollán Santamaría, hizo que se despertase en mi la curiosidad por conocer lo que el ser humano había descubierto sobre las Fuerzas de la Naturaleza, causantes de las puestas de sol, las olas del mar, el curso de las estrellas, etc.... Por ello orienté mi camino hacia la Facultad de Ciencias, Sección de Física de la Universidad de Zaragoza.



*Cursando segundo [1973-1974] y prácticamente cuando apenas había iniciado mi andadura por el mundo de la Ciencia, recibí el impacto de una reflexión realizada por uno de mis autores preferidos en aquella época, en uno de sus libros más inspirados. *The Feynman Lectures on Physics* (R. P. Feynman, Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1971).*

Decía una vez un poeta: "El universo entero está en un vaso de vino". Probablemente nunca sabremos lo que quería decir, pues los poetas no escriben para ser comprendidos. Pero es cierto que si miramos un vaso de vino lo suficientemente cerca, vemos el universo entero.



Aquí están las cosas de la Física: el líquido que se arremolina y se evapora dependiendo del viento y del tiempo, las reflexiones de la luz en el vidrio, y los átomos agregados por nuestra imaginación.

También están las cosas de la Geología, Geofísica, Astronomía y Astrofísica. El vidrio es un destilado de las rocas terrestres y en su composición vemos los secretos de la tierra, de la edad del universo y de la evolución de las estrellas.

Y como no, las cosas de la Química y de la Biología. ¿Qué extraño arreglo de elementos químicos hay en el vino? ¿Como llegaron a ser? Están los fermentos, las enzimas, los sustratos y los

productos. Allí en el vino se encuentra la gran generalización: toda vida es fermentación. Nadie puede descubrir la química del vino sin descubrir, como lo hizo Louis Pasteur, la causa de muchas enfermedades.

¡Cuán vívido es el vino tinto que imprime su existencia dentro del conocimiento de quien lo observa! ¡Si nuestras pequeñas mentes, por alguna conveniencia, dividen este vaso de vino, este Universo, en partes -Física, Biología, Geología, Astronomía, Psicología, etc.-, recuerden que la Naturaleza no lo sabe!



Por ello, reunamos todas las partes de nuevo sin olvidar en última instancia para qué sirve. Y dejemos que nos dé un placer final más: ¡bébanlo y olvidense de todo!

Desde ese momento mi curiosidad y el convencimiento de que no existen Ciencias compartimentadas sino Naturaleza me hicieron encontrar placer en el estudio de los problemas desde un punto de vista interdisciplinar.



Entre tanto, mis inclinaciones personales se dirigieron al estudio de las Ciencias de la Tierra, en particular al estudio de la rama de la Geofísica [1975-1976-1977].

El siguiente paso fue descubrir que lo que se denominan Leyes de la Naturaleza no son más que modelos, entendiendo por modelo una representación simplificada o abstracta de un objeto, de un sistema o de un proceso, que permite imaginar, explicar, calcular o predecir su comportamiento de forma más rápida y más eficaz que por la consideración directa del objeto, del sistema o del proceso en cuestión.

La finalidad de un modelo es diferente según los casos. Puede ser explicativo, es decir, ofrece una representación abstracta y sintética de una realidad compleja. O puede ser previsional, es decir, ofrece una herramienta de cálculo y de previsión que permite tomar decisiones o decidir sobre opciones.

Ahora bien, siempre el lenguaje de los modelos es matemático. Y lo curioso de la Física es que incluso para expresar las Leyes Fundamentales necesitamos Matemática. Cada una de nuestras leyes es una afirmación puramente matemática, expresada en unas matemáticas más bien complejas y abstrusas. ¿Por qué? En aquellos momentos no tenía la menor idea, con los años al menos me hice mi propia composición de lugar, aunque eso vendrá más adelante. Pero el hecho es que no se puede explicar honestamente la belleza de las Leyes de la Naturaleza de manera que la gente pueda realmente sentirla, si la gente no posee un conocimiento profundo de la Matemática. Lo siento, pero parece que es así.

La Matemática no es simplemente un lenguaje. Es un lenguaje más una lógica. Es un instrumento para razonar. Es de hecho una gran colección de resultados obtenidos por un cuidadoso proceso de pensar y razonar. Mediante las matemáticas es posible establecer una conexión entre una afirmación y otra.

Cuando en Física los problemas se vuelven complicados, a menudo se acude a los matemáticos, quienes pueden tener una línea argumental que se pueda seguir. Todo esto me hizo reflexionar en la importancia de la Matemática dentro del mundo de la Física.

