



**I CAIM 2008**  
**Primer Congreso Argentino**  
**de Ingeniería Mecánica**  
**Octubre 2008**

---

# **LA CIENCIA, LA VERDAD CIENTÍFICA, LA INVESTIGACION Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO**

## **CONFERENCIA**

**I° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA MECANICA**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**  
**BAHIA BLANCA – ARGENTINA – Octubre de 2008**

**Autor: Dr. Ing. Francisco Alba Juez (•)**

**(\*) Profesor Titular Exclusivo Efectivo**  
**Director del Instituto de Mecánica Aplicada (IMA) de la Facultad de Ingeniería de la**  
**Universidad Nacional de San Juan - Argentina**

## **INTRODUCCIÓN**

**Cuando recibí la invitación para dar esta charla, y me puse a pensar en su contenido, y en el lugar donde se desarrollaría la misma, vale decir, aquí, en esta Universidad, mi querida Universidad, a quien le debo mi vida, inmediatamente, violando la Teoría Especial de la Relatividad, viajé al pasado, a la época en que era estudiante, es decir, cuarenta años atrás, tratando de recordar en que estado estaba la Ciencia y, especialmente la Tecnología, en aquella época y, realmente, me sentí como un dinosaurio, pues no teníamos ninguna de las tecnologías que hoy tenemos a disposición y que nos permiten trabajar con muchísimo más confort, comunicarnos con cualquier persona en cualquier lugar del mundo instantáneamente, ni existían muchos de los medicamentos que hoy nos permiten vivir con más calidad mucho más tiempo.**

**No existía Internet, ni el correo electrónico, ni el fax, ni las fotocopiadoras, ni las computadoras, ni las centrales telefónicas automáticas, ni los teléfonos móviles, ni el láser, ni la fibra óptica, ni siquiera los lavarropas automáticos, ni muchísimas otras cosas que sería imposible enumerar.**

**Cuando mis compañeros y yo ingresamos en la Universidad en el año 1966, lo hicimos con una regla de cálculo en el bolsillo. Hoy, cuatro décadas más tarde, los estudiantes llegan a la Universidad con un teléfono celular que tiene mayor capacidad de cálculo que la mejor supercomputadora que existía en nuestros años a un costo millonario y que ocupaba toda una habitación.**

**Mi generación, casi se podría decir que pasó de vivir en una época primitiva (cuatro o cinco décadas atrás) a una época de ciencia-ficción (la actual).**

**Este cambio tan espeluznante se ha debido al vertiginoso avance de la Ciencia y la Tecnología de los últimos cincuenta años, avance que ha sido muchísimo mayor que el experimentado en todo el resto de la existencia de la humanidad, y que se ha logrado gracias a la extraordinaria labor de Investigación científica y tecnológica realizada en la segunda mitad del siglo XX.**

**Siendo desde niño un lector compulsivo y habiendo leído a Julio Verne y a Arthur Clarke a muy temprana edad, quedé fascinado con los submarinos, los cohetes capaces de llegar a la luna y las estaciones espaciales que, naturalmente, salvo los submarinos, no existían.**

**Muy pronto me empecé a hacer muchas preguntas: ¿Como era posible que un submarino, de acero y varias toneladas de peso pudiese flotar entre aguas, y en el nivel que se quisiera?; ¿Como era posible que los aviones pudiesen volar?; ¿Sería posible que un cohete pudiese llegar a otro planeta?; ¿Como se podría lograr esto?**

**Estas y mil preguntas más, que se fueron acrecentando a medida que pasaba el tiempo con el aumento de mis lecturas y mis conocimientos, hicieron que experimentase una fuerte atracción por la Ingeniería, fundamentalmente debido a su relación directa con la Matemática y la Física y la posibilidad de usar a ambas para desarrollar nuevas tecnologías y prototipos.**

Siendo ya estudiante de Ingeniería y a medida que avanzaba en la carrera, empecé a preocuparme cada vez más por el significado de cuestiones básicas, tales como la Ciencia, la Tecnología, la Filosofía, la Matemática, la Ingeniería, la relación entre la Ciencia, el Arte y la Filosofía, la Investigación; etc.

Por otra parte, el método científico y el concepto de verdad científica siempre me preocuparon al extremo, y siempre me fascinó la tremenda asimetría que existe entre la facilidad de probar que una teoría científica es falsa (basta con un contraejemplo) y la imposibilidad absoluta de probar en forma definitiva que es cierta.

Pero, veamos si después de cuarenta años, finalmente, podemos dar respuesta a estas cuestiones básicas, y que son fundamentales para poder entrar en el campo de la Investigación:

## QUE ES LA CIENCIA?

“La Ciencia es ese creciente cuerpo de ideas, que puede caracterizarse como conocimiento racional, sistemático, exacto, verificable, y por consiguiente, **falible**”.  
**M. Bunge** (La Ciencia. Su Método y su Filosofía)

“La Ciencia es Realidad y Pensamiento reforzándose mutuamente” **J. Bronowski** (The Common Sense of Science).

“Los objetivos de la Ciencia son encontrar lo general en lo particular y lo eterno en lo transitorio”. **A.N. Whitehead**.

“Es mucho lo que se puede decir de la Ciencia, pero en resumen, la Ciencia es la aceptación de lo que funciona y el rechazo de lo que no funciona. Para ello, hace falta mas coraje de lo que parece”. **J. Bronowski** (The Common Sense of Science).

## ¿QUE NO ES LA CIENCIA?

No obstante, un mensaje que me gustaría transmitir y que me parece muy importante es el de **lo que no es la Ciencia**.

Un prejuicio muy difundido es el de que la actividad científica – por su carácter objetivo – es una actividad impersonal totalmente desligada del sujeto que la practica.

