LA EVOLUCIÓN PREMEDITADA

-Ingeniería y Bioética-

FERNANDO RIVERA INSIGNARES

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

MAESTRIA EN BIOÉTICA

2005

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a los Doctores Jaime Escobar Triana y Carlos Maldonado por la guía y las luces que me dieron para que este trabajo fuera posible.

Gracias

INDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción 4

2. NO HAY DIFERENCIA ENTRE LO NATURAL Y LO ARTIFICIAL.

2.1. La evolución de lo inanimado 14

2.2. Resolviendo el problema de la evolución. 22

2.3. Cambiando el problema de la evolución. 31

3. LA EVOLUCIÓN PREMEDITADA.

3.1. Génesis de la tecnología. 36

3.2. El músculo artificial 43

3.3. El cerebro artificial 46

3.4. La imaginación artificial 49

3.4.1. Computer Aided Engineering 50

4. EL FUTURO DE LA VIDA Y LA INGENIERÍA.

4.1. La vida artificial 58

4.1.1. El futuro de la vida 63

4.1.2. Vida artificial basada en máquinas 64

4.1.2.1. La ley de Moore, dividiendo un electrón 64

4.1.2.2. Los límites de la computación 66

4.1.2.3. Los nano-elementos 67

4.1.2.4. Computadores basados en proteínas 68

4.1.2.5. Computación configurable 69

4.1.2.6. La computación evolucionaria 72

4.1.3. Vida artificial Zoomorfa 76

4.1.3.1. Humanos asistidos por máquinas 77

4.1.3.2. ¿Humanos – máquinas? 78

4.1.3.3. ¿Máquinas – humanas? 78

4.1.3.4. ¿Algo nuevo? 79

4.2. ¿Estamos creando nuestra competencia evolutiva? (la evolución no hace juicios de valor sobre sus creaciones!) 81

4.2.1 ¿Habrá una asociación para la conservación del Homo Sapiens? 84

5. LA INGENIERÍA Y LA BIOÉTICA.

5.1. ¿Qué es la Bioética? 86

5.1.1. Metodología para resolver problemas éticos 88

5.2. ¿Qué hace el Ingeniero? 90

5.3. Dilemas éticos del Ingeniero 93

5.3.1. ¿Lo eficaz es justo? 93

5.3.2. ¿La técnica es neutral? 93

5.3.3. ¿Se debe mercadear la ética? 94

5.3.4. La responsabilidad social de la ingeniería 89

5.3.5. La seguridad del público como responsabilidad social 89

5.4. Códigos de ética 100

5.4.1. Utilitarismo 101

5.4.2. Utilitarismo de preferencias 102

5.4.3. Ética del respeto a las personas..... 102

5.4.4. Códigos de ética de asociaciones profesionales..... 103

5.5. La Bioética y la ingeniería 105

6. ANEXOS:

6.1. La Filosofía de la tecnología..... 113

6.2. Códigos de ética en ingeniería. 124

6.3. I + D + i 122

7. BILIOGRAFÍA.

7.1. Bibliografía..... 127

1.- INTRODUCCIÓN.

Desde el inicio del tiempo, que ocurrió en el "Big-Bang", la evolución ha estado presente en el universo como la fuerza que le da forma y sólo hasta hace muy poco hemos empezado a entender como funciona; la materia inanimada y lo vivo han sido el origen y el producto de este proceso dialógico, recursivo y hologramático que ha de ser interpretado a la luz del pensamiento complejo.[1]

Nuestra especie (Homo Sapiens Sapiens) es el beneficiario de un par de propiedades emergentes del proceso evolutivo, que nos han situado en una posición especial, y que son: la conciencia y la inteligencia analítica. La especie humana ha hecho uso de esta última para crear la tecnología, con la cual está compitiendo con "la evolución natural" y ha creado, lo que el autor de este trabajo llama: "la evolución premeditada". El quehacer de la conciencia ha generado la preocupación por lo vivo y se ha preguntado cuál es nuestra relación con ello. La respuesta está en la Bioética.

Este trabajo ha sido preparado como conclusión de los estudios de la Maestría en Bioética y, a su vez, como el inicio de las múltiples ideas, pensamientos y preguntas, aún sin respuesta, sobre las relaciones que existen entre la ingeniería y el Bios.

Las profesiones de la ingeniería han sido acompañadas por códigos de ética, que mejor sería llamarlos códigos de comportamiento, fundamentalmente normativos. La ingeniería, en épocas muy recientes, ha empezado a incluir en su quehacer la manipulación de la vida, por lo tanto, es necesario que los códigos de ética normativos cambien y se transformen en un pensamiento reflexivo que le permita desenvolverse en este nuevo campo. A este cuerpo de conocimientos se le llama la bioética.

La segunda idea, con la finalidad de entender porque la bioética debe ser usada, buscará fundamentar el concepto que la técnica y la tecnología (y por lo tanto la ingeniería) las ha usado la especie humana como estrategia evolutiva. Las creaciones tecnológicas del hombre han evolucionado siguiendo el mismo sendero de la evolución natural: por ensayo y error. Puesto que los ingenieros ya nos ocupamos

---

[1] Edgar Morin, Introducción al Pensamiento complejo, editorial Fondo de Cultura Económica, Bogotá, 1980, p 55

de lo vivo no es permisible que sigamos trabajando por ensayo y error. Debemos reflexionar sobre lo que hacemos. Este trabajo, en primera instancia, buscará ambientar a las siguientes ideas:

- **No hay diferencia entre lo artificial y lo natural**[2]. Lo artificial es toda aquella herramienta, mecanismo o "cosa" creada por la inventiva del hombre, en donde el "saber para poderlo hacer" ha venido a llamarse la técnica. Este trabajo se propone presentar argumentos para demostrar que la técnica es una estrategia evolutiva creada por la especie humana para mejorar su adaptación al entorno e incrementar sus posibilidades de supervivencia. Homo apareció en el mundo como una especie pobremente provista de medios defensivos y / o ofensivos, adaptada a un medio muy particular y fue gracias a sus inventos (técnicos) como logró cambiar su papel de presa a temible depredador. Esto es algo que ninguna otra especie, en este planeta, ha podido hacer.

- **La técnica, al fin y al cabo perteneciente al hombre, ha evolucionado siguiendo el mismo camino de la evolución natural: por ensayo y error**. La primera parte de este trabajo se orientará a mostrar que la técnica es algo que hace parte de la especie humana, que no es algo externo al hombre y que evoluciona siguiendo las mismas leyes de los seres orgánicos. La técnica cambió la forma de vivir de los hombres y, desde una visión ingenieril, se resaltará cuales fueron las invenciones más notables, haciendo énfasis en cómo estos desarrollos han servido para mejorar la adaptación de la especie humana a su entorno, proporcionándole ventaja competitiva sobre otras especies, tratando de demostrar que, inclusive para estos temas, seguimos inmersos en el proceso evolutivo. Se analizará como la Artesanía (manufactura de herramientas y útiles) ayudó a **resolver los problemas** de adaptación del hombre a su medio ambiente y cómo la invención de los procesos productivos permitió, a la especie, modificar su entorno, **cambiar el problema,**

[2] En esencia no son diferentes, sin embargo, muchos autores así lo han considerado y prevalece la concepción que éste es un producto de la cultura humana.

mejorando, aún más, su adaptación a este. Se hará énfasis en como el lenguaje y el intercambio de ideas (Información) fueron el combustible que impulso el vehículo de la técnica.

- **La evolución por ensayo y error de la técnica,[3] se ha cambiado por la evolución "premeditada" de la tecnología.** Otro cambio importante en la historia del hombre es la aparición de la tecnología, a la cual algunos autores llaman "la técnica Científica[4]". Se argumentará el hecho que se está presentando un cambio importante con respecto a la evolución por ensayo y error y se argumentará cómo la especie humana está deliberadamente buscando adaptarse mejor a su entorno haciendo uso de la tecnología: es decir, "la evolución premeditada". El segundo capítulo de este trabajo se dedicará a hacer un análisis de lo que representan la revolución industrial y la revolución Informática en la historia evolutiva de nuestra especie, y puesto que la máquina, el computador, y la biotecnología son el resultado de todo este proceso y, entendido que forman parte de la evolución de la vida, se buscará recalcar como la ingeniería y la tecnología están trabajando en forma planificada en estas áreas, en busca de determinados resultados y ya no sólo trabajan con las fuerzas de la naturaleza o con materiales inertes, sino que han empezado a trabajar con los componentes de la vida, el Bios. Los desarrollos, que en forma premeditada se están buscando, están cambiando y cambiarán muchísimo al hombre, tanto en lo social, como en lo biológico.

- **La vida artificial** es el tercero de los apartes de este trabajo que apunta a hacer relevante la aparición de formas de vida, ya no sólo basadas en el carbono o en el silicio, sino la próxima creación de nuevas formas de vida "artificiales" y, que una de ellas puede ser una nueva especie de

---

[3] Tal y como lo hace la evolución natural

[4] Ortega y Gasset, Metodología de la técnica, 1934, citado por Mitcham Carl en ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Ed. Antrophos, 1989, p 39

Homo Sapiens. Extrapolando la misma senda evolutiva que nos ha traído al presente, y teniendo en cuenta la proximidad de la sociedad del conocimiento, los desarrollos de la biotecnología, etc., la tercera sección del trabajo buscará hacer un análisis de los hechos que ya están cambiando a la sociedad, así como también a la ingeniería. Partiendo de esta reflexión se imaginará un futurible para la inteligencia artificial y para la vida artificial. Y puesto que estos temas habrán de ser de la competencia de la bioingeniería, se buscará concretar las implicaciones éticas y morales que este futuro genera. En esta sección se replanteará la clasificación de las ingenierías, teniendo en mente en separarlas en aquellas (las clásicas) que trabajan con la física clásica y las nuevas, que en forma vertiginosa empiezan a trabajar con la vida, que formarán el grupo que ha de denominarse "Bioingeniería". Se buscará replantear el significado tradicional del término "Bioingeniería" para que sea aquella rama de la ingeniería que trabaja con seres vivos y no como la que se dedica a la ingeniería hospitalaria, a la instrumentación médica o acaso al desarrollo de elementos y materiales para la biomecánica.

- **La Ingeniería y la Bioética** será el tema de la cuarta sección pues, en este momento ya no es admisible que la evolución premeditada de la tecnología aún siga siendo por ensayo y error. Es necesaria una línea de pensamiento que haga reflexionar, prever, valorar, sopesar, conocer, etc. las consecuencias de los actos (o la falta de estos) que ejecutan los tecnólogos. Así que a manera de conclusión, pero más como preguntas a responder, la última sección pretenderá el abrir un espacio de reflexión acerca de los cambios que está provocando la tecnología en nuestra sociedad y proponer a la Bioética como la línea de pensamiento que sirva de guía para el desarrollo de la actual y la futura ingeniería. Los ingenieros han empezado a trabajar con seres vivos y en múltiples ocasiones, en el ejercicio de su profesión, deben tomar decisiones que afectan la vida de personas, o de animales o del medio ambiente. Hasta ahora los códigos de comportamiento (aunque los llamen de ética) llaman a ser "un buen y responsable empleado, que ha de buscar la calidad y la seguridad

en los productos que diseñe, teniendo en mente el maximizar la relación beneficio / costo para su empleador[5]". Es evidente que esta apreciación no es adecuada y numerosas preguntas deben ser contestadas, desde un punto de vista mucho más amplio, que es el de la Bioética. Esta parte final del trabajo estará dedicada a pensar y proponer acerca de las responsabilidades morales y éticas que plantea el ejercicio de la ingeniería. Se pretende iniciar un análisis que permita a los Bioingenieros el acceder a las concepciones Bioéticas que, en otros campos del conocimiento colonizados por la tecnología, ha hecho que sus profesionales cuestionen las acciones u omisiones que, en el ejercicio de esas profesiones, afectan la vida. En resumen, la Bioingeniería requiere de un pensar que guíe su desarrollo y este es la Bioética.

Tal y como se menciono anteriormente, la técnica y la tecnología están siguiendo la misma senda de la evolución natural, usando múltiples ensayos y errores y el producto que mejor se adapte, sobrevive. La evolución natural no hace juicios de valor sobre los seres que produce, en esa misma idea el Tecnólogo defiende la libertad de experimentar. La naturaleza y su evolución no tienen una ética, en cambio los humanos tenemos una, pero en el caso de la tecnología, no ha de ser normativa sino que ha de ser dinámica, adaptativa, sobre todo reflexiva, según el cambio de nuestro entorno científico. Una ética normativa no es muy útil frente a la evolución de la vida, sólo la Bioética, al ampliar el espectro de lo humano a todo lo vivo (el BIOS), nos permitirá formular juicios que trasciendan lo tradicionalmente "humano" y que nos permitan incluir algo que estaba por fuera de esta concepción: la tecnología. La tecnología y la técnica usualmente fueron consideradas "neutras" desde el punto de vista moral o ético, pues eran "algo" externo al hombre.[6] En este trabajo, al sostener el punto de vista que la técnica y la tecnología hacen parte del ser humano como adaptaciones evolutivas de él mismo, no pueden ser consideradas neutras sino que deben ser parte del quehacer ético del ser humano. Las matanzas tecnificadas de las dos guerras mundiales, el poder atómico, la guerra bacteriológica, la manipulación del

---

[5] En uno de los anexos de este trabajo se podrán consultar códigos de ética de varias asociaciones de ingenieros.
[6] Jaques Le Mouel, Lo eficaz es justo?, Ediciones de Seuil, Paris, 1991. Traducción de Alberto Supelano, p 110

DNA y del Genoma hacen que la tecnología no sea más "algo" neutro desde el punto de vista moral y ético[7]. La Bioética habrá de ser el pensar que decida si alguna actividad tecnológica es correcta o no.

Con la finalidad de complementar alguna de las ideas que se exponen en el trabajo y por no ser parte de la línea de pensamiento que lo guía, se presentarán varios anexos, como ilustración adicional para alguna de las ideas que se presentarán en el cuerpo principal del documento.

En primera instancia se hará un resumen histórico de las ideas de algunos autores acerca de la Filosofía de la tecnología. Habrá puntos de vista de Tecnólogos y de Filósofos a fin de contrastar las diversas visiones que tienen sobre este tema. Se resaltará que sólo hasta la segunda mitad del siglo XX es que se ha empezado a hablar formalmente sobre algo que ha acompañado al hombre desde sus orígenes que es la tecnología, y sólo, hasta ahora, en forma tímida se está hablando de los conflictos éticos de la tecnología.

Y, finalmente, para información de los ingenieros, se hará un resumen de los códigos de ética de las principales asociaciones de ingenieros, a nivel mundial, acompañados de algunas apreciaciones del autor sobre estos temas.

[7] Aunque es cierto que la técnica nunca ha sido neutra muchos autores defienden la neutralidad de la misma.

2.- NO HAY DIFERENCIA ENTRE LO ARTIFICIAL Y LO NATURAL

Cuando se transita por un camino y se mira hacia atrás (y se ve el camino recorrido), sólo de una cosa tendremos certeza: cuál es la dirección en que veníamos recorriéndolo. Aunque algunos afirmen que lo importante es mirar hacia adonde vamos, es también importante saber de donde venimos, pues la inercia que se trae nos arrastrará por esta senda un tramo más. En este capítulo se dará una mirada al pasado de la evolución del universo (aunque en este momento está sucediendo) con la intención de enfatizar en una idea: siempre que hay cambios en el medio ambiente habrá mutación para adaptarse, la cual es la ley fundamental de la evolución. Se hará un recuento de la evolución de lo inanimado porque se desea enfatizar que hay una sola evolución y cobija a todo lo que hay en el universo, desde el punto de vista de las ciencias de la naturaleza no hay diferencia entre lo inanimado y lo animado (seres vivos) y por lo tanto la evolución de lo inanimado es el comienzo de la evolución de la vida. El ser humano le ha añadido complejidad a la evolución natural, por eso se tocará el tema de la técnica y su relación con la evolución del hombre para tratar de imaginar como será el camino que nos lleve a uno de los posibles futuros que nos aguarda y pensar como estar preparados para los cambios que nos afectarán, a nosotros como especie, y a la vida en general.

2.1- LA EVLOLUCIÓN DE LO INANIMADO. (En un principio…)

El pasado no es infinito, se acaba en el Big-Bang. En cambio, el futuro es posiblemente infinito y se inicia en el Big-Bang y es ahí en donde se inicia la evolución, asunto que será el hilo conductor de este trabajo.