Cursando cuarto curso [1975-1976] y por pura casualidad asistí a un seminario impartido por el incipiente Centro de Cálculo de la Universidad de Zaragoza sobre programación FORTRAN IV y manejo del computador remoto Univac 1100 del Ministerio de Educación y Ciencia. Esta experiencia me hizo descubrir el Computador y despertó en mí la afición por la Informática. De hecho en mi mundo universitario era una de esas personas a las que siempre se les asocia a un computador.

A la experiencia de cuarto curso se añade el hecho de la aparición al año siguiente de la asignatura de Cálculo Numérico en la licenciatura de Matemáticas, impartida por el Dr. C. Simó, en aquella época, Profesor Catedrático de Cálculo Numérico de la Universidad de Zaragoza. Asistí a ella como oyente simultaneándola con el quinto curso [1976-1977] de mi licenciatura.

Como resultado de este conjunto fortuito de situaciones, los modelos matemáticos de las leyes físicas, empezaron a presentar interés para mí, en la medida que ofrecen técnicas para simularlos numéricamente y permiten obtener resultados cuantitativos. En ese momento, el Análisis Numérico y las técnicas de Cálculo automático mediante computador adquieren para mí una importancia fundamental.

A todo ello se une el desarrollo continuado que la Informática ha sufrido tanto en abaratamiento como en potencia. Lo primero ha permitido acercarnos a una cantidad mayor de científicos al trabajo de simulación numérica, y lo segundo ha hecho retroceder de forma considerable el límite de complejidad de los modelos que es posible considerar.

Una vez finalizados mis estudios [1976-1977], jugaron un papel importante en mi vida profesional el Dr. J. I. Badal, en aquella época Profesor Adjunto interino de Geofísica en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, el Dr. A. Udías, Profesor Catedrático de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid y el Dr. J. M. Correas, Profesor Catedrático de Cálculo Numérico de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Zaragoza. Los dos primeros alimentan mi deseo de ser doctor en Ciencias Físicas trabajando en el campo de la propagación de ondas [1980-1984] y el tercero me sugirió la oportunidad de ser profesor ayudante en su departamento y cultivar mi interés por la Informática y el Cálculo Numérico.

A partir de Noviembre de 1980 y tras un concurso público, se inicia mi andadura universitaria en una de las partes de lo que posteriormente sería el Dpto. de Matemática Aplicada de la Universidad de Zaragoza, y simultaneo la investigación y la docencia tal y como aparece descrito en mi "currículo vitae".

Como resultado de la interrelación con matemáticos y con físicos descubrí que existen dos maneras de enfocar las matemáticas, que para nuestros propósitos, voy a llamar la tradición babilónica y la tradición griega.

En las escuelas babilónicas de matemáticas el estudiante aprendía practicando con numerosos ejemplos hasta que retenía la regla general. Existían también tablas numéricas que le permitían resolver complicadas ecuaciones. Todo estaba orientado a calcular cosas. La actitud babilónica consiste en saberlo todo sobre los diferentes teoremas y muchas de las conexiones existentes entre ellos, pero sin haber constatado nunca que todo puede obtenerse de un puñado de axiomas, actitud griega.

Es evidente que la Matemática más moderna se centra en unos axiomas y unas demostraciones dentro de una estructura muy definida de convenios sobre lo que puede y no puede aceptarse como un axioma, y se construye a partir de ellas toda una estructura (actitud griega).

Pero en Física se necesita el método babilónico y no el griego. En Física se poseen vastos principios que cubren diferentes leyes y cuya derivación no conviene tomar demasiado al pie de la letra, porque si se cree que un principio es válido solamente si lo es el precedente, no seremos capaces de entender las interconexiones entre las diferentes ramas de la Física.

Algún día, cuando la Física esté completa y sepamos todas sus leyes quizá podamos partir de unos ciertos axiomas y de ahí deducir todo el resto. Pero mientras no conozcamos todas las leyes, podemos utilizar algunas de ellas para especular sobre teoremas que no podemos demostrar. Para comprender la Física hay que mantener un adecuado equilibrio y tener en la cabeza todas las distintas proposiciones y sus interrelaciones, porque las leyes a menudo tienen implicaciones que van más allá de sus deducciones.

Por otro lado, aunque el lenguaje de las Leyes Fundamentales de la Física es matemático, la Matemática no nos puede ayudar a decidir en la siguiente situación.

Uno de los rasgos más sorprendentes de la Naturaleza es la cantidad de esquemas interpretativos diferentes que son posibles para analizar el mismo fenómeno. Por ejemplo el caso de la conocida Ley de la Gravedad. Dicha ley se puede enunciar de forma clásica, de tres formas distintas, todas ellas equivalentes aunque suenen de manera muy diferente.