Esto es totalmente falso, y lo es por la misma razón por la que dos observadores normales que vean el mismo objeto desde el mismo lugar en las mismas circunstancias físicas, no tienen necesariamente idénticas experiencias visuales aunque las imágenes que se produzcan en sus respectivas retinas sean prácticamente idénticas.

Como dice **N.R. Hanson** “Hay mas en lo que se ve de lo que describe el globo ocular”

Efectivamente, no resulta difícil proporcionar ejemplos procedentes de la práctica científica que ilustren la misma cuestión, vale decir, que lo que ven los observadores, las experiencias subjetivas que tienen cuando ven un objeto o una escena, no está determinado únicamente por las imágenes formadas en sus retinas sino que depende también de la experiencia, del conocimiento y de las expectativas del observador.

Este aspecto está implícito en la constatación indiscutible de que **“uno tiene que aprender para llegar a ser un observador competente en ciencia”**.

Cualquiera que haya vivido la experiencia de tener que aprender a mirar a través de un microscopio, no necesitará que nadie le convenza de este hecho.

Frente a una misma situación, un observador versado y experimentado no tiene experiencias perceptuales idénticas a las de un novato.

**J. Bronowski** (*The Common Sense of Science*) dijo con precisión:

**“La Ciencia no es una construcción impersonal. No es ni menos ni más personal que toda otra forma de pensamiento comunicado”**.

**Albert Einstein** también lo dijo claramente: **“Los conceptos físicos son creaciones de la mente humana, y no son, aunque lo parezca, determinados unívocamente por el mundo externo”**

En cuanto a la verdad científica, el matemático-filósofo **William Clifford** (*Algebras de Clifford*) dijo: **“La Verdad en Ciencia no es algo para contemplar sin incertidumbre sino aquello en lo que podemos basarnos para actuar sin miedo”**.

Tomemos por ejemplo el concepto científico de “Electrón”

En 1906 **J.J. Thomson** ganó el Premio Nóbel por mostrar que el Electrón es una Partícula

En 1927, Su hijo **G.P. Thomson** ganó el Premio Nóbel por mostrar que el Electrón es una Onda.

¿Cuál es la verdad?, ¿Quién tenía razón?, ¿El padre o el hijo?

Si nos atenemos al significado preciso del verbo **“ser”** ninguno tenía razón, pero si cambiamos **“es”** por **“se comporta como”**, entonces ambos tenían razón.

En realidad, el padre demostró, observando el centelleo sobre una pantalla fluorescente, que el electrón se manifiesta de la misma manera que lo hace lo que en el mundo macroscópico llamamos **partícula**, y el hijo demostró, observando un arreglo típico de luz y sombra del fenómeno de la difracción, que el electrón también se manifiesta como lo que llamamos **onda**.

No hay ninguna paradoja en esta dualidad; el electrón no es esquizofrénico: la aparente inconsistencia reside en intentar describir un ente como el electrón usando conceptos que en nuestro mundo macroscópico son mutuamente excluyentes.

- El Electrón no es ni una partícula ni una onda;
- El Electrón se comporta como una partícula y como una onda.

## DICOTOMÍA ENTRE TEORÍA Y PRÁCTICA

Otro tópico de discusión que teníamos en nuestra época de estudiantes era la eterna dicotomía entre teoría y práctica. Ya en aquella época estaba yo cansado de escuchar la expresión estereotipada:

“eso es valido en la teoría pero no en la práctica” o “una cosa es la teoría y otra la práctica”,

y si bien habiendo terminado ya los primeros tres años de la carrera de ingeniería podía presentir que semánticamente cualquiera de las dos expresiones eran deficientes, todavía no tenía ni el conocimiento ni la experiencia para refutarlas cuando, frecuentemente, eran esgrimidas para defender otro estereotipo:

“La especulación teórica no es necesaria para ser un buen Ingeniero”.

Después de años de trabajo, experiencia y meditación sobre estos temas, finalmente comprendí en plenitud el problema que, como ocurre frecuentemente en ciencia y Filosofía, era meramente semántico:

Por definición, una teoría ha de ser valida en la práctica, de otra manera es descartada inmediatamente, ergo, la expresión no tiene ningún sentido lógico mas allá de expresar que la teoría a la que se refiere es sin duda incorrecta o que quien está usando la teoría no la conoce lo suficiente y la está usando mal.

Mi propia experiencia a lo largo de más de tres décadas me ha confirmado que

**“No hay nada mas práctico que una buena teoría”.**

El dominio del lenguaje es crucial para enfocar el pensamiento y comunicarlo con precisión a los demás.

Según **Ludwig Wittgenstein**, “un gran número de los grandes problemas filosóficos no tienen razón de ser, pues son simplemente confusiones semánticas generadas por el uso equivocado del lenguaje”.

Ya vimos que esto es cierto en la falsa dicotomía entre teoría y práctica y en la falacia de asimilar el comportamiento observable del electrón como partícula o como onda con la afirmación ontológica de que el electrón es una **partícula** o una **onda**.

Como dijo **F. David Peat (Einstein's Moon)**: “Por un lado, nuestra mente trata de captar el efímero concepto de realidad en el mundo atómico, y por el otro,

hablamos, pensamos y actuamos con un lenguaje adaptado para discutir árboles, rocas y automóviles – así como poesía y emociones.

Una tendencia natural pero muy perjudicial para el progreso del conocimiento científico es la de emitir juicios ontológicos sobre el Universo basados en una interpretación equivocada de descripciones matemáticas correctas.

Un claro ejemplo de esto son las leyes del movimiento mecánico desarrolladas por Newton, que son validas con gran exactitud, y sin embargo, cuando interpretó las ecuaciones en términos de fuerza, espacio y tiempo absolutos, puso a la ciencia en el camino filosófico equivocado por mas de dos siglos, hasta que **Einstein** demostró que el espacio y el tiempo son relativos y que el concepto de fuerza no es real porque puede hacerse desaparecer con un simple cambio de coordenadas.