En el principio, toda la energía, todo el espacio y todo el tiempo del universo estaban concentrados en un volumen muy reducido. Porqué sucedió el Big-Bang?, nadie lo sabe aún[8]. De lo que se tiene certeza es que en ese momento aparece la evolución en el universo. El universo primigenio (momentos después

[8] Las modernas teorías de cuerdas, supergravedad y múltiples dimensiones parecerían dar una explicación. Ver el libro de Stephen Hawkings, El universo en una cáscara de nuez, Editorial Planeta, 2001, p 41

del Big-Bang), que era sólo energía, se fracciona en múltiples partículas elementales (Fotones, Leptones, Quarks) todas ellas con ciertas características simples que, al azar, empiezan a interaccionar entre ellas, en múltiples y complicadas[9] formas, logrando configuraciones tales, que la asociación de estos elementos primarios encuentra estados estables y permanentes que ahora llamamos protones, neutrones, electrones, etc. perfectamente identificables y diferenciados entre ellos. Las propiedades de las partículas elementales son muy simples, pero tienen implícita la posibilidad de asociarse con otras, que les son complementarias, y "crear" una nueva partícula, más compleja y más estable.

Salta la pregunta: ¿Porqué existen esos estados estables y no otros?[10] Los físicos atómicos y sus asociados, los matemáticos, han encontrado modelos que proporcionan explicaciones satisfactorias para la aparición de estas partículas, sin embargo, todavía no explican qué son. Un principio (tendencia, orientación, dirección, etc.), se hace evidente, y es: lo simple busca hacerse complejo. Es la primera vez que la naturaleza contradice el 3er principio de la termodinámica[11]. Las fuerzas primarias (electromagnética, fuerte, electrodébil y gravitacional) al actuar son las que provocan la complejidad en ese universo primario.

Pasado un tiempo (tal vez 700.000 años) el universo ha crecido tanto en tamaño que se vuelve "transparente". La radiación que lo mantiene caliente se escapa al espacio vacío (cuya seña es la radiación de fondo de hoy en día) y las partículas elementales, enfrentadas a tan drástico cambio en su medio ambiente, se adaptan a este nuevo entorno asociándose para "crear" nuevas formas complejas.

---

[9] De aquí en adelante tendré cuidado en diferenciar los "sistemas Complicados" de los "sistemas Complejos"; más adelante se definirá cada uno de ellos.

[10] Jay Gould habla de "rupturas" en los estados estables del universo en evolución. En este documento enfatizamos los segundos sin desconocer los primeros. Gould Jay, Mundos Posibles, en La vida maravillosa ,Burgess Shale, Editorial Crítica, Barcelona, 1991.

[11] Ver Stuart Kauftman, Investigations, Oxford University press, 2000, p 58

Es el momento cuando aparecen los átomos. Hay que anotar que en esa época la tabla periódica sólo tenía dos elementos: Hidrógeno y Helio[12].

Hasta este momento sólo eran evidentes las fuerzas (interacciones, relaciones) entre los elementos primarios. Al aparecer los átomos se hacen evidentes las fuerzas nucleares y atómicas y la naturaleza alcanza otro estado estable y de equilibrio, perfectamente identificable que son los átomos.[13] La estabilidad de estas configuraciones puede servir para definir un sistema complejo. Es aquel cuyas propiedades (comportamientos, particularidades) son mayores que la sumatoria de las propiedades (comportamientos, particularidades) de sus partes. Del estudio y descripción de las partes (electrones, protones y neutrones) no se puede colegir el estado estable del conjunto, ni tampoco se pueden predecir sus comportamientos. Los átomos son los sistemas complejos más simples que existen y los físicos usando sistemas complicados[14] pueden con cierta exactitud, predecir (ó tal vez prever) los comportamientos complejos de estos.

Resumiendo, a estas alturas de la historia ya se habían sucedido dos cambios en el "medio ambiente", que se van a analizar:

Primero: En el momento "cero-menos"[15] del Big-Bang existía un estado estable, el contenido del universo era sólo energía. Unos instantes después, al haberse roto el estado estable a causa de la explosión, el ambiente cambia y la energía pura debe adaptarse a estas nuevas condiciones (menor

---

[12] Aún no están muy seguros los físicos, pero aseguran que buena parte de la materia y la antimateria aparecida en el momento del Big-Bang se aniquiló y los "sobrantes" es de lo que esta hecho el universo actual. En la contabilidad de materia que rutinariamente hacen los físicos tienen un "descuadre" equivalente a 3 veces la materia actual del universo y que no han podido encontrar. Prudentemente han llamado "materia oscura", a este faltante.

[13] Ibidem 10

[14] En contraposición un sistema complicado es aquel en el cual las propiedades del total resultan de la sumatoria de las propiedades de las partes. Por ejemplo: un automóvil es un sistema complicado más no un sistema complejo. Un virus es un sistema complejo. Usualmente los sistemas complejos son sistemas complicados

[15] Expresión utilizada en ingeniería Electrónica para definir, en un sistema, el momento en el que se deben cuantificar las condiciones iniciales del mismo. Es un concepto mental, imaginario, que describe el estado del sistema "justo antes" que ocurra una acción. El "cero" es el momento en el que ocurre la acción y el "cero-más" es lo que sucede "justo después" de haber ocurrido la acción.

presión y menor temperatura) cambiando a estados que son estables para esas condiciones: fotones, leptones y quarks.

Segundo: A los 700.000 años el universo ha crecido tanto que su presión interna y su temperatura caen a extremos (cambio en el entorno) tales que los "habitantes" de este universo tienen la necesidad de adaptarse a estas nuevas condiciones "evolucionando" a formas en las que puedan sobrevivir en este nuevo entorno. Los Quarks se combinan (asocian) entre sí en múltiples formas, interaccionando al azar, y todos estos nuevos entes (combinación de Quarks) tienen propiedades estables en esas nuevas condiciones. Constituyen lo que ahora llamamos partículas elementales: Leptones y Hadrones, que a su vez, forman los primeros átomos de Hidrógeno (H), Deuterio (H_2), Tritio (H_3) y Helio (H_4).

La Materia (o inanimado) propone la primera de las reglas de la evolución: Ante un cambio en el entorno la especie debe adaptarse haciendo uso de la mutación[16].

La naturaleza no se queda quieta, tantos átomos libres moviéndose al azar (materia) en el espacio vacío, originaron la emergencia de una propiedad (fuerza) que no se había manifestado hasta entonces: la gravedad. La materia se empezó a agrupar en nubes, antecesoras de las galaxias, que a su vez internamente se agruparon en nubes más pequeñas en su interior (protoestrellas) que conducirían finalmente a la formación de estrellas.

El medio ambiente, por tercera vez, cambió: la tranquilidad de los primeros átomos ha sido perturbada por la gravedad. Esta fuerza inicia un proceso que hará más complejo el universo en el que ha aparecido, y la única forma de adaptarse a estos cambios es mutar a nuevos estados que soporten estas nuevas condiciones. El hidrógeno es "triturado" con grandes presiones y con grandes temperaturas por la gravedad. Esto ocurre en un horno muy especial: el núcleo de una estrella. Este se ha formado a causa de la atracción gravitacional entre las partículas de la nube. La "propiedad emergente" de la

[16] Ibidem 10

materia, la gravedad, es el instrumento con el cual la materia muta a estados estables en ese nuevo ambiente: átomos más complejos.

Las propiedades emergentes, adquiridas por el sistema, serán utilizadas para generar nuevos cambios evolutivos, y esta es otra de las propiedades de la evolución natural.

El proceso es ahora mucho más complicado y lento, si antes tomó 700.000 años, ahora puede tomar 5.000 millones, para que en esta cocina estelar se prepare Helio, Sodio, Potasio, Calcio, Oxigeno, Carbono, Silicio, Níquel, etc.[17] La naturaleza entrega a domicilio todos los productos de sus cocinas estelares: colosales explosiones conocidas como "Supernovas" explayan por el universo estos productos en forma de gigantescas nubes de gas, compuestas de átomos complejos.

La gravedad siempre pendiente de su trabajo, vuelve a condensar estas nubes, sólo que esta vez están compuestas de diversos átomos, (combinaciones crecientemente complejas de partículas elementales, cada uno de ellos en un estado estable y perfectamente diferenciados entre ellos) y repite el proceso que llevó a la formación de las estrellas. Esta vez ocurre algo diferente, los átomos ligeros tienden a condensarse en el centro de la nube y los pesados en su exterior. Aparecen las estrellas con planetas a su alrededor, los cuales, como dice Carl Sagan, "están compuestos de cenizas de estrellas". Aparece otro estado estable para la materia: los sistemas solares.

Los actuales modelos matemáticos de los Físicos se empiezan a agotar en este momento. Lo complicado y lo complejo de lo que pasa no alcanza a ser descrito, en forma científica, apropiadamente.

Hasta este punto se habla de la "evolución química" del universo, que es el aspecto más simple de este sistema complejo, y los modelamientos matemáticos actuales permiten describir la "Compliqueidad[18]" del sistema y en muy buena parte describir la "Complejidad[19]" del mismo.

---

[17] Leer el libro "La estructura del universo" de G. J. Whitrow, Fondo de Cultura Económica, tercera edición, 1966, para entender la evolución estelar

[18] Participio activo de complicado.

Un protoplaneta es, nuevamente, un estado estable y perfectamente identificable de una agrupación de átomos. Es un Sistema Complejo de nivel mucho más complicado en el cual son evidentes varias propiedades emergentes: Núcleos calientes, campos magnéticos, atmósferas de gases, sismicidad, actividad volcánica, etc. Fuerzas nuevas, que no eran evidentes hasta el momento, que en conjunto con las que ya existen iniciarán el proceso de hacer más complejo lo existente y buscarán crear orden de donde aparentemente no existe.

En estos planetas jóvenes, nuevamente se inicia un cambio en las condiciones. La naturaleza inicia un proceso largo, en nuestro caso de unos 3.000 millones de años, en los cuales los gases que rodean al planeta, los líquidos de su atmósfera y de su superficie, así como minerales y elementos del subsuelo, las radiaciones de la estrella central ("centro de gravedad" de su existencia), así como las descargas eléctricas de su atmósfera, etc., harán evidente una fuerza que no había sido percibida: la química. Átomos que en el entorno del núcleo del sol no se habían podido relacionar ahora si lo hacen, porque el nuevo entorno es más frío y no esta sujeto a grandes presiones.

El entorno volvió a cambiar, ya no es caliente, ni sobrepresionado, ni radioactivo, como en el núcleo del sol, no, es el "pacífico" ambiente de un planeta joven. En este nuevo ambiente, los átomos "inician" la búsqueda de nuevos estados estables y perfectamente diferenciables entre sí: aparecen los compuestos químicos[20]. Simples, clasificados dentro de la llamada química inorgánica.

Hay que hacerse la pregunta: ¿porqué aparecen estos estados estables? ¿Y porqué tantos?[21]

La tabla periódica, (el trabajo de muchas mentes) ha proporcionado un cuerpo de conocimientos que explica, basándose en propiedades reconocibles de los átomos, las posibles formas para combinarse y predecir los estados estables que alcanzarán, y es a este conjunto de saberes el que llamamos la

---

[19] Participio activo de complejo

[20] La descripción y explicación de todos estos eventos es lo que Actualmente llamamos "La Química Inorgánica"

[21] Ibidem 10

química. En el libro "La biología del futuro se lee: "*Cuando en un sistema aislado tiene lugar un proceso tras la eliminación de una serie de restricciones internas, el sistema alcanzará el estado único de equilibrio, el cual es independiente del orden en que se eliminan las restricciones*"[22].

La superficie del planeta cambia otra vez, existen toda suerte de compuestos químicos, cada vez más complicados (y complejos) como fruto de miríadas de interacciones azarosas, que los hace estar mejor adaptados a su entorno. Los compuestos más elaborados empiezan a interactuar y producen un nuevo tipo de ente que es la, hoy llamada, la molécula orgánica. ¿Porqué ese nombre? Porque presumimos que estos son los "bloques lego" con los cuales se pueden ensamblar los seres orgánicos y por ende, vivos. Los "habitantes" de la llamada química inorgánica mutan a compuestos que se clasifican en una nueva categoría, con mayor nivel de complejidad, que se llama moléculas. Aparece la categoría de los elementos de la química orgánica. Kauffman en su libro Investigations[23] dice: "*La biosfera se construyó a sí misma por la emergencia y persistente coevolución de los agentes autónomos, el autor enuncia una cuarta ley de la termodinámica que dice: nuestra biosfera expande la dimensionalidad de su adyacente posible, en promedio, tan rápido como pueda*". Esto nos lleva al oportunismo de la vida, que se hace posible en cuanto haya condiciones para serlo.

Recalcando lo dicho antes: lo simple busca hacerse complejo. Hay, siempre, una propiedad elemental, propia de las partes, pronta a interaccionar con otras partículas, al azar[24], que permite que la conjunción de ambas (o más de dos partículas) encuentre un estado estable. Hasta ahora, temas estudiados por la física y por la química, ha sido posible para los científicos el modelar las propiedades y los comportamientos de estos sistemas complejos "simples".

---

[22] Schneider y Kay en la Biología del Futuro, Tusquets 1999, pag.224.

[23] Kauffman, Investigations, Oxford University Press, 2000, pp 159 –269

[24] No deseo que la afirmación "Lo simple busca hacerse complejo" implique una causalidad o una intencionalidad, no, todo es hecho como le gusta a la naturaleza: ensayando, al azar, todas las combinaciones posibles.

Todo lo expuesto hasta el momento tiene la intención de presentar un hecho de la naturaleza: El entorno cambia, las especies[25] mutan y cada mutación lleva a nuevos estados, usualmente más complejos, que presentan propiedades emergentes que habrán de servir de base para nuevas mutaciones. Otra apreciación en la que se quiere hacer hincapié es que el concepto de evolución puede ser ampliado a lo inanimado, no sólo lo vivo está sujeto a este proceso. En capítulos posteriores se habrá de ampliar este concepto hasta que incluya las obras del hombre. Kauffman piensa que es posible explicar la aparición de vida a través de otras herramientas como las ciencias de la complejidad y la autoorganización. Su tesis está encaminada a "generar una cuarta ley de la Termodinámica" para sistemas abiertos, que permita explicar la creación de forma, el comportamiento y el aprendizaje de la Autoorganización. Y propone lo siguiente: "*en primer lugar, unir la teoría de la evolución basada en la selección natural con autoorganización; y en segundo lugar, unir la teoría de la evolución con la termodinámica*"[26]

El entorno está preparado con nuevos actores: las moléculas. El conjunto de propiedades emergentes que tienen, y que hoy llamamos la Bioquímica,[27] son las que inician el nuevo camino de hacer complejo lo simple, para llevarnos al fenómeno emergente más sorprendente que ha habido, y que no era imaginable: la vida.

Se puede entonces reformular el principio de la Complejidad: "*lo complejo genera sistemas complejos con propiedades más complejas que la sumatoria de complejidades de las partes*"[28]. Esto permite entender porqué se ve

---

[25] Especies que han existido, hasta el momento en el universo (en su orden):
- Radiación
- Fotones, Leptones y Quarks.
- Átomos.
- Compuestos químicos inorgánicos.
- Compuestos químicos orgánicos (moléculas).

[26] Kauffman, Investigations, Oxford University Press, 2000, pp 159 –269

[27] Cuando hablo de la física, la química, o la bioquímica como los motores de la evolución, lo estoy haciendo metafóricamente. El conjunto de propiedades de las partículas, cuando interactúan entre sí, es lo que produce los efectos, los cambios y la evolución; es una interacción ciega, al azar, con múltiples intentos fallidos y unos pocos afortunados y es a todo este proceso al cual le doy el nombre de física, química ó bioquímica.

[28] Stewart Ian, 2001, Juega Dios a los dados?, citado por Ingeborg Carvajal en: Ciencia, Tecnología y Bioética como aprendizaje evolutivo, Colección Bios y Ethos, Ediciones el Bosque, Bogotá 2003. p 188 - 199

tanta diferencia entre lo vivo y lo químico, aún cuando las diferencias estructurales sean pequeñas. Las propiedades emergentes de este nuevo sistema complejo son realmente sorprendentes: **"EL BIOS".** El producto reconocible, por excelencia, es la Célula.

Es el momento de hacer un alto en este proceso evolutivo que se ha venido ilustrando, para centrarnos en uno de los nuevos estados estables y reconocibles que ha adquirido la Bioquímica: la especie humana[29]. A continuación, en la exposición del próximo tema, se tratarán de entender cuales son los motores de la evolución del Hombre, bajo la luz de los conceptos presentados en este primer numeral y reflexionar sobre la afirmación que hace Wilson en su libro "la diversidad de la vida": "*la historia del universo es la de una evolución constante, en la que se producen dos transformaciones de fase importantes, la primera el paso de la energía a la materia y la segunda cuando la materia se transforma en vida.*" [30]

---

[29] Se ha dado un salto de 2.000 millones de años en la historia que se ha venido narrando.