El primer enunciado es el de que existen fuerzas entre objetos, que cumplen la conocida ley de gravitación universal de Newton. Cada objeto, al sentir la presencia de la fuerza, acelera o cambia de movimiento en una determinada cantidad por segundo. Este enunciado de la ley afirma que la fuerza depende de algo que se halla a una distancia finita. Tiene lo que se llama una característica no local. Y la fuerza que actúa sobre un objeto depende de donde se halle otro objeto.

Quizá no les guste la idea de acción a distancia. ¿Como puede un objeto saber lo que pasa en otro sitio?

Por ello existe otra manera de expresar las leyes, que es muy extraña, llamada teoría de campos clásica. De forma coloquial, se puede decir que existe un número en cada punto del espacio y los números cambian cuando nos desplazamos de un lugar a otro. Si un objeto está situado en un punto del espacio, la fuerza ejercida sobre él va en el sentido en el que el número cambia más rápidamente (la fuerza va en el sentido del cambio del potencial). Además la fuerza es proporcional a la rapidez con que cambia el potencial a medida que nos desplazamos. ¿Pero como se determina

la variación del potencial? Para determinarlo solo es necesario conocer lo que ocurre en un entorno muy cercano al punto en que esté situado el objeto. Este enunciado es local.

Existe otra manera completamente diferente de expresar la ley, distinta en cuanto a la filosofía que la inspira y al tipo de ideas de que hace uso. Cuando se tiene un cierto número de partículas y se quiere saber cómo se desplaza una de ellas de un sitio a otro, lo que se hace es inventar una posible trayectoria de la partícula de un lugar al otro en un cierto periodo de tiempo, y se calcula una cantidad que corresponde a la diferencia entre la energía cinética y la energía potencial. Si se calcula ese número para dos caminos distintos se obtiene un valor diferente para cada camino. Sin embargo, existe un camino al que le corresponde el número más pequeño posible ¡y éste es el camino que realmente sigue la partícula en la Naturaleza! Con este procedimiento de calcular la trayectoria de la partícula, se pierde la idea de la causalidad. En vez de esto, y de forma ciertamente magistral, la partícula huele todas las trayectorias, todas las posibilidades y decide la que quiere seguir.

Este ejemplo brevemente desarrollado, nos muestra la gran diversidad de maneras que el hombre ha desarrollado, todas ellas hermosas, para describir la Naturaleza.

Cuando se nos dice que la Naturaleza debe contener un elemento de causalidad, se puede usar la ley de Newton; cuando se nos dice que la Naturaleza debe enunciarse en términos de máximo y mínimo, se describe de la tercera forma; o si se insiste en que la Naturaleza debe tener un campo local, bueno pues, adelante, utilice la segunda forma.

Pero la cuestión profunda es: ¿Cual de estas interpretaciones es la correcta? Si estas alternativas no fueran exactamente equivalentes desde un punto de vista matemático, es decir si dieran lugar a consecuencias diferentes entre sí, lo que habría que hacer sería buscar experimentalmente de qué forma se comporta la Naturaleza. Pero esto no es así. Resulta que las tres descripciones anteriores son exactamente equivalentes matemáticamente, y por lo tanto la Matemática no nos puede ayudar a decidir.

Si científicamente son equivalentes, ¿que importancia tiene dilucidar qué modelo es el más adecuado? La respuesta es de índole psicológica, desde este punto de vista, los tres modelos pierden totalmente su equivalencia, cuando se trata de imaginar nuevas leyes válidas en un contexto más amplio.

En la generalización de la gravedad debida a Einstein, el método de Newton de describir la física es totalmente inadecuado y enormemente complicado, mientras que los otros dos son más claros y simples.

Por el momento sigo sin comprender por qué razón las leyes correctas de la Física pueden expresarse de tantas maneras distintas. Pero lo que tengo claro ahora es que la respuesta a esta pregunta no pasa por la Matemática.

Estas reflexiones, que pueden parecer evidentes, fueron madurando en mí poco a poco [1980-1989]. Como resultado de este proceso, mi interés por la Matemática se centró en verla como un poderoso instrumento científico capaz de dotarme de potentes herramientas de cálculo, en las que deseaba ser un usuario bien formado y experto. Al no coincidir mis intereses con los del Dpto. de Matemática Aplicada, que lógicamente mantiene un talante

que sigue fundamentalmente lo que he denominado tradición griega, empecé a sentirme intelectualmente incómodo en él.

Debo decir que en el plano científico, el departamento de Matemática Aplicada siempre me apoyó cualquiera que fuese el tipo de actividad que estuviera realizando y en el plano personal sigo teniendo grandes amigos entre mis antiguos compañeros

A estas alturas, se preguntarán ¿Donde aparece en este tinglado la Informática Gráfica?