De igual manera, cuando **Maxwell** demostró que sus ecuaciones describían con exactitud la propagación de ondas electromagnéticas (siendo la luz un caso particular), inmediatamente se concluyó, por analogía con las ondas mecánicas, que debía existir un medio de propagación que llamaron éter y, otra vez, la ciencia tomó un camino equivocado que duró casi dos siglos hasta que el resultado negativo del famoso experimento de **Michelson y Morley** probó su inexistencia.

En cuanto a la Física Quántica, luego de un siglo de existencia e increíble éxito en su poder predictivo, existen hoy múltiples interpretaciones ontológicas y ninguna universalmente aceptada.

El concepto de realidad era considerado por los científicos objetivo y absoluto hasta que la Teoría General de la Relatividad y la Física Quántica mostraron que el espacio y el tiempo no son entidades fundamentales y que el simple concepto de existir también requiere revisión semántica.

Podemos decir que ¿El Electrón existe en el mismo sentido que decimos que una piedra existe? ¿Es el dolor que sentimos al darle una patada prueba contundente de que la piedra existe? ¿Que diferencia intrínseca hay entre la interacción que implica patearla y su consecuente dolor y una interacción controlada en el laboratorio entre el científico y el electrón?

En mi modesta opinión, ¡Ninguna!

Con respecto al electrón todo lo que podemos decir, parafraseando a **Rudolf Carnap** (“**An Introduction to the Philophy of Science**”): “**Es que hay fenómenos reproducibles y observables que, en el lenguaje científico, se llaman electrones.**”

Tal vez esto no sea muy gratificante, pero..... ¿Se puede realmente decir algo diferente sobre la existencia de la piedra? La existencia de ambos depende en cierta medida del contexto creado por nuestro pensamiento, nuestro lenguaje, nuestras teorías y nuestra interacción (experimentación) con el mundo externo.

## DICOTOMÍA ENTRE CIENCIA ARTE Y FILOSOFÍA

Volviendo a mi época de estudiante, cuando teníamos contacto con los estudiantes de Humanidades, aunque no tan frecuente como la dicotomía Teoría vs. Práctica, la tensión intelectual era clara, nosotros éramos los de las “ciencias duras”, individuos de hormigón y acero, y por tanto, faltos de la sensibilidad para comprender el arte y la filosofía, prejuicio este muy difundido, y que tanto mal le ha hecho a la ciencia

**J. Bronowski** (“**The Common Sense of Science**”) no lo podía haber expresado mejor cuando dijo: **“Uno de los prejuicios modernos más destructivos es el de que Arte, Filosofía y Ciencia son diferentes e incompatibles”**.

**Will Durant** dijo: **“Toda ciencia empieza como Filosofía y termina como Arte”**

**Bertrand Russel** dijo: **“Ciencia es lo que sabemos, Filosofía es lo que no sabemos”**

La Investigación Científica es legal, pero sus leyes –las reglas del Método Científico- no son pocas, ni simples, ni infalibles, ni bien conocidas; son, por el contrario, numerosas, complejas, mas o menos eficaces, y en parte desconocidas. El arte de formular preguntas y de probar respuestas –esto es, el método científico- es cualquier cosa menos un conjunto de recetas; y menos técnica todavía es la teoría del método científico. La moraleja es inmediata:

**“desconfíese de toda descripción de la vía de la ciencia, pero no se descuide ninguna”**.

La investigación es una empresa multilateral que requiere el más intenso ejercicio de cada una de las facultades psíquicas y que exige un concurso de circunstancias sociales favorables; por este motivo, todo testimonio personal, perteneciente a cualquier periodo, y por parcial que sea, puede echar alguna luz sobre algún aspecto de la investigación.

A menudo se sostiene que la medicina y otras ciencias aplicadas son artes antes que ciencias, en el sentido de que no pueden ser reducidas a la simple aplicación de un conjunto de reglas que pueden formularse todas explícitamente y que pueden elegirse sin que medie el juicio personal.

Sin embargo, en este sentido, la Física y la Matemática también son artes: ¿Quien conoce recetas hechas y seguras para encontrar leyes de la naturaleza o para adivinar teoremas?

Si “arte” significa **una feliz conjunción de experiencia, destreza, imaginación, visión y habilidad para realizar inferencias de tipo no analítico**, entonces no solo son artes la medicina, la pesquisa criminal, la estrategia militar, la política y la publicidad, sino también toda otra disciplina.

Por consiguiente, no se trata de si un campo dado de la actividad humana es un “arte”, sino de si, además, es **científico**.

La Filosofía, cuando se practica desvinculada de la Ciencia, pretende captar la realidad como la revelan nuestros sentidos elementales, la Ciencia, en contraste, pretende captar la realidad como la revelan los instrumentos de precisión en combinación con nuestro intelecto (análisis físico del problema, desarrollos matemáticos, etc.).

## CAUSALIDAD, DETERMINISMO, ALEATORIEDAD, EINSTEIN vs BOHR

**Einstein** fue uno de los pioneros, junto con **Plank**, de la Física Quántica y de la aplicación del concepto de probabilidad a la Física. Sin embargo, después de terminar su Teoría General de la Relatividad, **Einstein** se pasó el resto de su vida tratando de probar que no existía una aleatoriedad intrínseca en el mundo subatómico, en contraposición a lo que afirmaba la Escuela de Copenhagen liderada por **Niels Bohr**.

Su sueño, que no pudo realizar, era unificar la teoría General de la Relatividad con la Física Quántica.