[30] Wilson E., La diversidad de la vida, Ed crítica, 1994, p 190 - 192

2.2- RESOLVIENDO EL PROBLEMA DE LA EVOLUCIÓN. (La técnica y la Artesanía)

La evolución se ha descrito como la capacidad que tienen las especies para adaptarse a los cambios de su entorno a través del mecanismo de la supervivencia del más apto. Todas las especies han desarrollado estrategias para ser los más aptos en un entorno determinado y de esa forma asegurar la prolongación de su especie en el tiempo. Cada vez que hay un cambio importante en el entorno de una especie, que afecte vitalmente a la mayoría de los individuos, existirá la posibilidad de una extinción (desaparición) de la especie en cuestión. La "sabiduría" de la evolución ha generado individuos diferentes[31], quienes usualmente están en peligro de desaparecer, pues no están cien por cien adaptados al entorno. Irónicamente serán estos últimos quienes darán la posibilidad de supervivencia a la especie puesto que la sub-adaptación que poseen al entorno puede, a raíz del cambio, convertirse en plena adaptación.

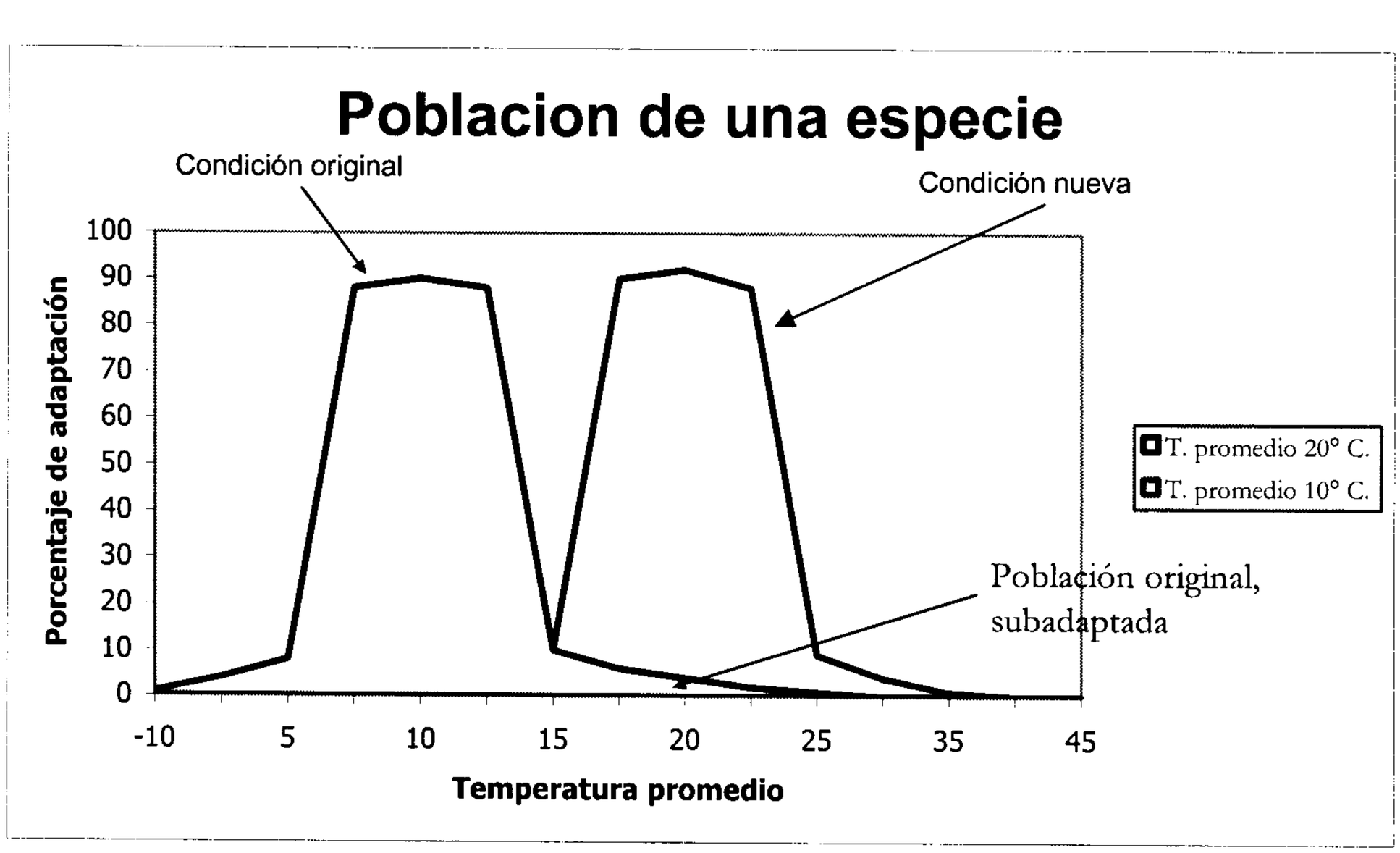

Figura 1

[31] Aquellos a los que el azar de la genética los ha hecho ligeramente diferentes a sus compañeros de especie, se puede decir que hay un porcentaje, por ejemplo, del 90% de individuos perfectamente adaptados al entorno, un 10% pobremente adaptado (sub-adaptado).

Observando el gráfico se puede entender mejor el concepto expuesto. En la población original la gran mayoría de individuos estaba adaptado para vivir en un ambiente con temperatura promedio de 10 grados centígrados, por ejemplo, la temperatura global. Un porcentaje pequeño, "los diferentes" podían vivir en ambientes con temperaturas menores (cero grados) y otro pequeño porcentaje podía vivir en ambientes muy cálidos (20 grados). Al producirse el cambio ambiental (como el que sucedió cuando terminó la última era glaciar y el planeta se calentó) la población adaptada a altas temperaturas será la que se reproducirá con más éxito y los exitosos de antes pasarán a ser la minoría que ahora vive en el frío. Esta misma dinámica se seguirá presentando cada vez que ocurran cambios y, sólo los individuos que estén adaptados de nacimiento serán los que puedan perpetuarse. Se recalca la idea que no es el individuo el que se adapta al cambio, es la especie la que se adapta. Sobre este punto, en su libro "*la lógica de lo viviente" Jacob*[32] *considera que "la lógica de la vida se explica gracias a la contingencia de los fenómenos, a su flexibilidad, a una total ignorancia de sus efectos despojando a dicho nivel de organización de una vez por todas de los modelos deterministas, consecuencialistas que una vez se le asignó*". De igual manera, plantea que en el caso de que se produzcan modificaciones se dan a ciegas, cuyo resultado es la inmensa variedad del mundo vivo, esto es, una gran diversidad de sus formas. En palabras de Maldonado[33] "*la lógica de la vida es, en el lenguaje de F. Jacob, un juego de posibles*".

Los individuos adaptados sobrevivirán, así como sus descendientes, pero el resto de individuos perecerá, poniendo de relieve la forma como trabaja la evolución: todos aquellos que no se adapten han de desaparecer. Una vez nacido un individuo no pueden aparecer cambios biológicos, en él, que lo adapten al cambio del entorno, sólo aquel que desde su nacimiento era diferente (con mayor posibilidad de desaparecer que los otros), y el cambio le es favorable, se beneficiará con una mejor adaptación al entorno cambiado, y sobrevivirán él y su descendencia, puesto que tienen en sus Genes esa ventaja competitiva y serán los que prevalecerán. En otras palabras, un cambio genético que beneficie a una especie enfrentada a un cambio en el entorno, sólo podrá "memorizarse" en su DNA a costa de la

---

[32] Jacob F, La lógica de lo viviente, una historia de la Herencia, Tusquet editores p. 15 – 78

[33] Maldonado, C. (Ed.) (1999). Visiones sobre la complejidad. En: Colección "Filosofía y Ciencia". Bogotá: Ediciones Universidad El Bosque. Pág. 24.

muerte de los individuos que no lo posean y de la supervivencia de los que lo tengan. Así, en el futuro, sólo existirán individuos adaptados al nuevo entorno. Se debe tener en cuenta que para reemplazar totalmente a la anterior población pueden ser necesarias varias generaciones de individuos "diferentes". Concluyendo, la evolución es despiadada con los individuos, pero es generosa con las especies cuando estas memorizan los cambios que las adapta al nuevo medio ambiente.

Un punto de vista que aclara esta concepción lo da Stewart en su libro "El segundo secreto de la vida" cuando afirma que: "*de esta manera, nos amplia el concepto de la vida al no considerarla como una cosa (un tipo particular de estructura molecular) sino que la concibe más como una forma de organización de la materia en la que la vida es tan sólo una propiedad emergente, cuyos rasgos principales son la adaptabilidad, flexibilidad, reproducción, autocomplicación, autoorganización, entre otros*" [34]

En el caso del ser humano la estrategia evolutiva desarrollada para adaptarse a su medio no fue la de la mayor fortaleza o la de mayor velocidad o la de tener poderosas defensas óseas o la de tener adaptaciones para agredir. No, el Homo y sus antecesores quiénes hace tres millones de años eran presa y sobrevivían como carroñeros, al estar enfrentados a los cambios de su medio ambiente, (cuyo entorno cambia cíclicamente con las edades de hielo del planeta), hubieron de adaptarse a nuevas condiciones de su entorno. Resulta claro que la evolución privilegió a los más inteligentes y a los más hábiles para adaptarse al cambio de selva húmeda a sabana (glaciación de hace aprox 1.800.000 años), en donde la especie generó estrategias más complejas para evitar ser víctimas de los cazadores, y poder tener descendencia. Esta última los sobrevivió, fue poseedora de mayores cerebros y de una mayor inteligencia. El éxito de su adaptación se prueba con el hecho que hoy estamos aquí.

Los orígenes de la especie humana se remontan a un período comprendido entre los 5 y los 6 millones de años en el pasado[35]. Los análisis genéticos hechos en el DNA mitocondrial de humanos y primates

---

[34] Stewart I, El segundo secreto de la vida, las nuevas matemáticas del mundo viviente, Editorial Crítica, Barcelona p. 1 – 58

[35] Ver "La evolución de la especie humana" Sherwood L. Washburn, Scientific American, segunda edición 1982, p 127

fija la fecha en la cual, partiendo de un antepasado común, tomaron caminos evolutivos separados la especie humana y la de los antropoides.

Se tiene claro que nuestros antepasados eran una especie perfectamente bípeda, con una dieta predominantemente vegetariana, en posesión de un cuerpo humano y una cabeza de mono, con locomoción deficiente en tierra y movilidad deficiente[36] en las ramas. Hoy se presenta una encendida discusión si se vivía en la selva o en la sabana, o acaso como lo proponen otros, en una fase acuática. En todo caso viviendo en el África, en un ambiente en el cual las particularidades genéticas de la especie le permitían una adecuada adaptación.

Millones de años pasaron, múltiples mutaciones de este antepasado hubo, eso sí, cada vez teniendo un mayor cerebro. Hubo algunas migraciones fuera del África que intentaron poblar otros continentes, y hace más o menos un millón de años surgió Homo Erectus. Esta rama de los Homo no estuvo sola, en ese mismo lugar y tiempo coexistieron otras dos o tres especies de Homínidos, todas compartiendo muchas características propias de nuestra especie actual. Para esta época el clima mundial se hizo más seco y buena parte de la selva donde vivió Homo se convirtió en sabana. Es decir, hubo un cambio importante en el medio ambiente, en **su** entorno. La mutación (mayor cerebro, una propiedad emergente), que lo había hecho exitoso en el ambiente boscoso se reforzó y sólo los que tenían mayor cerebro (mayor inteligencia) sobrevivieron en ese nuevo entorno. ¿Cómo?

Este nuevo espécimen tenía una capacidad cerebral[37] mayor que cualquiera otra especie en la historia evolutiva del planeta, es decir, su cerebro se había vuelto tan complejo que tenía una capacidad para memorizar y para analizar las ocurrencias de su diario vivir que probablemente no poseía otra especie. La inteligencia y, con seguridad la conciencia, hicieron emergencia en estos individuos. Así se inició la historia de nuestra especie en particular, la cual ha hecho uso de estas propiedades emergentes (el

---

[36] "Deficiente" desde nuestro punto de vista moderno, desconocemos el detalle del habitat de ese entonces, en el que, seguramente, la especie estaba bien adaptada.

[37] Hay que tener en cuenta la relación: masa cerebro / masa corporal. Un chimpancé actual tiene unos 350 cc de masa cerebral contra los 850 cc que tuvo Homo Erectus.

producto de la complejidad de su cerebro) como mutación que los adapta, mejor, al medio ambiente en donde viven.

La inteligencia es una propiedad emergente de un cerebro complejo, por lo tanto, hay un momento en la historia de la especie humana en la cual la cantidad de inteligencia disponible dio, a la especie Homo, la posibilidad de detener la inexorable evolución biológica y artificialmente empezar a cambiarse él, para mejorar su adaptación a un entorno que no le era favorable. Hay evidencias arqueológicas que hace cerca de un millón de años Homo empezó a fabricar herramientas en piedra y empezó a usar el fuego. El punto de vista tradicional acepta que estos son los inicios de la tecnología en la especie humana y a causa de todas estas herramientas que fabricó, le fue más fácil sobrevivir y cambiar su papel de presa a depredador.

Evolutivamente el cambio de presa a cazador es un cambio importantísimo. Prácticamente ninguna otra especie, en la historia del planeta, lo ha podido hacer, y el hombre lo pudo gracias a que su cerebro y por ende su inteligencia le permitieron crear las "herramientas" con las cuales producir ese cambio. La especie humana se adaptó mejor a su entorno, así no fuera el más apto, y logró que sus descendientes poblaran todo el planeta.

Sobre este punto Kauffman dice: "*No todos los sistemas complejos se pueden explicar por un proceso evolutivo. La evolución fue mucho más rica de lo que Darwin supuso… pone en evidencia una autoorganización espontánea que se mezcla con la selección natural, de manera apenas entendida, mostrándonos la magnificencia de nuestra biosfera.*"[38]

Muchos animales, en la naturaleza, usan herramientas, por ejemplo: los chimpancés usan ramas para capturar termitas, piedras para partir nueces. Las nutrias usan piedras para partir ostras, algunas rapaces dejan caer los mariscos para abrirlos, etc. El Homo Erectus usó herramientas más especializadas, preparadas por él mismo, es decir, los animales improvisan con lo que tienen a mano, en cambio los

---

[38] Kauffman, Investigations, Oxford University Press, 2000, pp 159 –269

Homo modificaron intencionalmente la piedra para que esta sirviera a sus propósitos y en esto radica la superioridad del cerebro Homo sobre el de las demás especies[39].

Homo Erectus y su descendiente Homo Ergaster no fueron capaces de concebir la máquina, sólo hasta la aparición de Homo Sapiens se pueden tener indicios de la creación de los mecanismos. Una trampa, camuflada, para atrapar animales podría ser un mecanismo simple ideado en épocas pretéritas. Arco y flecha son un invento moderno y es otro ejemplo de mecanismos simples. En este punto de la evolución hace aparición otro de los elemento que hará que las técnicas que ha desarrollado Homo sean mejoradas y sean heredadas de una generación a otra: el lenguaje. Si bien es cierto que nos es muy difícil saber cuál fue el lenguaje que se poseía en esa época, podemos imaginarlo compuesto por dos elementos, que en general poseen todos los primates. En primer lugar, un lenguaje no verbal, gestual, más sofisticado que lo que hubiera podido existir hasta entonces, en razón de los múltiples músculos que posee la especie humana en su rostro. Esto le permite una colección de expresiones mucho más amplia que la de cualquier otra especie viviente y, por lo tanto, permite una mayor y mejor capacidad para comunicar emociones e ideas. En segunda instancia, un mayor cerebro y, por ende, una mayor inteligencia probablemente hicieron que la comunicación verbal, (sonido y modulaciones), fuesen mas sofisticados y pudieran transmitir más información. El lenguaje, en esa época, es probable que se pareciera al de los bebes de un año de hoy en día. Otro elemento que, observando como hoy en día nos comunicamos, debió ser importante es el lenguaje postural del cuerpo: manos, brazos, hombros, posiciones corporales, que todos usamos hoy en día y que es evidente que traspasa las fronteras del idioma verbal de los individuos. Esta facilidad que tenemos es a causa de una especialización de nuestros cerebros en, lo que es llamado, "la motricidad fina".

Una de las ideas que quiere reafirmar este trabajo es que el ser humano gracias a su aumento de cerebro y de inteligencia le ha dado a la vida una nueva estrategia de evolución, que no

---

[39] Ver en la página 112 las apreciaciones de Erns Kapp y en la 114 las de Alfred Spinas sobre este tema.

existía hace un millón de años, y que progresivamente hemos ido refinando en nuestros días: la tecnología.