A lo largo de estos años he sentido la necesidad de representar de forma gráfica los resultados de mis trabajos, y siempre ha ocurrido que en el momento de sentir una necesidad concreta, nunca he tenido al alcance ninguna herramienta gráfica adecuada y la he tenido que desarrollar por mi cuenta. De esta manera poco a poco he ido descubriendo el fascinante mundo de los gráficos por computador.

En la actualidad estoy interesado y dispongo de la experiencia y los recursos necesarios para trabajar en la simulación numérica de algunos fenómenos interesantes (propagación de ondas y simulación de flujos turbulentos), pero es evidente que solo en el espacio tridimensional podemos tener la oportunidad de comprender la esencia de todos los fenómenos físicos que se esconden tras los modelos matemáticos que expresan las leyes del comportamiento físico de la Naturaleza.

Para conseguirlo es necesario, realizar una correcta simulación numérica utilizando potentes computadores y disponer de la posibilidad de representar de alguna manera los resultados

obtenidos. He aquí donde aparece el interés por el estudio y desarrollo de mis conocimientos en Informática Gráfica.

A todo ello se añade el hecho de que el Dr. F. J. Martínez, Profesor Titular de Lenguajes y Sistemas y responsable del Postgrado de Informática que se impartía en la Universidad de Zaragoza, conocedor de mi trayectoria me invitó inicialmente a poner en marcha la asignatura de Informática Gráfica en el Postgrado y al cabo de un tiempo me sugirió la posibilidad de pasar a formar parte del profesorado del Dpto. de Ingeniería Eléctrica e Informática de la Universidad de Zaragoza [1990], con el objeto de poner en marcha un grupo de trabajo en Informática Gráfica cuya especialidad científica se supone que irá cristalizando a lo largo del tiempo y en función de las personas que vayan pasando por él. La idea me hizo ilusión y me lancé a ella, ya que consideré que dicha labor encajaba perfectamente dentro del marco de mis intereses científico-técnicos.

En esta tarea, desde el principio me sentí apoyado en todo momento por los miembros de la en aquella época Sección de Informática Gráfica de la Universidad Politécnica de Cataluña (Dr. P. Brunet, X. Pueyo, I. Navazo y D. Ayala, Profesores todos ellos del Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos).

Después de un tiempo de estar inmerso en el mundo de la Informática Gráfica, me di cuenta de que su avance imparable había hecho aparecer en algunos de sus investigadores, el deseo de simular fenómenos Naturales de la manera más realista posible. Si se reflexiona en este hecho, resulta que la motivación para estudiar y simular los fenómenos de la Naturaleza estaba siendo provocada no por la curiosidad de conocer las fuerzas que causan

dichos fenómenos, sino por el deseo de representar situaciones reales de manera visual y realista.

En este momento y bajo el punto de vista de la simulación por computador de los fenómenos de la Naturaleza, la distinción entre los científicos que provienen de la Informática Gráfica y los que provenimos de otras Ciencias era cuando menos borrosa. Por ello, el sentimiento personal que tuve a partir de esos momentos fue de comodidad intelectual.

Además, con el paso del tiempo, he sido consciente de que la Informática también es una disciplina multifacética que requiere la creatividad de un artista, la habilidad para resolver problemas de un matemático, el método experimental de un científico y las habilidades técnicas de un ingeniero. ¡No está mal para alguien como yo! ¿Verdad? 😊

Al hablar de los impactos que he ido recibiendo a lo largo de mi vida universitaria a través de las ideas de los tres campos que he citado previamente, uno siempre corre el riesgo de pensar que al contarlo está haciendo el ridículo o al menos que no está haciendo las cosas demasiado bien de cara a los demás. En estos días de especialización a ultranza, existen muy pocas personas que apuesten por una comprensión menos profunda pero más general del conocimiento humano en más de un área. No se trata de que uno lo sepa todo, sino que de repente se dé cuenta de que no lo sabe todo.

¿Por qué apostar por este planteamiento? Porque todos los días nacen nuevas generaciones. Porque durante la historia del hombre se han desarrollado grandes ideas, y estas ideas no perduran a menos que se transmitan deliberada y claramente de una

generación a la siguiente. No se trata de crear eruditos sino algo más sutil, intentar despertar el interés por conocer lo que ha conseguido el pensamiento humano de forma global. Pienso que hay una tarea que es la de intentar que los universitarios sientan curiosidad por adentrarse en las ideas, en los métodos, en las actitudes respecto al conocimiento, en las fuentes y en las disciplinas mentales que han ido jalonando el progreso del ser humano.

Un comentario personal escueto a modo de final, este viaje está resultando muy interesante pero difícil más que sencillo.

Puede leerse también:

http://webdiis.unizar.es/~seron/archivos/pres_entradas/scholar.pdf