El resultado de un experimento que involucre partículas no puede predecirse, sin embargo, el resultado estadístico de repetir el experimento un gran número de veces puede predecirse con certidumbre. La situación es idéntica a la de tirar una moneda al aire. Lo notable es que en el caso del fotón, esta aleatoriedad parece ser intrínseca, y no el resultado de nuestra ignorancia o falta de teoría o recursos suficientemente poderosos de cálculo. El famoso “**Teorema de Bell**” confirmado experimentalmente, probó definitivamente que **Einstein** estaba equivocado.

Todo comenzó en 1935 cuando **Einstein** y sus colegas **Podolsky** y **Rosen** trataron de rebatir la idea de que el universo está regido por el azar, tal y como lo proponía la Mecánica Quántica.

Einstein había asegurado que “**Dios no juega a los dados**”, dando a entender que debía existir una explicación matemática para los fenómenos de incertidumbre en las partículas. Con esta premisa, los tres científicos expusieron que:

“en un sistema de dos partículas gemelas, la medición de una de ellas no podía afectar a la otra que se encontrara a millones de años luz de distancia, puesto que según la Teoría de la Relatividad, nada puede viajar a mayor velocidad que la de la luz”. (Paradoja EPR)

No obstante, si la Mecánica Quántica tenía razón, al cambiar el Spin de una partícula, simultáneamente, es decir, en el mismo instante, su gemela también lo cambiaría, sin importar la distancia a la que se encontrase.

**Einstein** pensó durante toda su vida que debían existir variables locales ocultas que explicaran racionalmente la aparente paradoja.

En 1964, el físico **John S. Bell** a través de su famoso Teorema, demostró que lo que **Einstein** y sus colegas tomaron como paradoja podía demostrarse científicamente y posteriormente, dijo:

“Ninguna variable local oculta puede explicar las correlaciones que se dan en la paradoja EPR, lo que deja abierta la posibilidad, aun cuando las separen años luz, de que las partículas permanezcan conectadas por un nivel subcuántico no local que nadie conoce”.

## EL TEOREMA DE BELL

El Teorema de Bell prueba la conexión-correlación entre sistemas no relacionados causalmente. Bell aduce que, mientras en ciertos contextos la separación en el tiempo o en el espacio es "real", dicha separación es "irreal" o carece de importancia en la mecánica cuántica.

Imagínese una fuente que emite dos corrientes de fotones (o rayos de luz, para entenderlo mejor), fotones que son interceptados por dos instrumentos: A y B



Estos instrumentos pueden estar todo lo lejos que se quiera entre sí, incluso hallarse emplazados en puntos opuestos del universo., Bell demuestra a través de las ecuaciones desarrolladas por él, conocidas como “**Desigualdades de Bell**”, las cuales permiten distinguir la existencia o no de causa común en cada fenómeno, que cualquier propiedad de las partículas que se mida en el instrumento A, provocará, *simultáneamente*, una medición matemáticamente complementaria en el instrumento B.

Lo asombroso del caso viene cuando nos damos cuenta de que eso significa que cada fotón sabe la medición a la que está siendo sometido el otro fotón, y lo sabe *instantáneamente*.

**Bell** prueba que este tipo de relación no-local debe darse tanto en separaciones espaciales como en separaciones temporales. Todo parece indicar que "cierta energía" es la causante de esta correlación simultánea de conocimiento, pero en física no se conoce una energía que pueda moverse tan rápidamente.

**Einstein**, ya en 1935, se topó con este efecto misterioso derivado de la mecánica cuántica, y lo tildó de "fantasmal" (*spooky*), ya que ampararía fenómenos paranormales hasta entonces desdeñados por la ciencia, como la telepatía.

**Einstein** concluyó que debía haber algo radicalmente erróneo en la mecánica cuántica para permitir llegar a semejantes conclusiones.

## Los experimentos

A falta de la tecnología necesaria para poder confirmar esta desigualdad en el laboratorio, **Bell** no pudo realizar el experimento correspondiente, el cual solo

pudo llevarse a cabo en 1982, cuando **Alain Aspect** de la Universidad de Paris, demostró, sin lugar a dudas, que **Einstein** no tenía razón.

El experimento de **Aspect** estableció una conexión cuántica en una distancia de unos 12 metros. Posteriores experimentos en criptografía han logrado detectar efectos de conexión cuántica del orden de kilómetros.

Recientemente, en mayo del 2003, se ha confirmado el fenómeno mediante un nuevo experimento realizado por el **Dr. Nicolas Gisin** de la Universidad de Ginebra. **El Dr. Gisin** envió dos fotones en dirección opuesta a través de un canal de fibra óptica. Una vez que los fotones se encontraron a una distancia de 7 millas (unos 10 Km.), se toparon cada uno con un espejo semitransparente. Ambos espejos estaban a 55 metros de distancia uno del otro.

Por tanto, cada fotón tenía dos opciones: reflejarse o atravesar el espejo. Ambos se vieron forzados a tomar una decisión entre las dos alternativas igualmente posibles.

No obstante, el comportamiento de las parejas de fotones fue en todo punto semejante: o bien se reflejaban los dos a la vez, o bien atravesaban el espejo los dos a la vez. Y eso ocurría siempre.

Ahora bien, lo normal hubiese sido que cada fotón de la pareja, puesto que es absolutamente independiente del otro, tuviese un comportamiento aleatorio respecto a los espejos, vale decir, si bien es posible que los dos fotones tengan el mismo comportamiento, es igualmente posible que uno haga una cosa y el otro una cosa diferente. Es decir, la probabilidad de que un fotón atravesase el espejo y el otro rebote en él, es la misma que la probabilidad de que ambos reboten o ambos lo atraviesen.