Un Homo Erectus, individuo de una tribu ancestral, se rebeló contra la evolución y discrepó que él tuviera que desaparecer por no tener colmillos afilados para desgarrar rápido la carne de una presa capturada por un depredador que este había abandonado momentáneamente. Sintió que no podía esperar por 500.000 años para tener garras y colmillos, por lo tanto (y tal vez por ensayo y error, como lo hace la evolución) usó piedras filosas en reemplazo de los colmillos que no tenía y consiguió lo necesario para su supervivencia y la de los suyos. Biológicamente este Homo no estaba adaptado correctamente, pero "creó" una adaptación tecnológica similar a la que hubiera podido obtener luego de miles de años de evolución biológica, es decir, en una misma generación pudo lograr un cambio evolutivo, como individuo y como especie, algo que **La vida** nunca había podido hacer. Así evitó la desaparición de él, los suyos y miles de individuos de su especie. Tanto así, que poco tiempo después de estas invenciones pudo cambiar su papel de presa al de depredador, al producir, artificialmente, apéndices ofensivos y defensivos[40] que biológicamente no poseía.

¿Pero cómo hizo la especie para "memorizar" esta evolución en su material genético? Fue necesaria una nueva estrategia: la memoria generacional, (que también se puede llamar la herencia cultural, o recientemente, la tecnología.[41] Es decir, no era posible la memorización biológica del cambio tecnológico (la adaptación) sino tan sólo la memorización cultural. En otras palabras, Homo Erectus tuvo que inventar en ese momento "**la docencia**" y mediante rituales o ceremonias especiales ese

---

[40] Cortadores, raspadores, hachas, flechas y lanzas de piedra, pero sobretodo, su arma más poderosa: poder manejar el fuego.

[41] A mis alumnos de la materia automatización de procesos industriales, en la sesión en que hago historia sobre estos, y al hablar de los primeros procesos de manufactura de la humanidad les hablo de las culturas líticas. Concluyo el tema con la solicitud de una tarea para la próxima clase: quiero que traigan un hacha de piedra hecha por ellos.
La cara de desconcierto es general y yo los reto diciendo: Ustedes, son ingenieros del siglo XXI, ¿van a decirme que no pueden hacer lo que un cavernícola pudo hacer hace un millón de años?
La cara de desconcierto sigue y la explicación de la situación está en que nadie ***sabe***, hoy, como hacerlas. Este es un momento apropiado para definir la ***técnica***: como un ***saber*** que ha de utilizarse para ***hacer*** cosas que resuelvan problemas del hombre. En esta situación en particular ese conocimiento está perdido y es el momento de darle, a los estudiantes, una idea desde cuando existe la técnica.

conocimiento, tan importante para la supervivencia de los individuos y de la especie, debía ser heredado a las generaciones posteriores, pues genéticamente no lo podía transmitir. Recalcando el concepto presentado anteriormente la especie humana "se modificó" (adaptó) en una sola generación, rompiendo con la norma que impone la evolución biológica, y heredó, en esa misma generación, su adaptación a las generaciones posteriores. Se puede decir que Homo, al **crear cosas artificiales** que lo adaptan mejor al entorno, está dándole a la vida otra estrategia en lo evolutivo: no necesariamente las adaptaciones y la evolución han de ser Biológicas. **Lo artificial (tecnología) es también una estrategia válida de evolución**. Lo artificial que ha inventado el Hombre ha servido para resolver sus debilidades y ha generado fortalezas que lo han convertido en el mayor depredador que ha conocido la historia.

Por lo expuesto anteriormente "**lo artificial", es decir, lo creado por la tecnología del hombre no es algo ajeno a la naturaleza y es más bien otra estrategia de la vida en su permanente evolución.** Lo artificial, en este caso, son todos los instrumentos propios de la industria lítica (son "el Hardware") y el know-how ("el Software") son el saber necesario para hacer (construir, confeccionar) los instrumentos de piedra. Hoy a todo esto lo llamamos artesanía, palabra con la cual identificamos las técnicas manuales de fabricación de productos.

La técnica y la artesanía aparecieron hace un millón de años, en nuestra especie, como una propiedad emergente de la complejidad del cerebro de Homo Erectus y produjeron el cambio de presa a depredador, mejorando, en mucho, sus oportunidades de supervivencia. En resumen, un cerebro grande y complejo da lugar a una mayor inteligencia cuyos productos (memoria e invenciones) son igualmente complejos y **proporcionan una solución al problema de la superviviencia**.

Recuerdo aquí una frase, (cuyo autor no recuerdo), que ha de aplicarse en este caso: "*Cuando no pueda solucionar un problema, cambie el problema*"[42], y realmente esto fue lo que hizo el Homo Sapiens pues

---

[42] Haciendo referencia al problema que se presentó, hace unos cien años, cuando la idea de reciclar papel usado hizo curso. Era muy difícil decolorar el papel periódico usado. Con tal fin se idearon múltiples procesos con resultados poco halagadores, hasta que alguien pensó que la solución al problema de la decoloración era cambiar

modificó en tal forma su entorno que ahora está muy bien adaptado a él y es exitoso como especie. En resumen: usó la estrategia de cambiar el problema, para encontrar la solución. Recalquemos, la solución que lo beneficiaba a él, por supuesto!!!

La información, elemento indispensable en nuestra calidad de humanos, empezó a contener el know – how de la gran mayoría de los desarrollos técnicos que se lograron en esas épocas primitivas. Los "textos de estudio y los manuales de funcionamiento" de todas esas invenciones quedaron plasmados en los rituales de caza, los rituales de iniciación, las tradiciones orales, y las técnicas artesanales de los Homo. La capacidad, enriquecida, de comunicación que tenían entre ellos logró que la especie se adaptara y sobreviviera a los múltiples cambios de entorno a las que estuvo expuesta. Jacobs[43] dice: "*la vida surge gracias a la complejidad de sus elementos (seres vivos). No seria posible la vida, ni siquiera de aquellos organismos más simples sin las conexiones e información que existe entre ellos. Y es la asociación entre organismos la que favorece un incremento de la complejidad*". Sobre el mismo tema Margaret Boden[44] afirma citando a Bedau:

"*La vida a diferencia de la materia y de la energía se comporta y conoce. El hecho de que se comporte involucra capacidad de autonomía, de decisión por sí misma. La vida, domina sobre la materia y la energía. Conoce, hace cosas y sabe lo que hace. Conocimiento y comportamiento son rasgos emergentes, no artificiosos. La transmisión cultural de información se hace posible debido a las posibilidades del hombre de conocer los hechos, recordarlos y expresarlos mediante el lenguaje*".

2.3.- CAMBIANDO EL PROBLEMA. (La técnica y los Procesos Productivos).

Homo Erectus y Homo Ergaster fueron reemplazados por Homo Sapiens hace unos 150.000 años. No es claro cómo o porqué sucedió este relevo pero, sucedió. Somos nosotros, ahora, y solos, los que poblamos este planeta. Hace unos 10.000 años (pero probablemente sean 6.000) el Homo Sapiens se

---

la tinta con la que se imprimía el periódico. Eureka!, hecho esto fue muy simple la decoloración en el proceso de reciclado del papel impreso usado.

[43] Jacob F, La lógica de lo viviente, una historia de la Herencia, Tusquet editores p. 15 – 78

[44] Bedau Mark, La Naturaleza de la vida, en Philosophy of artificial Life, compilación de Margaret Boden

inventó algo que le cambió la forma de vida[45]: La agricultura y la ganadería. Dejó de ser cazador y recolector, que implica el nomadismo, para convertirse en sedentario. Como consecuencia de este cambio tuvo la necesidad de inventar otra cosa: La ciudad. Util invención, que traía un defecto implícito: tener que aprender a vivir en ellas[46].

La aparición de Homo Sapiens, con un cerebro mayor, impulsó la sofisticación de la artesanía existente. A tal punto que es preciso hablar de la invención de los Procesos Productivos. Complementan a las ya existentes artesanías y estas innovaciones siguen perteneciendo al campo de la técnica, sólo que son más complejas y sofisticadas.

La Ganadería es, probablemente, el primero de los procesos productivos que se perfecciona. Implica un uso mucho más sofisticado de los animales de presa habituales. Implica coordinar conocimientos y experiencias sobre pastoreo, cría, beneficio de los productos animales, etc. Homo empieza a alterar la evolución de su ganado, pues lo protege de los depredadores y escoge quienes han de reproducirse, buscando tener ciertas características que considera deseables en las crías, como podría ser la docilidad, el tamaño, la resistencia a enfermedades, etc.

Esta es la primera ocasión, en la historia del planeta, en la cual una especie interactúa con la selección natural. Homo Sapiens se convierte en parte del ambiente del ganado y se encarga escoger las mutaciones que él desea, para que el ganado mute a una forma que sea más compatible al entorno preferido de Homo Sapiens. La transhumancia, que es el acto de seguir al ganado en sus recorridos, altera los patrones de desplazamiento que Homo tenía, como hábito, en sus recorridos de recolección y caza y, poco a poco, hace que el núcleo familiar se establezca en un territorio reducido cuando confina a su ganado en corrales, en lugar de permitirle sus ciclos de pastoreo natural.

---

[45] Casi todas las personas dicen: la rueda! Si, en verdad es un invento importante, pero fue más inteligente el que inventó el eje para usarla!. Este invento no cambió tanto la forma de vivir del hombre como lo hicieron la Agricultura y la Ganadería.

[46] Otro tema, que no es del objeto de este trabajo, es el de la sociedad, su concepción y su desarrollo.

La Agricultura, que aparece hace unos 10.000 años, es un proceso productivo más sofisticado. Necesita del conocimiento de las tierras, aguas, plagas, fertilizantes, semillas, estaciones, etc. Es un proceso más laborioso que la ganadería y mucho más redituable que la recolección. El grupo debe dejar el nomadismo y la transhumancia y debe volverse sedentario. La aparición de la Agricultura también modifica a la ganadería y la vuelve sedentaria. La ganadería y la agricultura implican una acumulación de conocimientos que han de ser transmitidos de generación en generación. Están sujetos al ensayo y al error (como es la evolución natural) y la mejor de las técnicas será la que se use y se herede de una generación a la otra. Es decir, el proceso de acopio y acumulación de conocimientos de las artes técnicas del homo tiene el mismo formato que el que ha usado la naturaleza en el proceso evolutivo.

Para Darwin la competencia es el mecanismo más importante de selección mientras que para autores como Gell- Mann[47] "*es gracias a la cooperación o simbiosis como múltiples especies interaccionan entre sí conformando comunidades ecológicas, las cuales han experimentado delicados ajustes mutuos a lo largo de grandes períodos de tiempo. Se constituye así un desplazamiento en el concepto de evolución hacia un nuevo concepto de coevolución*". Por su parte Lynn Margulis y Dorion Sagan[48] conciben de una manera novedosa a "*la asociación como un mecanismo que permite la aparición de nuevas especies, es entonces, gracias a la simbiosis que se sucede las alianzas y pactos entre diferentes organismos que les induce a crear estructuras cada vez más complejas*".

La complejidad de los anteriores saberes merece que se les de un nombre especial: **Procesos Productivos**. Se los puede definir como la serie de acciones, manuales o mecánicas, que se han de realizar, siguiendo un orden determinado, para transformar un material, que se llama materia prima, en un producto terminado, consumiéndose energía en el proceso. El orden de las manipulaciones es "la receta" de fabricación y representa el conocimiento adquirido y depurado en múltiples ensayos. La complejidad de estas recetas, comparadas con las de la industria lítica o de la manipulación del fuego es lo que hace que amerite llamarlas con un nombre especial.

---

[47] Ver en: Gell-Mann, M. (1998). *El Quark y el Jaguar*: Barcelona: Tusquets Editores. Pág. 264.

[48] En: Margulis, L, Sagan D. (2001). *Microcosmos*. Barcelona: Tusquets Editores. Pág. 143.

Los procesos productivos están dentro del ámbito de la técnica, nombre que reservará, en este trabajo, para proceso simples y expeditos en los cuales el lapso de tiempo en el que se manipula la materia prima es corto y el proceso de elaboración es simple, o sea, hay inmediatez en la obtención del producto final. Así se hablará de las técnicas de la industria lítica, de las técnicas para el tratamiento de las pieles para el vestido o de la alfarería utilitaria. A la ganadería y a la agricultura se les aplicará la categoría de procesos productivos para indicar la presencia de saberes mucho más complicados y complejos y la existencia de un período temporal mucho más largo en la relación causa-efecto.

Todo el saber acumulado en estos procesos productivos fue obtenido por ensayo y error (azar!), tal y como la madre naturaleza lo hace con la evolución de los seres vivos. Hay una diferencia importante, Homo Sapiens hizo que las especies objeto de sus procesos productivos "memorizaran" las características que él deseaba. Otra vez, como en el caso de la ganadería, el hombre altera el proceso natural de la evolución de esas especies y las vuelve útiles en el entorno de Homo Sapiens. Hay una intención expresa en la modificación de esas especies para que le resulten útiles al hombre. Está creando un medio ambiente más propicio a sus particularidades: mete al ganado en **SU** corral, cultiva **SU** terreno, y construye en él **SU** vivienda, es decir, modifica el medio ambiente para **SU** beneficio. Esta es una estrategia muy inteligente, es decir, si como especie es trabajoso adaptase al medio ambiente, es válido cambiar el medio ambiente para que le sea propicio a sus particularidades **(Cambiando el problema...)**

Con respecto a lo mencionado en párrafos anteriores Gould[49] afirma: "*la evolución de la historia del hombre contempla dos aspectos, el biológico y el cultural, este último se inició hace tan sólo veinticinco siglos, se hizo manifiesta a través de los números, la escritura, la pintura y algunas herramientas. Del primer puede decirse que inició y se detuvo hace cien mil años cuando apareció el hombre... el segundo de los aspectos es dinámico y está en pleno proceso...*"

La aparición de Homo Sapiens da inicio a una serie de mutaciones, provocadas por él en ciertas especies, escogidas por él. Son para su propio beneficio y sobre todo, no serían posibles en el entorno

[49] Gould Jay, Mundos Posibles, en La vida maravillosa ,Burgess Shale, Editorial Crítica, Barcelona, 1991

previo a su aparición. Ganados y plantas escogidas cambian algunas de sus características heredables por que así lo forzó el ser humano, es decir, nos hemos convertido en un elemento del medio ambiente de esas especies que los ha hecho mutar (sólo que en este caso **el cambio ha sido premeditado...**).

Complementando los anteriores cambios en las especies, Homo Sapiens empieza a modificar el entorno para mejorar su adaptación en él. Es así, que construye casas para él y su familia que son cuevas artificiales, lo que hace que dejen de ser necesarias las naturales. Construye corrales para su ganado para protegerlo y para que no ande en busca de forraje, construye graneros para almacenar alimento para él y su ganado, hace regadíos, es decir, ríos artificiales. En resumen, se convierte en un agente activo en el cambio del medio ambiente, siempre propiciando condiciones que favorezcan su nueva condición de ganadero / agricultor sedentario.

El sedentarismo da lugar a la aparición de las ciudades, en donde el trabajo se divide y cada vez, en mayor grado, el mismo se especializa. Es así como aparecen los artesanos, depositarios de un **saber hacer** sofisticado, lo que les permite ganarse la vida en un sector diferente al primario (ganadería y agricultura). Se da lugar a la aparición de los procesos productivos del "sector secundario" la manufactura = hacer con las manos. La ciudad es un nuevo sistema complejo. Es el punto de partida de nuevas propiedades emergentes para la especie. Habilidades que se tenían antes se empiezan a transformar y, por ejemplo, se sofistica la pictografía que existía hasta ese momento y aparece la escritura. Es la forma más sofisticada para la transmisión de información que ha existido hasta el momento. Aparece la Aritmética y la Geometría, como evolución del pensamiento analítico. Aparece la Filosofía como culminación del pensamiento abstracto. Se desarrolla la Astronomía, ciencia aplicada, que busca explicar el universo usando la geometría y la aritmética. Aparecen las "logias" de constructores, en donde un saber hermético (matemáticas, geometría, materiales) es usado para edificar grandes edificios y templos. Se hace evidente como la suma de propiedades de este nuevo ente: "la

POLIS", son mucho mayores que las de cada uno de sus componentes[50]. La verdad es que la ciudad y el vivir en sociedad, disponiendo de medios (lenguaje) sofisticado para intercambiar ideas y pensamientos entre sus miembros ha enriquecido en mucho a la especie humana en un proceso eminentemente sinérgico y recursivo. Todo lo mencionado anteriormente podría ser descrito como un proceso auto-organizativo de la especie humana, para Maldonado[51], "*la evolución de las especies se puede explicar, en un 50%, gracias a la teoría de la selección natural de Darwin, y en el otro 50%, es gracias a los procesos de autoorganización.*"

Otro "surplus" que aparece, en este tipo de ciudades, es la cultura, el arte, la música, la danza, lo ornamental, etc. Aunque ya existían, se enriquecen muchísimo y propician la aparición de diversas culturas a lo largo y ancho del planeta, generando una diversidad tal que, este producto de la evolución, se convierte a su vez en fuente de nuevas posibilidades para la evolución de la especie humana. El hombre ha producido cambios en plantas y animales a una velocidad que la naturaleza no lo ha hecho y esta cambiando su entorno con una celeridad impresionante, todo, orientado a generar en muy poco tiempo un medio ambiente en donde se encuentre bien adaptado. **En resumen, Homo Sapiens está cambiando su entorno porque así resuelve su problema de adaptación al medio ambiente**[52].