¡¡Y esto es precisamente lo que no ocurre!! Los dos fotones se comportan como si cambiaran información para poder actuar de idéntica manera, y la única forma de explicar esto es que, o bien existe una “**correlación programada**”, es decir, con una causa común previa que determina el posterior comportamiento idéntico, o bien se trata de una “**correlación transmitida**” en la que una influye en la otra mediante algún tipo de señal permanente, como si se lo fuera telefoneando.

Ninguna de estas correlaciones es aplicable al caso de los fotones: no se pueden haber puesto de acuerdo previamente, y no transmiten señales de uno a otro que les haga comportarse igual.

Por tanto, la única explicación posible por increíble que pueda parecer (**aunque no tan increíble, pues ya se sospechaba, y de hecho el experimento buscaba confirmar esa sospecha**) es que la correlación se haya producido sin que haya transcurrido el tiempo. La correlación es instantánea aunque recorra cierta distancia (la que separa a los dos fotones), lo que implica que el tiempo en ese instante se ha detenido.

Con esta demostración se abrió una profunda reflexión filosófica: **¿Es la realidad tal como la percibimos?**, pues en el universo de las partículas, que es también

nuestro universo, el espacio y el tiempo son solo convenciones sin ningún sentido, ya que la información es instantánea, lo cual implica que la causalidad espacio-temporal no se conserva.

La Mecánica cuántica sigue siendo cada vez mas verificada experimentalmente, incluso en este caso, en el que, sorprendentemente, el tiempo parece detenerse.

Es un experimento que pone de manifiesto la “no temporalidad” de la intrincación cuántica entre partículas, y que viene a sumarse al anterior experimento de **Alain Aspect** que había demostrado la “no localidad” de dicha intrincación.

Por tanto, esta intrincación tiene **no-temporalidad** y **no-localidad: no es espaciotemporal**.

Esto significa que en el mundo cuántico puede haber dependencia entre acontecimientos, pero que esa dependencia no responde a ningún orden temporal. En el mundo cuántico no es fácil, pues, definir el “antes” y el “después”. Ocurren cosas, pero pueden ocurrir sin que transcurra el tiempo.

En resumen, desde que **John Bell** probó irrefutablemente que **Einstein** estaba equivocado cuando dijo que “Dios no juega a los dados con el Universo” la causalidad de los fenómenos se ha convertido en causalidad de nuestro conocimiento limitado sobre ellos.

**Sir James Jeans** (Physics and Philosophy) dijo:

“Las ecuaciones de la Teoría Cuántica no predicen el futuro como consecuencia inexorable del pasado sino que predicen las imperfecciones de nuestro conocimiento en el futuro como consecuencia inexorable de las imperfecciones de nuestro conocimiento presente.

Esta relación inexorable no es entre los fenómenos sino entre nuestro conocimiento de los mismos”

A pesar de todo, la regularidad causal es una de las características más salientes del Universo, y lo que dijo el gran físico y filósofo **Rudolf Carnap** (“**An Introduction to the Philosophy of Science**”) tiene verdaderamente un valor indiscutible y trascendente:

“Sin causalidad en el mundo, la Educación no tendría sentido alguno, como tampoco lo tendría hacer juicios de Moralidad o Políticos. Estos juicios tienen solo sentido si se presupone una cierta medida de regularidad causal en el Universo”

El tremendo éxito de la Teoría Cuántica del mundo subatómico, como era inevitable, generó otra ola de especulación filosófica con respecto a la causalidad, determinismo y su relación con el concepto de libre albedrío. Hoy en día nadie niega la efectividad y exactitud de las predicciones de la Teoría Cuántica, pero no hay acuerdo alguno sobre cual es la realidad física detrás de la teoría.

Una vez más, como en la época de **Newton**, la matemática predice con precisión el mundo observable, pero la interpretación filosófica correcta de las ecuaciones probablemente requerirá una o dos generaciones más.

El gran escritor **Jorge Luis Borges** escribió un ensayo (“Otra Refutación del Tiempo”, 1967) para demostrar que el tiempo es una ilusión. Sin embargo, amante de la ambigüedad por antonomasia, al final del ensayo dice:

“Y aún así, negar el paso del tiempo, el concepto de existir como persona y el universo astronómico, son medidas de desesperación y consuelo secreto. El mundo, desafortunadamente, es real; yo, desafortunadamente soy Borges”.

## EL CONCEPTO E IMPORTANCIA DE LA INNOVACIÓN

Es universalmente aceptado que la innovación es una de las claves para el crecimiento económico y el bienestar social de la humanidad. Pero, ¿Que es la Innovación?

Bien, cuando todos seguían agregando epiciclos de **Tolomeo** para explicar el movimiento de los planetas manteniendo a la tierra en el centro, **Copernico** puso el sol en el centro.... y el mundo cambió para siempre y....le preparó el camino a **Galileo**.

Cuando todos se preguntaban porqué un cuerpo se mueve, **Galileo** se preguntó porqué un cuerpo se detiene..... y le preparó el camino a **Newton**;

Cuando todos se concentraban en imanes y bobinas visibles, **Faraday** se concentró en lo invisible del espacio y concibió el campo electromagnético.....y le preparó el camino a **Maxwell**;

Cuando el experimento de **Michelson – Morley** fue negativo, **Einstein** descartó el éter y postuló la invariancia de la velocidad de la luz y..... el mundo volvió a cambiar para siempre.

“La verdadera aventura del descubrimiento consiste no en buscar nuevos paisajes sino en mirarlos con nuevos ojos” (**Marcel Proust**).

Finalmente, veamos uno de los conceptos más importantes del sistema Científico – Tecnológico:

### ¿QUE ES LA TECNOLOGÍA?

La palabra Tecnología deriva del vocablo griego **techne**, que significa **arte**, y para los griegos, la única manera de aprender una **techne** era a través de la práctica y de la experiencia. No se podía explicar una **techne** con palabras. Más aún, los ingleses hasta comienzos del siglo XVII, a estas **techne** las llamaban “misteries” y protegían a quienes las dominaban por medio de patentes, que les daban el derecho a ejercer su monopolio.

Según **Peter Drucker**, la palabra “**Tecnología**” es un manifiesto en cuanto combina **techne** –el misterio de un arte manual- con **logos**, el saber organizado, sistemático y con un fin determinado.

Podemos definir entonces **Tecnología** como “**El conjunto ordenado de todos los conocimientos usados en la producción, distribución y uso de bienes y servicios**”

**La Tecnología** tiene sus propios procedimientos de investigación, adaptados a circunstancias concretas que distan de los casos puros que estudia la Ciencia.

Toda rama de la Tecnología contiene un cúmulo de reglas empíricas descubiertas antes que los principios científicos en los que, si dichas reglas se confirman, terminan por ser absorbidas.

La tecnología no es meramente el resultado de aplicar el conocimiento científico existente a los problemas prácticos:

**La tecnología viva es, esencialmente, el enfoque científico de problemas prácticos, es decir, el tratamiento de estos problemas sobre un fondo de conocimiento científico y con ayuda del método científico.**

La conexión de la Ciencia con la Tecnología no es, por consiguiente, asimétrica.

Todo avance tecnológico plantea problemas científicos cuya solución puede consistir en la invención de nuevas teorías o de nuevas técnicas de investigación.

**La Ciencia y la Tecnología constituyen un ciclo de sistemas interactuantes que se alimentan el uno del otro.**

## ¿QUE SIGNIFICA INVESTIGAR?

Significa embarcarse en una aventura, la aventura mas extraordinaria y apasionante que se pueda imaginar: **LA AVENTURA DEL PENSAMIENTO**, donde las armas son: **La Formación, Inteligencia, La Experiencia, La Intuición y La Sagacidad.**

Investigar es develar misterios, encontrar explicación a lo inexplicable, encontrar solución a problemas que hasta el momento no la tenían, en resumen, Investigar es

**ADQUIRIR Y GENERAR CONOCIMIENTOS**

## CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS ACTUALES

Finalmente, adentrándonos más en nuestro tiempo, quiero decir que la vorágine de estudios e investigaciones provocada por la revolución científica acaecida en el Siglo XX, y especialmente, a partir de su segunda mitad, con la deslumbrante física experimental de las partículas elementales, la termodinámica de los sistemas lejos del equilibrio de **Ilya Prigogine** y sus revolucionarias concepciones sobre la Entropía y el tiempo, así como los más recientes enfoques teóricos, matemáticos y físicos, que a pesar de la aparente diversidad de sus temas, comparten una subyacente coherencia esencial, han revolucionado el pensamiento científico y tecnológico, y están produciendo cambios sustanciales en la sociedad.

Es este el caso de la **Teoría de Conjuntos Borrosos y la Geometría de Fractales**, que básicamente, son herramientas lógicas y analíticas para evaluar y descubrir una amplísima gama de situaciones y estructuras del mundo real.

**La Teoría del Caos**, que estudia los sistemas cuyo comportamiento irregular inhibe la predicción de las evoluciones futuras, tales como el “efecto mariposa” y la aparición de comportamientos caóticos en sistemas que usualmente se sujetan a leyes simples, como es el caso del estudio de las irregularidades en los latidos cardíacos, los cambios de tiempo meteorológico y la fluctuación en la bolsa de valores.

La atrayente, aunque discutida, **Teoría de las Catástrofes**, basada en la topología matemática, que estudia formalmente los cambios repentinos, abruptos y cualitativos que se observan en las formas y los comportamientos de los sistemas, procesos y organismos, despojando a la palabra catástrofe de su sinónimo con destrucción.

**“Una catástrofe es la erupción de un volcán, y también, la eclosión de una flor”.**

En síntesis, se trata de un grupo de paradigmas científicos cuyo denominador común es el reconocimiento de la complejidad inherente al mundo real.

Con ello, el pensamiento científico da un incuestionable paso adelante, superando las situaciones de la realidad clásica, que suponía un universo de formas regulares, valores ciertos, procesos estables y evoluciones predecibles a partir de inmutables leyes determinísticas.

La nueva racionalidad es no lineal, compleja, incluye la ambigüedad y el azar, y tiene espacio para la creatividad y la innovación.

Pero, volviendo nuevamente al concepto de Ciencia, quiero decir que la Ciencia es parte del cuerpo indivisible de las ideas. Una de las características del conocimiento contemporáneo es la creciente interdependencia de todas sus manifestaciones, y debido a la magnitud y diversidad del mismo, es difícil imaginar el universalismo practicante que fue posible en el Renacimiento y que tuvo su símbolo en **Leonardo Da Vinci**.

Por otra parte, hemos comenzado a comprender que la ciencia es una sola, que es necesario estudiar por partes, pero que no puede dividirse.

Cada vez es más difícil discernir las fronteras entre la **Física** y la **Química**. A su vez, ambas están íntimamente ligadas con la **Matemática**.

Y la **Química** es inseparable de la **Biología**. Por otro lado, la **Economía** es cada vez más dependiente de la **Matemática** y está íntimamente ligada con la **Sociología** y ésta con la **Lingüística**, que está estrechamente vinculada con la **Genética**, tal como lo demostró **Noam Chomsky** cuando formuló su Teoría de la **Gramática Generativa**.

Seguramente, el resultado mas notable de la compenetración e interdependencia entre las ciencias es la **Cibernética**, que apareció a mediados del siglo XX como verdadera “interciencia” o cruce de caminos que van desde la Física y las matemáticas hasta la lingüística y la teoría de los mecanismos autorreguladores y elaboradores de datos, cuyo fruto mas visible en nuestros días es la computadora u ordenador

Al mismo tiempo, en **Metafísica** o en **Ética**, resulta imposible ignorar los probables efectos de las manipulaciones genéticas que plantean la posibilidad de alterar las características innatas, y en el futuro abre la perspectiva de programar individuos a voluntad.