---

[50] Haciendo honor a la dinámica de los sistemas complejos y convirtiéndose en las raíces de la tecnología, la que trataremos en el siguiente capítulo.

[51] Maldonado, C. En: . Maestría en Bioética, Universidad El Bosque, 2003, Bogotá

[52] Ver, en la página 120, los postulados de Jaques Ellul sobre este tema.

3.- LA EVOLUCIÓN PREMEDITADA

Como ya se dijo en el capítulo anterior, el hombre está, deliberadamente, cambiando el entorno en el que vive para mejorar su adaptación a este y por lo tanto mejorar su índice de adaptación. El hombre ha modificado, de forma intencional, los procesos de selección que habitualmente tenían ciertas especies animales y vegetales buscando privilegios y ciertas características en los descendientes de éstas. Este proceso es una "selección artificial" que privilegia la especie humana, y que complementa y a veces contradice la selección natural. Es a este proceso al que aquí se le llama "la evolución premeditada", (así buena parte de las veces no haya **PRE-MEDITACIÓN** en lo que hacemos).

Puesto que los Procesos Productivos y la Artesanía (la técnica) cambiaron a la especie y al medio ambiente en donde vive la especie, siguiendo un método que es similar al de la evolución, en este capítulo vamos a presentar a la tecnología como el siguiente paso evolutivo de la técnica. Esta última evolucionó a un estado de mayor complejidad al hacer uso de los modelos matemáticos, que fueron creados como resultado del desarrollo de los conocimientos llamados "las Ciencias de la Naturaleza"[53].

Castells, en su libro "La sociedad red" define, acudiendo a Brooks y Bell, la tecnología así... "*el uso de conocimiento científico para especificar modos de hacer cosas de una manera reproducible". Planteando además que la revolución de la tecnología de la información se equipara a la revolución industrial del siglo XVIII, inductora de discontinuidad en la base material de la economía, la sociedad y la cultura...*"[54].

3.1.- LA GÉNESIS DE LA TECNOLOGÍA.

El proceso histórico que produjo la aparición de un tipo de técnica más sofisticada, más racional y sobre todo mucho más científica, se debió al trabajo de muchas mentes brillantes, que fueron capaces de encontrar "los principios generales, en múltiples casos particulares". Citemos a Jacobs cuando habla

---

[53] Ver, en la página 119, los conceptos de José Ortega y Gasset sobre este tema.

[54] Castells M., La sociedad red, Alianza Editorial, Madrid, 1998, p 1 – 176

de la tecnología: "*Tan sólo a partir del siglo XVII ya nada es posible por el juego de las fuerzas mágicas. Todo es posible por el juego de las fuerzas físicas.*" [55]

En este capítulo se hará un breve recuento histórico de este proceso, iniciando un poco antes de la revolución industrial y terminando en el estado actual de la tecnología. Iniciemos el recuento de lo que tradicionalmente hemos llamado las Ciencias Básicas: física, química, Biología[56]. En principio, todas ellas describen la Naturaleza y la Matemática es el lenguaje que se utiliza para expresar, en forma unívoca y universal, el conocimiento que proporciona cada una de esas ciencias. Los últimos desarrollos de la tecnología y de la ciencia han llevado a desdibujar las fronteras entre ellas, por lo tanto, es necesario hacer un análisis acerca de lo que está sucediendo, con una visión centrada en la evolución histórica de las Ciencias Básicas.

Antes del Siglo XIX, la física era, fundamentalmente, un compendio de conocimientos, en Estática, Dinámica, Cinemática. "**El Físico**" por excelencia fue Isaac Newton, quién tuvo que inventar el cálculo diferencial e integral para poder explicar sus descubrimientos, y plantear sus teorías (sobre todo las referentes a la gravitación), en fin, necesitó crear la herramienta que le permitiera presentar los modelos matemáticos que formalizarían el conocimiento generado a raíz del estudio del fenómeno físico. Se creó la concepción mecanicista del universo y la afirmación, razonable en ese momento, que "si se tenía suficiente información se podía predecir el futuro del universo".

En ese mismo período, la química estaba saliendo de la época oscura, con el sabor a hechicería, de la Alquimia. "**El Químico**" más emblemático fue Lavoisier, quién a su vez tuvo que idear la nomenclatura (lenguaje) que permitiera describir las interacciones de los elementos químicos. A final del siglo XIX, Mendeleyev publicó su genial tabla periódica, que le dio cuerpo a la ciencia química. Se

---

[55] Jacobs F. La lógica de lo viviente, Tusquets Editores p 15 – 78

[56] Muchos consideran la Matemática como una de las Ciencias de la Naturaleza, pero no es así. Es el lenguaje que hemos inventado para poder describir la Naturaleza, en forma exacta e independiente de la lengua que hable el científico.

propuso una visión del universo en la cual los átomos, como si fueran un juego de "Lego", podían ser ensamblados para crear todos los elementos existentes en la naturaleza.

La Biología formó su cuerpo de conocimientos estudiando los seres vivos, el creacionismo fue el eje fundamental para desarrollar esta ciencia, pues la complejidad y el misterio de la vida no se podían explicar científicamente y lo adecuado fue recurrir a orígenes ajenos al mundo físico, es decir a las deidades. El reto más importante lo planteó Darwin con su teoría de la evolución que sacó a la Biología de su creacionismo inmovilista y la llevó al dinamismo de la supervivencia del más apto. El lenguaje utilizado para describir estos conocimientos provino de la Medicina y fue más descriptivo que simbólico.

Las tres disciplinas tenían, cada una por aparte, un conjunto de saberes, un lenguaje propio, y una colección de haceres que las diferenciaba, distinguía y caracterizaba de manera inequívoca. Se podía ser un científico o un profesional en un área sin que interactuara o compitiera con las otras.

Pero, y afortunadamente la ciencia nos permite generar peros, en el siglo XIX, la revolución industrial empezó a desdibujar la diferencia entre la física y la química. Carnot, fundamentado en la termodinámica, logró modelar los conceptos del ciclo de trabajo termodinámico, siendo pionero en los trabajos que hacen evidentes que química y física son una sola ciencia. Resultado de sus concepciones fué la creación de la máquina de vapor, en la cual gases calientes y a presión pueden generar comportamientos cinemáticos[57], dio lugar a la formulación de la Termodinámica. área nueva en la física, con modelos matemáticos aptos para describir el comportamiento de partículas simples (átomos o moléculas de gases), las cuales al estar presentes en grandes números adquieren, en su conjunto, propiedades que no poseen las partículas simples. Estos comportamientos no percibidos hasta ese momento, la Termodinámica los pudo modelar y describir a satisfacción. Estos conocimientos permitieron perfeccionar, a James Watt, el sistema original de la máquina de vapor, dándole a la

[57] Boyle no debe ser olvidado! (ver pag. 107)

humanidad, por primera vez en su historia, una fuente de poder artificial[58] (potencia = capacidad de hacer un trabajo físico).

Es así que el lenguaje (matemáticas) de la termodinámica se basa en la estadística y promedia los comportamientos individuales de las partículas para describir las propiedades del conjunto. Cae el concepto reduccionista que afirmaba que al conocer todas las propiedades de la parte, se podría definir al todo. Es la aparición del concepto de "**la emergencia**", es decir: las propiedades del todo son mayores que la sumatoria de propiedades de las partes. Aunque en ese momento no se identificó con claridad esta idea, ya estaba implícita en las formulaciones de la Termodinámica.

A mediados del siglo XIX hubo grandes descubrimientos en otro campo de la física, que hasta ese momento se percibía como extraño y ajeno a lo conocido, inexplicable hasta ese momento, y fue el electromagnetismo. Maxwell fue quien modeló y describió matemáticamente sus trabajos y los de muchos otros científicos. El electromagnetismo fue una propiedad etérea y sutil de la materia, difícil de entender[59], pero que enriqueció a la física y a la química pues, en últimas, era una nueva propiedad "**física**" de las partículas "**químicas**" y aunque en ese momento no se entendiera bien, esa fuerza era una de las varias que permiten las reacciones químicas. Estos conocimientos facilitaron adentrarse, sin tener certeza en esa época, en la constitución de la materia y se preparó el terreno para los descubrimientos que seguirían en los próximos decenios.

Otro evento que reduce la diferencia entre la física y la química sucede al inicio del siglo XX. Los físicos atómicos, y principalmente Niels Bohr presentaron la explicación de una materia compuesta por átomos, que a su vez están compuestos de partículas subatómicas que interactúan entre ellas. Haciendo

---

[58] En los orígenes de la Humanidad, el trabajo (desde el punto de vista de la física) se realizaba usando la fuerza muscular del hombre. Al progresar la Civilización y llegar al sedentarismo, fuentes de poder como los animales, el viento (energía eólica) y el agua (energía hidráulica) se empezaron a usar, hace unos 5000 años y hasta la revolución industrial no hubo alternativa diferente a las fuentes de poder naturales. Con la máquina de James Watt es posible realizar trabajo extrayendo la energía química de materiales inertes, (madera + carbón + agua + vapor = movimiento)

[59] Por primera vez en la historia de las ciencias se estaba trabajando con algo que no era perceptible para los sentidos del ser humano. Los efectos magnéticos y eléctricos (rayos) siempre habían sido asociado a lo mágico y a los mundos metafísicos de los Dioses.

uso del electromagnetismo y del conocimiento de fuerzas recién descubiertas, las fuerzas nucleares, estos investigadores permitieron dar una explicación de la forma como los elementos químicos interactúan entre sí. Este conocimiento, conocido como físico-química, llevó a la certeza que no debe existir diferencia entre estas dos ciencias: realmente, son una sola. Las aparentes diferencias se deben a la escala en la que se presentan los fenómenos físicos, pues los eventos Newtonianos (física clásica) involucran gran cantidad de partículas, agrupadas como cuerpos rígidos, en los cuales no son apreciables las partículas individuales que los constituyen. La química trabaja con partículas (átomos o moléculas) en las cuales las propiedades "físicas" (masa, velocidad, aceleración, etc.) son despreciadas y sólo se toman en cuenta sus propiedades "químicas" (valencia, carga, spin, peso atómico, etc.). Sin embargo, cuando un número considerablemente grande de partículas "químicas" se asocian, el conjunto tendrá el comportamiento de los cuerpos "físicos".

Es decir, cada ciencia, congruente con sus presupuestos para explicar al mundo, tiene una visión propia y tradicional de la realidad, pero, al aunar los puntos de vista, de cada una de estas ciencias se enriquece enormemente la comprensión del mundo físico y se debe concluir que la física y la química son dos saberes acerca de la naturaleza, desde diferentes puntos de vista, que no deben ser considerados aislados entre sí sino como "las manos derecha e izquierda" de una sola ciencia. Esta es la herramienta que mejor debemos llamar "el lenguaje" que estamos utilizando para describir nuestro mundo. Homo Sapiens introdujo un lenguaje sofisticado para comunicar sus ideas personales y ha creado uno, más universal, para describir al mundo y que son las matemáticas. Es un lenguaje capaz de mayores abstracciones que permite crear modelos mentales de los fenómenos de la naturaleza.

En la segunda década del siglo XX hicieron su aparición las teorías cuánticas (Schrodinger, Heissemberg) y la relativística (Einstein), que ampliaron los límites de la física tradicional (Clásica) hacia lo micro y lo macro. Se dio pie a la creación de un nuevo cuerpo de conocimientos llamado la Mecánica Cuántica y en cuyo lenguaje (matemáticas) se usa la probabilidad y la incertidumbre. Al mismo Albert

Einstein[60] le costó trabajo aceptar este nuevo giro del conocimiento, pues la física dejó de ser predictiva para convertirse en ciertas ocasiones, en estadística y en otras situaciones, en probabilística e incierta. Pero, así es la naturaleza y no la podemos describir (o tal vez inventar) según nuestro gusto personal, basados en conceptos de *"**simetría**"* o *"**estética**"* propios de cada época.

Si bien la física y la química partieron de la parte buscando el todo, la biología partió del todo buscando la parte, y sucedió algo no esperado, cuando a mediados del siglo XX, Watson y Creeks describieron el DNA. Lo que no se esperaba (y para muchos aún no es aceptable), es que el elemento fundamental para describir la vida, sea un conjunto de átomos, eso sí, con un ordenamiento muy particular, pero al fin y al cabo, una "sarta" de átomos. Autores, como el Físico Erwin Schrodinguer, se preguntaron acerca de qué es la vida realmente, pues la vida (Bios) no puede identificarse al mirar las partes pues únicamente se ven átomos. Se debe recurrir, nuevamente, al concepto de "la emergencia" y se debe concluir (con una apreciación similar a la hecha en el caso de la Termodinámica) que el todo es más rico en propiedades y comportamientos que la suma de las de las partes[61]

Los elementos de la vida pueden describirse con los lenguajes de la física y de la química, sin embargo, estos no pueden explicar que es la vida. Unos átomos de menos en la Molécula del DNA y tenemos un compuesto químico, y al revés, un compuesto químico con algunos átomos más y tendremos algo vivo. El orden y la configuración de estos átomos tienen el secreto: hay un "algo" en la relación entre las partes que le dan al conjunto una propiedad, emergente y maravillosa que ha de llamarse vida. Sólo hasta finales del siglo XX, y con base en los trabajos de los ingenieros genéticos, que han descrito la composición del Genoma, es que se ha llegado a la conclusión que la física, la química, y la Biología son

---

[60] Los trabajos de Einstein y de muchos otros (entre ellos Stephen Hawkings) han permitido hacer algo "sacrílego" que es: haciendo uso de concepciones físicas y matemáticas recientes. Se puede describir el proceso de creación del universo, sin la necesidad de algo ajeno a él mismo.

[61] Este es otro hito significativo en la historia de la humanidad, pues no es necesaria la intervención divina en la creación de la vida y se podrá (porque aún es necesaria más investigación) presentar el modelo matemático (conjunto de ecuaciones) que describe a la vida.

sólo una ciencia y en la medida que la complejidad se apropia de cada una de ellas vamos subiendo esa escalera, continua y sin interrupciones, que nos lleva del Quark inanimado hasta la vida.

Stewart[62], en su libro "El segundo secreto de la vida" hace un comentario sobre el tema y concluye que: "*así como las fronteras entre las ciencias como la física, la química, y la biología son borrosas y en caso de que se den son tan sólo metodológicas*". Con las nuevas matemáticas que propone Stewart, nos es permitido crear puentes entre las diferentes escalas de la realidad. Adicionalmente, una aplicación de este tipo novedoso de abstracción es la posibilidad de detectar las pautas y patrones que se dan en uno u otro nivel.

Al igual que en el caso de la físico-química, la frontera entre la química y la vida pasó a llamarse la bioquímica y su ícono es la molécula del DNA. Se puede hacer una síntesis de puntos de vista y afirmar que dependiendo de la forma como analicemos los fenómenos se hablará, cuando se trabaje a nivel micro, de la química y se hablará de la vida (Bios) cuando consideremos lo macro. Entonces, se puede decir que la vida es una propiedad emergente de la materia que aparecerá cuando se incremente el grado de complejidad de la química. Pero, como se había expuesto antes, si la física y la química son una sola ciencia y con conceptos físicos se puede explicar conceptos químicos, en la misma forma se puede afirmar que la vida puede ser entendida usando conceptos físico-químicos[63].

Hay que tener cuidado, y no caer en reduccionismos, pues el describir la molécula de DNA no es la explicación de la vida y debe ser claro que aún faltan muchas cosas por explicar y por entender de esa ciencia que debe llamarse la "bio-físico-química".