Vemos entonces como cada una de estas partes están ligadas entre si, y finalmente, todas ellas están englobadas por la disciplina madre, que es la **Filosofía**.

Estos fenómenos están transformando y transformarán mucho más aún el enfoque político que actualmente tenemos del mundo. En efecto, la **Teoría Política** se aproxima a una nueva frontera, pues aparecen factores de poder diferentes a los que existieron hasta no hace mucho. **La Economía**, por ejemplo, además de estar cada vez más subordinada a las **Matemáticas**, está siendo cuestionada en algunos de sus principios tradicionales. La riqueza de las naciones dependía tradicionalmente de tres factores: **La Tierra, el Capital y el Trabajo**. Actualmente, **la Información –codificada y centralizada-** se ha convertido en un nuevo factor fundamental.

Respecto de la **Biología Molecular**, **Standart Oil**, **General Electric** y otras grandes corporaciones han invertido cientos de millones de dólares en **Biotecnología**, que es el uso industrial de la **Biología Molecular**, y particularmente en **Ingeniería Genética**, y si bien este tipo de investigaciones plantean –como ya hemos dicho– una serie de problemas éticos muy graves, e incluso se puede estar en contra de ellas, lo cierto es que se está trabajando en este campo, y desde el punto de vista económico, prepara el monopolio de los recursos críticos del futuro, pues la manipulación de genes está abriendo las puertas a muchos prodigios.

**El empalme de genes** está inaugurando una nueva era en la agricultura ante el desarrollo de plantas que fabrican sus propios fertilizantes, la posibilidad de cultivar en climas inadecuados, convertir tierras áridas en fértiles, multiplicar cosechas, etc., etc.

**La Química** también ha sido conmocionada por esta revolución. **La Ingeniería Genética** está logrando potenciar la actitud de ciertos hongos y bacterias para producir pequeñas cantidades de derivados petroquímicos (plásticos, pigmentos orgánicos) sin necesidad de síntesis industrial y sin contaminación.

Y si nos vamos al campo que nos concierne más directamente, nos encontramos con nuevas tecnologías utilizadas en la fabricación de automóviles y camiones, construidos con materiales ultralivianos de gran resistencia, con los últimos adelantos electrónicos y con sistemas de propulsión híbrida, que convierten a estos vehículos en unidades inteligentes, y casi no contaminantes.

Los trenes magnéticos, que se desplazan sobre las vías mediante el sistema de levitación magnética (maglev) a velocidades superiores a los 500km/h.

Y ni que decir de la ciencia de los nuevos Materiales, pues así como se sabe como armar, gen a gen, los organismos que sean capaces de producir lo que se desee y como diseñar drogas molécula a molécula, hoy se sabe como construir –a veces también molécula a molécula, y aún átomo a átomo- los materiales que necesitamos para cada caso particular.

Así, hoy contamos con:

**Plásticos y aceros superresistentes; cerámicos superconductores; aerogeles aisladores**, verdaderas pantallas de humo, de gran capacidad aislante y de muy bajo peso; **pegamentos** capaces de soldar cualquier tipo de material con resistencias muy superiores a los materiales originales.

**Materiales inteligentes**, que reaccionan frente a las condiciones del entorno, tales como ciertos cerámicos utilizados en la construcción de hélices para helicópteros que, en función de las turbulencias de la atmósfera, cambian la forma del borde de ataque de dichas hélices.

**Fluidos electro-reológicos**, cuya viscosidad se modifica en función de la corriente eléctrica que circule por ellos, tanto, que hay líquidos que se convierten en sólidos con solo aplicarles unos pocos voltios.

**Materiales con memoria** que recuperan la forma original al calentarlos, aún cuando hayan sido deformados varias veces.

**Los meta-materiales**, consistentes en telas compuestas por estructuras electrónicas nanométricas. Están hechos de diminutos anillos metálicos, pequeñísimos tubos u otras estructuras microscópicas, que permitirían usar de forma controlada la refracción de la luz.

Cada una de estas unidades microscópicas puede interactuar con la luz por medio de la refracción y de esta manera modificar el camino de los rayos, haciendo técnicamente posible la invisibilidad.

**“Gracias a los meta-materiales se podría hacer que la luz fluyera alrededor de un cuerpo como si fuese agua. De esta manera, se volvería invisible”.**

Así describen su descubrimiento los físicos John Pendry, David Schuring y David Smith, quienes casi al mismo tiempo que Ulf Leonhardt, han desarrollado una nueva técnica de invisibilidad.

La extraordinaria tecnología de los **“microchips”**, el circuito impreso miniaturizado, la plaquita de sílice capaz de duplicar ciertas funciones intelectuales humanas.....y en un futuro, quizás, mejorarlas.

Para admiración de muchos y terror de otros tantos, el chip podría ser el primer producto del cerebro capaz de implantarse en el propio cerebro y volverlo más inteligente. La Doctora **Lyn Margulis**, Profesora de Biología en la Universidad de Boston y miembro de la Academia Nacional de Ciencias De Estados Unidos, no duda en considerar al chip como el eslabón entre el hombre actual y una súper raza futura, dotada de un cerebro mixto, en parte natural y en parte diseñado artificialmente.

**Los robots**, con sus tres generaciones que coexisten en la actualidad: La primera generación, que se limita a la realización de tareas repetitivas y simples;

La segunda generación, que está dotada de sensores que han conferido al robot el tacto y la visión, que le permiten reconocer una pieza y sostenerla con la fuerza justa para no deteriorarla ni dejarla caer;

La tercera generación, aún en estudio, compuesta por robots inteligentes capaces de tomar decisiones, gracias a la inteligencia artificial.

El Profesor **Ichiro Kato**, uno de los expertos mas importante del mundo en Biomecánica, ha construido robots capaces de interpretar las ordenes de diferentes tipos de voces humanas y de oler aromas y poder distinguir y diferenciar once vinos diferentes.

Pero la cosa no queda ahí, a los efectos de mejorar el tacto de estos robots, se han diseñado pieles artificiales inteligentes que les permiten una sensibilidad al tacto muy cercana a la humana.

Todos estos avances científicos han influido y forzado desarrollos tecnológicos que, hasta hace muy pocos años atrás, eran solo posibles en la literatura de ciencia ficción. Tal es el caso de las **Tecnologías Liliputienses: la Microtecnología y la Nanotecnología.**

La ciencia se hizo microscópica, descubriendo formas y formulando teorías y leyes validas en ese universo invisible para el ojo humano desnudo.

Pero, no solo se hace **Ciencia Microscópica**, también se hace **Tecnología Microscópica o Microtecnología**, vale decir, se poseen los conocimientos y los medios técnicos aptos para diseñar y producir dispositivos en escala micrométrica, tales como los transistores que se graban en los chips y la fabricación de circuitos integrados invisibles para el ojo humano, pero además, se han construido diversas maquinas simples de carácter experimental, entre las cuales merece señalarse una

Turbina cuyo diámetro es un poco mayor que una décima de milímetro (125 micrómetros exactamente) que impulsada por un finísimo chorro de aire, gira a razón de 15.000 vueltas por minuto.

También se ha construido un Micromotor eléctrico de silicio de 50 micrómetros de diámetro y 12,5 micrómetros de espesor, en el que los dientes de las palas del rotor tienen la dimensión de un glóbulo rojo.

Causa estupor pensar que un hipotético taller con varias decenas de micromáquinas entraría holgadamente en el espacio de una uña.

No obstante, la **Microtecnología** no establece una frontera infranqueable. Aun queda margen para hazañas mayores: las que puede realizar la **Nanotecnología**. Su nombre deriva de “nanómetro”, una medida de longitud igual a la millonésima parte del milímetro.

Es casi una medida de la nada, y por tanto, inmediatamente surgen algunas preguntas: ¿Es posible una Nanotecnología?, ¿Pueden construirse nanomáquinas? ¿Cuales son los principios constructivos básicos y las herramientas utilizables?

El problema parece insólito e inabordable. Sin embargo, es la propia naturaleza la que muestra a las moléculas operando como máquinas programadas para establecer, suprimir y modificar vínculos entre otras moléculas.

Los Químicos y los Biólogos Moleculares han descubierto muchas de las formas de operar de la “**maquinaria molecular**”.

La **Nanotecnología**, según la concibe uno de sus más distinguidos investigadores, el **Dr. Drexler**, se propone, precisamente, imitar la estrategia de la naturaleza. Para ello, estudia la creación de máquinas moleculares artificiales, tales como ensambladores, mecanismos de reparación celular y nano computadoras.

En el mediano plazo, la **Nanotecnología**, probablemente empleará ensambladores del tipo de los robots industriales, controlados por computadoras, para posicionar herramientas moleculares de propósito específico y obtener así, un completo control de la estructura de la materia.

Es posible imaginar ensambladores con múltiples nanomecanismos, engranajes, cojinetes, rotores –muy resistentes y rígidos gracias a los enlaces químicos entre moléculas.

Este impresionante y vertiginoso avance científico-tecnológico ha producido intensas corrientes de cambio que han conmocionado la profundidad de las sociedades contemporáneas, desembocando en una metamorfosis cultural, cuya fuerza motora ya tiene nombre propio:

**LA ALTA TECNOLOGÍA**, haciendo evolucionar a las actividades productivas, en el sentido de hacerse **INTENSIVAS EN CONOCIMIENTO**, lo que ha implicado que algunos países hayan obtenido sensibles ventajas competitivas en el ámbito

internacional en variados segmentos productivos, y aquí, es pertinente repetir las palabras del profesor **Michael PORTER**, de la **Harvard Business School**:

**“La prosperidad nacional se crea, no se hereda. Ella no resulta de los recursos naturales, de la fuerza de trabajo, de las tasas de interés o del valor de la moneda, como la economía clásica lo sostiene. La competitividad de una Nación depende de la capacidad de la industria para innovar y mejorar la producción”**

Todos los logros de la Ciencia y la Tecnología a los que hemos pasado revista aquí son solo una pequeña parte de los que realmente existen, y todos ellos se deben al tremendo esfuerzo e ingente cantidad de dinero invertido en INVESTIGACIÓN, vale decir, en la **ADQUISICIÓN y GENERACIÓN de CONOCIMIENTOS**, y si recordamos la definición de MECÁNICA, como la parte de la Física que estudia el movimiento de los cuerpos, las fuerzas que originan esos movimientos y el origen de esas fuerzas, vemos que casi todo lo que nos rodea es mecánica y por tanto, casi no hay desarrollo tecnológico donde la Mecánica no tenga un papel predominante, y cuando hablamos de desarrollo tecnológico en Mecánica, hablamos de Ingeniería Mecánica.

Por todo lo dicho, está claro que la Investigación en general y, particularmente, la investigación en Ingeniería Mecánica en sus cuatro niveles, vale decir: Investigación Básica, Investigación Aplicada, Desarrollo Tecnológico e Innovación, y especialmente en estos dos últimos, se constituye en el factor más importante y estratégico para el desarrollo y bienestar social, así como para la independencia y soberanía nacional.

**Dr. Ing. Francisco Alba Juez**

**San Juan, septiembre del 2008**