En este momento de la historia el proceso de creación de conocimiento es de tal magnitud y es tal el conocimiento en las ciencias naturales que se puede entender a la naturaleza desde un punto de vista integrador, holístico, haciendo a un lado el pensamiento mecanicista, determinista y desagregador que

---

[62]Stewart I., El segundo secreto de la vida, Editorial Crítica, Barcelona, 1999 p. 1 - 58

[63] Hay que tener reservas en esta afirmación, hoy, pues es mucho lo que nos falta por entender sobre la complejidad de la vida. Faltan conocimientos, descubrimientos y científicos geniales que propongan nuevas teorías, que descubran cosas de la naturaleza, que aún no conocemos, que sirvan para "simplificar" la explicación de la "complejidad" de la vida.

prevalecía hasta hace muy poco. La nueva visión ha llevado a plantear las teorías de los sistemas complejos como una herramienta (o mejor, un saber) necesario para tratar de explicar los sistemas, de la naturaleza, que son multivariados, adaptativos, no lineales[64], probabilísticos, estocásticos, etc. La conjunción de todos estos conocimientos nos está permitiendo explicar la vida y la evolución y nos da información suficiente para poderla alterar intencionalmente, es decir, estamos ad – portas de la **evolución premeditada**. La técnica fue usada por el Homo Erectus, el Ergaster, el Neardental y el Sapiens para competir exitosamente, con otros depredadores, todos ellos sujetos a las reglas y a las fuerzas de la evolución. Hoy en día tenemos un saber, la tecnología, con el cual podemos manipular la evolución de la vida en el planeta, incluida nuestra especie.

3.2.- EL MÚSCULO ARTIFICIAL.

La forma de vida creada por las sociedades que inventaron la ganadería y la agricultura perduró durante siglos sin mayores cambios y sólo hasta la revolución industrial (1850 – 1950), cuando se creó la máquina de vapor, (primera fuente de potencia artificial de la humanidad), se cambió esta forma de vida generando transformaciones mucho más profundas que las que habían sucedido en los últimos 6000 años. La vida ha visto la aparición de la máquina sólo porque una de sus especies, que compite con las demás por su supervivencia, acumuló suficiente inteligencia y conocimientos como para poder crearlas. Las máquinas de la revolución industrial son "**brutas**"[65], pero perfectamente útiles para hacer que el hombre de hoy en día no sólo se adapte a su entorno sino que lo modifique intencionalmente para mejorar su "fitness" con el mundo que lo rodea. Es decir, la especie humana ha detenido la

---

[64] Un sistema lineal es el que esta descrito por una función tipo $y = mx + b$, (función lineal de primer grado). Un **sistema no lineal** tiene, o bien, funciones de segundo grado tipo $ax^2 + bx + c$, (función cuadrática) o funciones logarítmicas o exponenciales. En la evolución, el número de especies, y su complejidad parecen ser función de tipo exponencial, cuyas variables son cantidad y tiempo. La interacción de múltiples especies en un mismo ecosistema responde al modelo de **sistemas multivariados** en donde las respuestas (que también son múltiples) dependen de cada una de las múltiples entradas, relacionándose entre sí en una matriz, usualmente conocidas como matrices de estado, siendo descritas por la teoría de los "**sistemas dinámicos**".

[65] Midiéndolas con el estado del arte de la tecnología de inicios del siglo XXI. Sus sistemas de control son torpes y primitivos, pues carecen de inteligencia: (computadores, microprocesadores, microcontroladores, etc.)

evolución biológica, que lo afectaba a él, haciendo uso de la máquina. Como especie hemos sufrido (creado sería el término correcto) mutaciones que nos han convertidos en los más aptos. Esta es la época de la historia en donde el método científico se aplica a los procesos de producción de la humanidad y aparece el moderno Ingeniero. Los procesos productivos, de ahora en adelante, entran a ser perfeccionados, estandarizados y ser objeto de patentes, por lo tanto, es necesario el poder acreditar los conocimientos y la experticia necesaria para poder desempeñar el trabajo de ingeniero. El conocimiento empírico que se tenía hasta ese momento acerca de la manipulación de las fuerzas y los materiales de la naturaleza es revestido con el rigor de la modelación matemática. Es decir, los procesos tecnológicos han de ser descritos con ecuaciones, algoritmos, y serán objeto de análisis usando la estadística. ingenieros como Frederic Taylor fundan las bases de la moderna ingeniería en donde el método, el modelo matemático, la normalización, y la relación beneficio / costo son los pilares fundamentales para el ejercicio de esta profesión. Nace como consecuencia de este rigor científico una segunda generación de máquinas tales como el automóvil, el avión, la nave espacial, etc.

A 50 años de iniciada la revolución industrial se ideó la generación y distribución de la energía eléctrica. Esta tecnología es más apta para posibilitar, a lo largo y ancho del mundo, el uso esta fuente de potencia y se dio lugar a la aparición de la máquina eléctrica (el motor eléctrico), lo que permitió que en el hogar se dispusiese de una fuente de poder eficiente, confiable y transportable. La máquina no sólo estaba en la planta de producción, sino que entró al hogar de las personas. En resumen, este siglo (el de la revolución industrial) creó y nos dejó como compañía a la máquina[66].

Sobre este tema podemos citar a Wilson[67], en su libro "La diversidad de la vida": "*No podemos decir que somos mejores que ayer, así como nosotros no somos mejores que otras especies, somos distintos, diversos. No hay una lectura lineal en el proceso de especiación. En el hombre no hay especiación Biológica, esta terminó cuando surgió el homo sapiens tras la extinción de las demás especies predecesoras. En términos evolutivos somos la especie selectivamente mejor,*

---

[66] No sólo las Fuentes de Poder, sino todas aquellas que nos acompañan: autos, aviones, barcos, trenes, electrodomésticos, herramientas, máquinas herramientas, etc.

[67] Wilson E., La diversidad de la vida, Editorial Critica, 1994. p 140

pero adaptativamente hay mejores que nosotros..", sin embargo, al considerar las adaptaciones de las que nos provee la tecnología, la respuesta que yo daría sería un NO. Adaptativamente somos los mejores.

En el numeral anterior se presentó el hecho que, para la humanidad, la primera fuente de poder artificial (Potencia = capacidad para realizar un trabajo) que existió fue la máquina de vapor y que hasta ese momento todo el trabajo se realizaba usando el músculo humano o el animal. Pues bien, para hacer útiles a las fuentes de potencia fue necesario que se diseñaran y construyeran los "actuadores"[68] para poder realizar el trabajo físico. Así fue como apareció el pistón neumático (para mover el tren), o el motor eléctrico, o el conjunto caja / transmisión para los motores de combustión interna. Todos estos elementos, los actuadores, encajan dentro del concepto de **"músculo artificial"**. El ser humano, para utilizarlo, hace uso unos cuantos elementos de control (palancas, pedales, botones, timones, etc.) que pueden dirigir la energía de las fuentes artificiales de poder para permitir que se realice el trabajo deseado, que antes ejecutaba el **"músculo natural"**. Para hacer una comparación este era controlado por elementos, como las riendas, las espuelas, las fustas, los cayados, etc, y las fuentes de poder eran personas, usualmente esclavos, o de animales de faena[69].

3.3.- EL CEREBRO ARTIFICIAL.

Se ha visto que la comprensión de la química la podemos obtener a través de la física, la comprensión de la vida la podemos lograr a través de la química. El origen de la inteligencia podemos tener certeza que está implícito en la existencia de la vida, de igual forma, el conocimiento es algo que sólo se puede lograr si existe la inteligencia, de tal forma que, el origen de la tecnología lo podemos identificar en el ejercicio de la inteligencia que produce la acumulación del conocimiento. En el numeral anterior se ha

---

[68] Nombre técnico que se le da al elemento que convierte energías eléctricas, neumáticas, o hidráulicas en movimientos mecánicos de desplazamiento o de rotación.

[69] Ver , en las páginas 115 y 117, lo que afirman Jacques Lafite y Lewis Munford sobre el tema.

hecho un resumen de cómo, en las últimas centurias, la especie humana ha acumulado conocimiento (ciencia) y ha desarrollado tecnología que nos ha traído a nuestra sociedad actual.

Los anteriores párrafos nos han hecho ver el pasado y el presente evolutivo del planeta, pero en especial de la especie humana, esta dirección en que nos trae la evolución, que es la de máquinas progresivamente más inteligentes, se habrá de explorar a continuación.

Se fijó, arbitrariamente, el fin de la revolución industrial en 1950 porque es la fecha en que aparece en público el computador, la máquina más evolucionada de todas las diseñadas y construidas hasta la fecha y se hace presente una tecnología radicalmente diferente a la de las anteriores: la Electrónica integrada. En los años 1990 aparece un acompañante simbiótico para el computador, que es la red de datos mundial, Internet, lo que hace que al inicio del siglo XXI se esté Ad-portas de un nuevo cambio, impulsado por nuevas tecnologías, tan radical como el sucedido en los pasados 100 años. Este cambio será la aparición de la sociedad del conocimiento, y sin duda producirá una revolución (o será tal vez, una **RE-EVOLUCIÓN?**) en la forma de vivir, que será más trascendental que todas las que ha habido en la historia humana, incluida aquella producida por la revolución industrial. Muestra de esto es que ya han aparecido las plantas productivas automáticas en donde el robot ejecuta labores productivas que ya no desea hacer el humano, todo controlado por los computadores, que le dará al hombre la oportunidad de dedicarse a crear más conocimiento.

El cerebro humano, durante los últimos tres millones de años, ha venido creciendo progresivamente, y como consecuencia de este hecho se ha incrementado la inteligencia y la memoria, y ha mejorado las capacidades verbales de comunicación y los simbolismos propios de la lecto-escritura. La escritura y la lectura, son elementos importantes a considerar, pues reemplazan la tradición oral del fabricante lítico en cuanto al vehículo usado para la transmisión del conocimiento. Los Chamanes y los viejos de la tribu, depositarios de la sabiduría y del conocimiento, ahora son reemplazados por las bibliotecas y por la imprenta. Todo el conocimiento, necesario para la supervivencia de la especie, que no ha podido ser heredado genéticamente se almacena (memoriza?) en forma externa al cerebro y a los genes del

hombre. Es decir, los medios impresos son una extensión de la memoria y por lo tanto del cerebro del Homo Sapiens. En otras palabras, usando técnicas artificiales hemos hecho crecer nuestro cerebro biológico, acelerando el camino por donde nos ha traído la evolución. La inteligencia y la memoria nos dieron la ventaja competitiva en el pasado y con la invención de la escritura y la imprenta estamos acelerando ese proceso.

Lectura y escritura aumentaron "la memoria colectiva" de la especie hasta unos niveles no imaginados, y en este momento ningún ser humano es capaz de acceder a todo el conocimiento recopilado en los documentos impresos que poseemos. En cambio, la capacidad de análisis, de proceso de la información, de obtener nuevos conocimientos a partir de lo poseído se había quedado retrasada hasta la aparición del computador, pues "humanamente" no es posible analizar tanta información. En los últimos cincuenta años ha progresado notablemente el computador[70] y le ha dado a la especie un impulso muy grande en la capacidad de análisis de los datos y de la información que posee, en otras palabras, el Homo Sapiens ha mejorado, de nuevo, su cerebro.

Cuando un programador escribe un programa en un computador, lo que realmente está haciendo es dejar almacenado su proceso mental en el interior de una máquina. Cuando en la jerga técnica se habla de máquinas inteligentes se está haciendo referencia a este hecho: un ser humano ha dejado, almacenado, en la memoria de un computador, su proceso mental. Este tendrá capacidad de análisis de la información recibida, un esquema para la toma de decisiones y una estrategia para realizar acciones coordinadas y coherentes con el análisis hecho. La máquina actuará replicando lo que haría su programador, sólo que en una escala de tiempo mucho menor. Es necesario concluir que así como el hombre amplió su memoria biológica con la escritura y la imprenta, aumentó la capacidad de análisis de su cerebro con el computador. Puede que una máquina, que usa la tecnología de la electrónica, no

---

[70] Siguiendo la corriente Anglosajona llamamos a esta máquina "el computador" implicando cuál era su propósito original, hacer cálculos aritméticos en forma muy rápida. Los Europeos lo llaman "el ordenador" y en este caso se lo introduce en la idea de ordenar registros que contienen información en las llamadas bases de datos. Actualmente, aparte de los usos mencionados anteriormente, los computadores hacen uso de programación sofisticada y son capaces de hacer simulaciones de fenómenos de la naturaleza, pero no hará curso el llamarlos "el simulador". El término computador nos tendrá que seguir acompañando. Sin embargo, habrá que tener en mente, simultáneamente, todos los usos que este término implica.

parezca una adaptación evolutiva pero nos está llevando en la dirección en la que nos traía la evolución: más cerebro, más memoria, más capacidad de análisis. Esto nos adapta mejor al medio, e inclusive da la capacidad de cambiar al medio para ser más apto, y ha permitido explorar la posibilidad de colonizar medios hostiles para nuestra especie como son el espacio exterior, o los mundos submarinos.

Anticipando, un poco, el tema de la siguiente sección, pero a modo de complemento de la idea anterior, Stewart, en su libro "El segundo secreto de la vida" y en el capítulo titulado "vida artificial", afirma que: "*tras la búsqueda de ideas sobre las pautas universales de la evolución, se vislumbra lo asombroso de la existencia generada por ordenadores. Por otro lado, según Darwin, la herencia imperfecta, más la selección natural hacen inevitable que los organismos evolucionen. La evolución es el resultado de una adaptación constante al entorno mediante cuatro ingredientes: Mutación, Selección, Desarrollo y Ambiente.*"[71]. Esto nos ayuda a concretar el concepto que deseamos presentar: se está comprendiendo, en los computadores, cómo es el proceso de la evolución y ya se están creando, en la memoria de esas máquinas, sistemas que imitan y recrean la vida, puesto que nuestro actual cerebro fisiológico no es capaz de hacerlo.

El que la especie tenga una memoria externa, en las bibliotecas, y capacidad de análisis externa, en los computadores y que pueda dejar procesos mentales en ellos lleva a la conclusión que nuestra última adaptación evolutiva es el "**exocerebro**". Así como algunas especies, como tortugas y cangrejos desarrollaron, en su batalla evolutiva, un exoesqueleto, la especie humana esta desarrollando un exocerebro, hecho que es consecuente con nuestro proceso evolutivo pasado. Las redes de comunicación han cambiado la estrategia maestro / discípulo de épocas anteriores y ha disparado la velocidad con la que el conocimiento se distribuye dentro de la especie. Estas redes a su vez, hacen que los patrones de comportamientos culturales se propaguen a sitios en los que no existían y se presente una lucha entre culturas, lo que refleja otro hecho relevante: los seres humanos detuvimos (o más bien, modificamos) la evolución biológica y propiciamos la evolución cultural.

---

[71] Stewart I., El segundo secreto de la vida, Editorial Crítica, Barcelona, 1999 p. 1 - 58

3.4.- LA IMAGINACIÓN ARTIFICIAL.

En el numeral anterior se trató, en forma tangencial, la programación de los computadores y se hizo hincapié que al interior de la memoria de estos estaba almacenado, en una forma un poco difícil de describir, el "proceso mental" del programador. Grandes empresas creadas para la producción de Software contratan miles de ingenieros, Analistas y Programadores de sistemas para aunar esfuerzos y crear "paquetes" de programación (sistemas) que posean un alto grado de "inteligencia", es decir, que estén en capacidad de reunir, coordinadamente, los procesos mentales de estos miles de cerebros humanos. El resultado es evidente: estamos en los inicios de lo que ha dado en llamarse "**la inteligencia artificial (I. A.)**". Estos sistemas de programación harán que un mecanismo (computador, robot, máquina, etc.) se comporte en forma similar a como lo haría un ser vivo.

Pero, ha aparecido un tipo de programación, diferente a la orientada a la I. A. que permite hacer algo que no se había podido hacer hasta el presente: la Simulación. Este tipo de Software se basa en un profundo conocimiento del modelo matemático (ecuaciones) que describen el fenómeno físico y apoyándose en programación gráfica (otro tipo de escritura, orientado a las imágenes interactivas[72]) presenta en la pantalla una simulación del fenómeno real, alterando la coordenada temporal (más rápido o más lento), según se requiera para la adecuada comprensión de lo sucedido en la simulación, quedando abiertas las puertas para que el investigador se formule preguntas del estilo: ¿Qué pasaría si...?, ¿En otras condiciones pasará lo mismo...?. A este tipo de programación se le debe llamar la **"imaginación artificial".**

---

[72] Recordar el dicho que dice: Una imagen vale más que mil palabras. En este caso la capacidad de transporte de información del medio (el computador) se incrementa notablemente.

3.4.1.- CAE - Computer Aided Engineering – (El inicio de la imaginación artificial)

La ingeniería asistida por computador, es una técnica relativamente reciente, que se ha desarrollado como una herramienta para hacer más eficiente y rápido el trabajo de diseño de sistemas que requieran cálculos matemáticos. El CAE se divide en dos grandes ramas: el diseño y la simulación.

El diseño no esta orientado a los sistemas gráficos, como el caso del CAD[73], sino a la resolución de problemas numéricos. Pongamos por ejemplo: el diseño de líneas de alta tensión, el diseño de estructuras metálicas, la construcción de hidroeléctricas, refinerías de petróleo, la prospección para el hallazgo de recursos minerales como petróleo, oro, etc. Este tipo de programas son obviamente la recopilación de muchos años de experiencia de las compañías de ingeniería, y son utilizados para minimizar los tiempos en los cuales se desarrolla un proyecto.

La simulación es la rama más reciente del CAE, se utiliza para que el computador haga las pruebas que anteriormente se hacían con los prototipos. La exactitud con la cual el computador predice el comportamiento de la pieza, se basa en dos teorías matemáticas muy complejas, que son: el análisis de elementos finitos y el análisis fractal. Es tal la exactitud de la simulación en el computador que se logran concordancias de más del 99.9% entre las pruebas simuladas y las pruebas reales.

La simulación permite que un grupo de diseñadores pueda, por ejemplo, probar en el computador, el ala de un nuevo modelo de avión, sin que este tenga que ser construido, tal como se tenía que hacer anteriormente. Las pruebas pueden medir la resistencia de la nueva ala a vibraciones, a torsiones, sobrecargas, altas y bajas temperaturas, a fatiga de metal, etc. Resulta evidente que los sistemas CAE que simulan reducir enormemente el tiempo en que un diseño pasa de la mesa de dibujo (o del sistema CAD) al taller de construcción (eventualmente usando una máquina CNC)[74].

El término supercomputador se utiliza para describir un sistema de cómputo diseñado y construido para procesar gran cantidad de operaciones aritméticas a una gran velocidad. La arquitectura de estas máquinas es parecida a la de los computadores comerciales, sólo que los anchos de palabra son

---

[73] Computer Aided Design
[74] CNC, Computer Numerical Control

mayores, la cantidad de memoria es más amplia, y la velocidad del ciclo de máquina es más rápida. Su velocidad se mide en gigaflops por segundo (miles de millones de operaciones de punto flotante por segundo). Los sistemas operacionales que utilizan no son del tipo gráfico (por ejemplo Windows), y sus lenguajes de programación son enteramente orientados al manejo de problemas de ingeniería. Los supercomputadores están usualmente acompañados de unos supermicros, llamados workstation, que son supremamente hábiles en la presentación de imágenes, con muy alta resolución, en la pantalla. Estas dos máquinas constituyen la herramienta de diseño de los ingenieros de las grandes compañías industriales del mundo. Herramientas matemáticas que se utilizan en estos sistemas son: el análisis de elementos finitos, las transformadas rápidas de Fourier, y el análisis de fractales.

Un problema que puede tardar un año para resolverse en un computador comercial se resolverá en una hora en un supercomputador. Esta capacidad es posible por una arquitectura orientada al procesamiento paralelo y al procesamiento vectorial (pipelining). Este diseño, junto con una programación adecuada, aceleran a velocidades increíbles el procesamiento numérico.

El "secreto", para que un supercomputador pueda resolver problemas complejos de ingeniería, es que se deben conocer al detalle las ecuaciones que describen el fenómeno. A continuación se detallan algunos ejemplos:

- **Turbulencias.** Las ecuaciones que describen la velocidad y la presión de un fluido en movimiento en un punto cerca de la superficie de un objeto, están formuladas desde hace 150 años y se conocen como las ecuaciones de Navier-Stokes. Sólo hasta la aparición del supercomputador fue posible resolverlas, sin hacer simplificaciones, para casos tridimensionales y complicados. Por eso el campo de la aerodinámica ha sido uno de los usuarios más entusiastas de estos modelos de simulación. Hasta los años 60 la forma de construir un modelo nuevo de aeronave era con el método del ensayo y el error. Usando regla de cálculo, papel, lápiz y una mesa de dibujo se diseñaba un plano. Con el plano se construía un prototipo, que se llevaba a un túnel de viento. Si el experimento era prometedor se hacía volar el avión, si no, se repetía el proceso de diseño. Esto se debía repetir tantas veces como

fuera necesario hasta que el avión volara como se deseaba. El proceso de diseño manual que tomaba cuatro o cinco años, ahora es posible hacerlo en un par de semestres. La experiencia ha mostrado que son tan exactas las simulaciones del túnel de viento que en muchos casos se ha pasado directamente del workstation a la construcción física. Para los aviones supersónicos e hipersónicos la única forma viable de probarlos es en un supercomputador. No es posible conseguir flujos supersónicos en un túnel de viento.

Antes que las ecuaciones puedan ser aplicadas a un avión, los especialistas en computadores deben representar la superficie del avión y el espacio alrededor de él en una forma que pueda ser usada por el computador. Por lo tanto ellos representan el avión y sus alrededores como una serie de puntos espaciados regularmente, conocido como la malla computacional. Entonces aplican las ecuaciones de Navier - Stokes a los datos. Claro que primero deben entrar a las ecuaciones ciertas variables conocidas como las condiciones iniciales y de frontera. Para los aviones en vuelo las condiciones iniciales incluyen la velocidad del viento, la temperatura, la densidad y perturbaciones atmosféricas tales como corrientes de aire. Las condiciones de frontera incluye la forma exacta del avión, expresadas en coordenadas geométricas. Una vez empieza el computador a resolver las ecuaciones se buscan los valores que interesan, por ejemplo: presión y velocidad del aire para cada uno de los puntos de la malla computacional. Las computaciones se repiten después de un intervalo de tiempo (del problema, no del computador), en donde los resultados obtenidos modifican las condiciones iniciales de la ecuación y simulan el flujo de aire. Mientras más cálculos se hagan y más compacta sea la malla computacional, más exacta será la simulación. Simulaciones, para un Jet actual, implican el uso de una malla computacional de 10^{16} puntos !!!!, con el agravante que las ecuaciones de Navier - Stokes son no lineales. Los diseñadores de los motores de los aviones usan un programa llamado "tecnología integrada de motores de turbina de alto rendimiento", y buscan, para el año 2003, una mejora del 100 % en la relación de empuje - peso de los motores y una mejora del 40% en la eficiencia del combustible. Puesto que el gasto en combustible es una buena

parte de los egresos de las líneas aéreas, los nuevos modelos de aviones serán muy interesantes, cargarán el doble y consumirán la mitad de la gasolina que los actuales.

- **Automóviles.** Ya es común que los grandes fabricantes de autos hagan el diseño de sus nuevos modelos usando supercomputadores. Esto con el fin de hacerlos más eficientes desde el punto de vista aerodinámico, lo que redundará en mejor eficiencia con el combustible y menor cantidad de ruido en la cabina a causa del aire en movimiento. Los fabricantes de carros también utilizan estas máquinas para simular colisiones de los autos. Esto les ahorra mucho dinero al evitar la destrucción de los prototipos. De todas formas se hacen pruebas reales con el fin de asegurarse que el andamiaje matemático que simula la colisión corresponde con el hecho real.
- **Petroquímica.** La industria petroquímica hace uso extensivo de los supercomputadores para hacer el análisis de prospección de posibles yacimientos petrolíferos, usando la información obtenida con los monitoreos sísmicos. La cinta que contiene los datos a analizar es obtenida al detonar una carga explosiva en el terreno y mediante el proceso de grabación con varios micrófonos, enterrados de los ecos subterráneos producto de la explosión. La perforación de cada pozo vale cerca de 40 millones de dólares en terreno y bastante más en el mar. Esta es la principal razón por la cual el análisis que hace el supercomputador es tan importante para la compañía petrolera.
- **Cine.** Ya son famosas y numerosas las películas cuyos efectos especiales, e incluso toda la película ha sido hechos usando supercomputadores. En este caso cada imagen es creada usando millones de Pixels[75], teniendo en cuenta tres dimensiones, además de niveles de luz, texturas, etc. Cada cuadro debe ser repetido 25 veces, teniendo en cuenta los posibles movimientos de la imagen, para tener 1 segundo de película. Una película de 90 minutos tiene 135.000 cuadros y necesitará $5 * 10^{11}$ pixels para ser creada enteramente por computador.

[75] Píxel (pincelada, punto) es la menor cantidad posible de información visual, en la pantalla de un computador.

- **Finanzas.** Los movimientos que se efectúan diariamente el las bolsas de valores son aparentemente estocásticos. Sin embargo ya hay programas en el mercado que analizan simultáneamente un sinnúmero de variables, que permiten predecir con bastante aproximación el comportamiento de los mercados bursátiles.

- **Construcción.** La ingeniería civil, usando supercomputadores ha podido crear obras que en otros tiempos no habría sido posible. Gigantescos rascacielos y puentes han sido construidos, para los cuales ha sido simulado su comportamiento en caso de terremotos, en caso de huracanes, para variaciones de temperatura extremas, etc.

En el libro "Biología del futuro" en su cuarto capítulo, el autor toca el tema del ingenio de la especie humana y dice: "*la evolución inventiva del hombre ha de basarse en que no fuimos creados diferente de los animales, sino que las diferencias se dieron con el paso del tiempo. El hecho de tener un cerebro grande no fue lo suficiente para promover el gran salto adelante; pero si fue necesario; lo que favoreció fue el desarrollo del lenguaje complejo que permitió discutir, deliberar y planear en conjunto. La clarividencia del hombre en sus acciones lo diferenciaba del chimpancé en ese momento inicial de la evolución donde ambos realizaban labores igualmente complejas*"[76] texto en el cual se enfatiza la importancia de discutir, deliberar y planear en conjunto haciendo uso de un lenguaje complejo, que ahora se enriquecerá con los sistemas de I. A. (inteligencia artificial) y la I. A. (Imaginación artificial).

Concluyamos este numeral citando a Castells, en su libro "sociedad en Red": "*La econósfera es el intercambio entre la biosfera y la economía, entendiéndose por economía los bienes y servicios de la biosfera. Para mí sería la comunicación entre lo tangible e intangible, entre la oferta y la demanda, entre lo real (actual) y el posible adyacente, en últimas lo que permite la expansión cargada de una diversidad rica y compleja en especies, y por qué no decir mejor que los agentes autónomos moleculares, los sistemas económicos y la tecnología están avanzando en posibles adyacentes.*

---

[76] Schneider y Kay en la Biología del Futuro, Tusquets 1999, pag.224

Para hablar de discontinuidad traigo a colación a Bruce Mazlish quien se ha referido a la relación con la naturaleza en términos de crear "continuidades" o eliminar "discontinuidades", eventos que han ocurrido en el devenir de la historia de la humanidad: la primera continuidad fue establecida por los filósofos presocráticos griegos en el siglo VI a. de C., quienes concibieron los fenómenos del mundo físico gobernados por leyes comunes de la materia. La segunda, gracias a Darwin, fue la creación de la continuidad entre los seres humanos y el mundo animal. La tercera corresponde a Freud, quien estableció la continuidad entre la enfermedad mental y la salud mental. En el contexto de estas tres continuidades, el hombre queda ubicado en un espectro continuo de relación con el universo, con el resto del reino animal y con él mismo. O sea, que ya no se encuentra en discontinuidad con el mundo que lo rodea, y se halla en armonía con el resto de su propia existencia. Pero en el mundo moderno surgió una discontinuidad: la dicotomía entre el hombre y la máquina, la cual apareció evidentemente durante la primera época de la revolución industrial. Ahora vemos como los humanos y las máquinas son una continuidad, y hasta se compara el funcionamiento del cerebro con el de las máquinas inteligentes. Hoy las máquinas son parte de la vida y la cultura, y ya no podemos concebir al hombre desprendido de las máquinas. Se destruye la continuidad entre el mundo natural y el mundo mecánico, y surge la simbiosis hombre-máquina, la cual viene a ser una nueva forma de humanismo, por cuanto las máquinas amplifican la humanidad del ser humano. Y entre las máquinas, el computador, un servidor del conocimiento, y, como tal, un amplificador de la inteligencia del hombre. Con la aparición de un nuevo orden, no se extingue necesariamente el anterior. Pero, sin embargo, al parecer, mientras que estamos a favor de la naturaleza, la naturaleza está a favor de las máquinas."[77]

Los medios artificiales nos está dando la posibilidad de, usando el exocerebro y la imaginación artificial, jugar, en una máquina, el juego de "ensayo y error" que usa la naturaleza en la evolución y, por lo tanto, nos posibilita aprender como trabaja la vida.

---

[77] Castells M., La sociedad red, Alianza Editorial, Madrid, 1998, p 1 – 176

4.- EL FUTURO DE LA VIDA Y LA INGENIERÍA

4.1.- LA VIDA ARTIFICIAL.

La vida artificial es uno de los temas más llamativos cuando de pensar en el futuro de la vida se trata, a continuación se explorarán algunos de los puntos de vista de varios pensadores acerca de lo que se espera.

Cristopher Langton en su documento "vida artificial", recopilado por Margareth Boden, opina que "*la Biología es el estudio de la vida – en donde vida es cualquier vida-, pero que usualmente se restringe al estudio de la vida "terrícola" basada en el carbono. Como es muy difícil, en este momento, el estudiar vida diferente a esta que conocemos la única opción es tratar de sintetizar formas de vida alternativas, que se habrán de llamar vida artificial, es decir, será vida hecha por el hombre en lugar de ser hecha por la naturaleza. La vida artificial no busca la creación de seres artificiales, sino que busca generar "comportamientos similares a la vida", y por lo tanto, ha de focalizarse en la producción de "generadores de comportamiento".*

La vida depende, en forma crítica, de principios de auto-organización dinámica que durante mucho tiempo han permanecido sin recibir atención por parte de los investigadores que usan los métodos analíticos tradicionales. La vida artificial es, entonces, una aproximación sintética a la biología que, en lugar de desmembrar los seres vivos para entenderlos, busca ponerlos juntos para poderlos analizar, y poder sacar conclusiones no sólo de cómo la vida "es como la conocemos" sino "de cómo podría ser". La vida artificial es diferente en su concepción a la inteligencia artificial, la cual busca la producción de soluciones inteligentes de determinados problemas, así la respuesta no necesariamente sea similar a la vida, es decir, la inteligencia artificial no se preocupa por los comportamientos inteligentes"[78].

Acercándonos al tema de la vida artificial desde la ingeniería, existe un punto de vista más tecnológico que postulan conceptos más cercanos a los seres artificiales y tal es el caso de John Von Newman, y de algunos de sus colaboradores, que más que trabajar buscando la mecánica de la vida, han llevado sus esfuerzos a encontrar la lógica de la vida. Von Newman diseñó una serie de experimentos mentales, en uno de los cuales una máquina especial, un *"constructor universal"*, flota en un lago, y se le ha almacenado

[78] Langton Cristopher, vida artificial en Boden Margareth, The Philosophy of artifcial Life, Oxford Univ. Press, 1996, p 39 - 94

en su memoria la descripción de sí mismo. Este mecanismo tiene la capacidad de localizar e identificar partes de máquina (que flotan junto con él en el lago) y puede construir una "**máquina hija**" cuyo procedimiento de construcción ha sido detallado en las instrucciones que se han almacenado en la memoria del constructor universal. Este constructor universal posee un "**copiador de descripciones**", el cual es duplicado en la máquina hija, una vez ha sido finalizado su ensamblaje, de tal forma que este segundo mecanismo posea a su vez la capacidad de construir una nueva máquina hija. A este tipo de mecanismos se los llamó "**automatón celular**".

Los dos puntos de vista anteriores han de conciliarse pues, si bien es cierto que, si este automatón celular no incluye en su programación los "comportamientos similares a la vida" realmente no sería más que una simple pieza de Hardware con un programa de "auto-copy o self-copy".

Otro autor que se hace preguntas sobre el tema es Bedau, en su documento "La naturaleza de la vida" en donde, en primera instancia el autor coloca sobre al mesa las diferentes preguntas con que se ha indagado acerca de lo que caracteriza la vida y los fenómenos vivos: ¿qué es lo que caracteriza o diferencia lo vivo y lo no vivo? ¿Cómo reconoceríamos vida extraterrestre si la encontráramos?. Ante esto, dice el autor, "*no tenemos ninguna razón para suponer que esta debiera tener las mismas características encontradas en las formas familiares de vida. La búsqueda de vida fuera de la tierra requiere respuesta a la pregunta de si ¿hay propiedades esenciales que sean comúnmente poseídas por cualquier forma posible de vida?. Lo destacado de la vida no sólo como se da sino como pudiera darse*" [79], es lo que el autor denomina como la capacidad de adaptación flexible, la cual es el proceso por el cual los sistemas vivos evolucionan adaptándose automáticamente a los nuevos cambios, generando emergencia de estrategias inteligentes para sobrevivir y crecer en contextos en continua modificación. Este proceso es evolución abierta-cerrada, como un bucle de novedad sinfín y esta es una propiedad intrínseca del sistema y no derivada de las selección natural. Bien puede entonces darse por entendido a Denté cuando dice que las macromoléculas de las que están constituidos los seres vivos basados en el carbono no tienen ninguna

[79] Bedau Mark, La naturaleza de la vida, en Boden Margatreh, Philosophy of artificial life, Oxford Univ. Press, 1996, p 332 - 360

diferenciación entre sí, no hay ningún rasgo de humanidad o de animalidad en sus componentes, son las mismas tanto para la bacteria como para el hombre, lo que cambia es su orden de complejidad creciente, no la sustancia de la que están constituidas. Además se pudiera pensar que la adaptación flexible es como una forma de inteligencia que a la vida utiliza generando una tecnología, para el ensamblado de "máquinas" vivientes a punta de la vinculación ergódica y no-ergódica de macromoléculas, que entre sí conforman expresiones de vida de lo más diverso y es por demás que se les hace necesario ser diversos para que surja la adaptación que a su vez es necesaria para la emergencia de respuestas novedosas (adaptación flexible), para seguir evolucionando. Ninguna es causal de ninguna, la imagen de estas sería la de un tránsito sobre una cinta de Moebius.

Un autor que he tratado, en extensión, el tema es Kauffman, quien presenta el concepto del agente autónomo como elemento de base para modelar el comportamiento de los seres vivos y dice que "*un agente autónomo es un sistema autocatalítico capaz de reproducirse y capaz de llevar a cabo al menos un ciclo de trabajo termodinámico. Un agente autónomo construye una copia encadenando procesos exergónicos y endergónicos para generar la gran diversidad y complejidad de la biosfera, que a su vez engendra más diversidad y complejidad. Se genera la pregunta si hay una ley común para el comportamiento de los sistemas no equilibrados autoconstruibles, pues en el universo constantemente se rompen las simetrías, lo que permite el surgimiento de novedades, diferentes moléculas y otras formas que nunca habían existido. Los agentes autónomos autorreproducen sistemas que sacan uno o más ciclos encadenados en procesos endergónicos y exergónicos*"[80].

Kauffman enfatiza en algo que otros autores ya han tratado: la información y recalca cómo esta es fundamental cuando se analiza el Bios. Dice este autor que: "*Se debe diferenciar entre técnica y tecnología, el conocimiento lo necesitan los agentes autónomos para construir. Conocer es otra vista de propagación, de catálisis, trabajo, sentido, registros de información y acciones que ahora reconocemos como hechos inherentes a los agentes autónomos. El conocimiento no está fuera de la propagación de la organización, es la propagación de la organización.*"[81]

---

[80] Kauffman S, Investigations, Oxford Univ. Press, 2000, p 49 - 80
[81] Kauffman S, Investigations, Oxford Univ. Press, 2000, p 49 - 80

Kauffman concibe entender la vida a través de los posibles adyacentes teniendo en cuenta que la vida es el estudio de lo real, de lo posible y lo que podría ser. Este concepto concebido en las nuevas matemáticas se aplica a la materia con respecto a los espacios de fase, entendidos como los espacios posibles de los fenómenos que muestra como los agentes autónomos se desplazan o expanden a espacios adyacentes. Se infiere de esto que la vida tiene características intrínsecas como la incertidumbre, la probabilidad, la aleatoriedad y el riesgo. Lo que demuestra que la vida está en constante estado crítico. Esto puede apoyarse también en los conceptos de Turing con la teoría de la incomputabilidad, Göedel con la incompletad y Chaitil con la aleatoriedad.

Gould en su libro "Mundos posibles" en un aparte en donde analiza posibles escenarios para la vida se plantea la pregunta ¿Qué es la vida?, y dice que: "*la respuesta debe partir de la nueva relación entre cultura-vida –nuevas tecnologías, entendiendo que el mejor producto del ser humano es la máquina. La tecnología es el medio que permite que las máquinas aprendan (que sean sí mismas). Si esto se ha logrado, es porque la naturaleza se lo ha permitido al hombre. Como consecuencia se ha generado un cambio en el esquema piramidal de ubicación del hombre, con respecto a al naturaleza, donde ocupaba el sitio superior, por un esquema de cono invertido, que contempla en la base la naturaleza, en el medio al hombre y en la parte superior la vida artificial y la inteligencia artificial. Esto permite explicar por qué* "**la naturaleza está a favor de las máquinas**". *La vida artificial es la creación de una segunda naturaleza que nos permite conocer la primera naturaleza, lo que ha permitido apreciar que no existe una diferencia cuantitativa sino una diferencia cualitativa entre ambas. Entre las dos está el hombre como resultado o evolución de la naturaleza. La máquina como representación de la evolución cultural del hombre, se le atribuye la cualidad de inteligencia ya que se le considera capaz de aprender de la naturaleza.*

Los ensayos de investigación en vida artificial nos permiten observar el comportamiento de la naturaleza en visión panorámica, en escalas de tiempo no percibidas antes, pues se presencia la vida de n generaciones en períodos breves de

tiempo. En el tema de la vida artificial lo importante no es la máquina, lo importante es el programa, esto es, la información contenida en la máquina." [82]

Sobre los temas de la vida artificial, otro autor, Stewart, en su libro "El segundo secreto de la vida" escribe lo siguiente: "*si asumimos que el primer secreto de la vida es el ADN, el segundo secreto de la vida se refiere al control matemático. Habría que aclarar que los sistemas vivos son fundamentalmente sistemas abiertos fuera del equilibrio en los que patrones nuevos emergen y se mantienen de manera relativamente autónoma, sin ninguna influencia ordenadora específica del exterior, ni ningún programa interno*"[83].

Ampliando los conceptos de Stewart hemos de decir que: el primer secreto de la vida **no** está en las bases, sino en la información que implica, no en lo material, sino en las funciones. El segundo secreto son **las nuevas matemáticas**, en las que no sólo se trabaja en procesos cuantitativos, sino procesos cualitativos, en sistemas Dinámicos alejados del equilibrio, en estructuras, en patrones, en reglas, pautas de la **vida** y nacen las biomatemáticas (y también la biocomputación, la biomecánica, la biofísica). Todos los conceptos anteriores se condensan en los conceptos de simetría y ruptura de simetrías, entendiendo que en muchas ocasiones las simetrías están asociadas a los estados estables que se alcanzan en el proceso evolutivo y la ruptura de las simetrías está asociada a las mutaciones que sufren los seres vivos en su proceso reproductivo[84].

El mérito de las matemáticas es la economía, pues se usan pocas palabras para explicar algo complicado, se trabaja con conceptos abstractos, que siempre traen asociados la descripción de cómo ocurren los fenómenos de la naturaleza. Como se había mencionado anteriormente este es un nuevo lenguaje de la especie humana, que tiene una gran capacidad de transmisión de información en forma sintética.

---

[82]Gould Jay, Mundos posibles, Editorial Crítica, Barcelona, 1991

[83] Stewart I, El segundo secreto de la vida, Editorial Crítica, Barcelona, 1991, p 130 – 133

[84] Ibidem 10

Los fundamentos de la vida no son biológicos sino físicos, argumentación que se presentó en la primera sección de este trabajo, y así como las matemáticas siempre han descrito el mundo físico, la nueva matemática podrá ser usada para describir lo Biológico. Si no hay diferencia entre lo vivo y lo no vivo, entonces tampoco hay diferencia entre la vida natural y la vida artificial.

4.1.1- EL FUTURO DE LA VIDA.

Teniendo en mente la reflexión hecha en los numerales anteriores, ya es posible imaginar posibles situaciones al futuro de la vida, en especial de la vida y la inteligencia artificial. Todas estas propuestas están enmarcadas dentro del estado del arte actual (2004), pues futuros descubrimientos, desarrollos y/o innovaciones, (que aún no conocemos!) podrán cambiar sustancialmente esta visión.

Parece adecuado, en función de satisfacer los anhelos humanos, clasificar los posibles desarrollos de la vida artificial en dos categorías: los que **NO** se parezcan a lo vivo y los que sí:

-Vida artificial basada en máquinas. Lo artificial y las máquinas ya se han hecho presentes en este planeta. La condición medio ambiental que les permite su aparición ya se cumplió y es que haya una especie lo suficientemente inteligente para que cree la tecnología y desarrolle el conocimiento científico hasta el punto de entender el Bios. Las máquinas no hubieran podido existir en este planeta sin que se hubiera cumplido esa condición. Las actuales máquinas tienen un nivel de complejidad, en este momento y en opinión del autor de este trabajo, un grado inferior al de un virus "biológico". Pero, la especie humana está dando forma a los cuerpos que utilizará la vida artificial (computadores y máquinas), le está dando forma a su inteligencia (Software de I. A.), y también está modelando los comportamientos de la vida para inscribirlo en sus programas (modelos de vida artificial).

A continuación, se hará una relación de las principales tendencias en la sofisticación de los computadores que habrán de conducir a una mayor complejidad del cerebro artificial y, tal vez, produzca emergencia una propiedad especial y única en estas máquinas.

Hardware

a. Ley de Moore

b. Los límites de la computación

c. Nanotecnología

Software

d. Compuestos basados en proteínas

e. Computación configurable

f. Computación evolucionaria

-Vida artificial zoomorfa. Una de las posibilidades de la evolución es el llevar a la aparición de una vida artificial parecida, o que imite, la vida que ya existe o que primordialmente se replique a los animales. Muchos de los autómatas construidos hasta el momento, han sido inspirados en lo ya creado por la naturaleza y es evidente la similitud entre lo vivo y lo artificial. Hardware y software tienen que progresar mucho más aún, para que nos acerquemos a autómatas que estén cercanos a la vida artificial.

Todos estos campos de desarrollo conforman las nuevas tecnologías para construir computadores.

4.1.2 VIDA ARTIFICIAL BASADA EN MÁQUINAS.

- HARDWARE

4.1.2.1 Dividiendo un electrón (La muerte de la ley de Moore?). Gordon Moore, Ingeniero de INTEL Corp. fue el primero en cuantificar el incremento en la densidad de transistores que podrían ser construidos en un circuito integrado, y concluyó que el incremento era exponencial con respecto al tiempo, y predecía que cada 3.2 años la cantidad de bits que podrían ser almacenados en una memoria se cuadruplicaría. La experiencia de los últimos 30 años ha demostrado lo acertado de esta predicción. A esta se le llama la "**Ley de Moore**". Sin embargo, existe una segunda Ley, también enunciada por Moore, y que afirma que el costo de las fábricas para producir circuitos integrados se está duplicando cada generación de chips. En 1995 una planta de producción costaba 1.000 millones de dólares, para el año 2010 la planta costará del orden de 50.000 millones de dólares, este aumento exponencial de los costos predice un fin para la primera de las leyes, es decir, en algún momento (y será muy pronto) dejará de ser rentable la producción de integrados de alta complejidad.

Aparentemente la industria del Hardware de computación estaría en un callejón sin salida. En estas situaciones es adecuado mirar atrás en la historia y extraer lecciones del pasado para planear el futuro.

El Primer computador electrónico que se construyó fue el ENIAC, un leviatán constituído por 18.000 tubos de vacío y que consumía 175 Kilovatios de potencia[85], cuyo destino original fue el calcular trayectorias de proyectiles de artillería. Lo irónico es que la energía eléctrica utilizada

[85] Hoy en día cualquier calculadora científica tiene 1000 veces mayor poder de cálculo que ese computador. La cuenta de la energía (del ENIAC) sumaría del orden de 20 millones de pesos mensuales.

para computar la trayectoria era comparable a la energía química que se necesitaba para disparar el proyectil. Los profetas de la época afirmaban que en unos años el ENIAC podría ser construido tan compacto que tendría el tamaño de un automóvil (americano y de los años 50, por supuesto) costaría sólo un millón de dólares, y podría ser usado por las universidades. Esta predicción se frustró porque una nueva tecnología, que estaba presente y no habían tenido en cuenta, el transistor, reemplazó al tubo de vacio y permitió nuevas máquinas, compactas, rápidas y eficientes, que llevaron los computadores a las universidades y a las oficinas.

El uso del transistor tipo FET – CMOS, que tiene 40 años en uso, está ampliamente difundido en toda la electrónica digital que se usa hoy en día, pero un segundo fenómeno se está acercando para herir de muerte a la Ley de Moore. Cada uno de los elementos de conmutación de un computador de hoy, y debido a su miniaturización, se conmuta con sólo 1000 electrones, para el año 2010 y siguiendo la Ley de Moore, un FET requerirá de sólo 8 electrones, (lo que significa que los comportamientos cuánticos ya serán muy importantes), para el año 2020, y fruto del crecimiento geométrico, se llegaría al punto de necesitar menos de un electron[86] para conmutar el interruptor. Este ya es un obstaculo insalvable que limita el crecimiento de la complejidad de los computadores, y por lo tanto limita el desarrollo de la Ley de Moore.

4.1.2.2 **Los límites de la computación**. Rolf Launder demostró que la información es un ente físico, y que por lo tanto la computación es un proceso físico. Él probó que un computador no-reversible ejecutando operaciones lógicas Booleanas requiere de energía para una operación binaria igual a $E_0 = kT \ln 2$, en donde k es la constante de Boltzman, T es la temperatura del sistema, y E_0 es el costo energético para producir un bit de información y también el del incremento de entropía en la vecindad del equipo de cómputo. A temperatura ambiente, esta ecuación predice la posibilidad de realizar 3.5×10^{20} operaciones binarias por segundo con el

[86] Como se sabe el electrón es una partícula elemental y por lo tanto, indivisible. Se entra entonces en la necesidad de los interruptores cuánticos, de los cuales se hablará más adelante.

gasto de 1 vatio de energía. Esta estimación genera un amplio margen para poder aumentar el número de operaciones que se realiza hoy.

Richard Feynman aclaró algunos de los conceptos de los límites de la computación, al aplicar consideraciones termodinámicas acerca de la cantidad de energía que es requerida para transportar, irreversiblemente, de un elemento a otro un bit de información en un sistema computacional. Demostró que era: $E_1 = kTd\ v/c$ en donde d es la distancia de transmisión y v la frecuencia a la cual se opera. Esta ecuación demuestra que a velocidades más altas se consume mayor energía y para dimensiones reducidas se minimiza el consumo. Esta ecuación predice que son posibles límites de computación superiores en 10^9 a los que la tecnología FET-CMOS podrá lograr en el 2010.

La conclusión de estas dos ecuaciones es que los límites de la computación aún están lejos pero que no será posible el alcanzarlos con la tecnología actual.

4.1.2.3 Los nano-elementos. La física teórica y la experimental han recibido inmensa ayuda de los computadores y ella está a punto de devolver el favor proporcionando a los técnicos nuevos conocimientos que permitirán desarrollar tecnologías que no permitirán la "muerte" de la Ley de Moore, es así como se empieza a trabajar con los Nano-elementos.

Un Nano-elemento es un dispositivo cuyas dimensiones están en la escala de los Nano-metros, es decir 10^{-9} metros, estas dimensiones están asociadas más con moléculas que con circuitos integrados. Son posibles, en la actualidad, procesos químicos de ensamble que producen Nano-cristales del orden de 10 nm. Sin embargo, un problema es como poderlos conectar entre sí[87], otro es como lidiar con el comportamiento estadístico que tienen intrínsecamente los procesos químicos (que hará que algunos de los elementos no sean operacionales) y finalmente no es claro como manejar la incertidumbre operacional que sufrirá el sistema. La idea en este

[87] En estas dimensiones físicas, los conductores son tan delgados que tienen una resistencia eléctrica muy elevada, su disipación térmica es tan grande (algunos microvatios) que se funden.

apartado no es la de hacer una presentación extensa de la nanotecnología, en numerosos sitios en el Web se encuentra información sobre este tema.

4.1.2.4 **Computadores basados en proteínas**. Constantemente, el desarrollo de nuevas técnicas orientadas a fabricar mejores y más rápidos computadores da paso a que se investiguen fenómenos físicos muy distintos a la física del estado sólido, en busca de medios novedosos que puedan permitir avances notables en el campo del hardware de los computadores. Hasta el presente, la mejora en la capacidad de cómputo se ha logrado mejorando los procesos de miniaturización en la fabricación de los elementos que constituyen los microprocesadores y las memorias. Si la tendencia actual de miniaturización continúa, una compuerta lógica tendrá el tamaño de una molécula hacia el año 2020. La miniaturización tiene unos límites: cada factor de dos en la miniaturización, tiene un incremento del costo, en la fabricación del semiconductor, de cinco. Llegará el momento en que el costo, más que la física, detendrá la miniaturización. Por eso es necesario buscar alternativas, diferentes a los semiconductores, para obviar la limitante anterior.

Las moléculas pueden servir potencialmente como elementos de conmutación porque sus átomos son móviles y cambian de posición en una forma predecible. Si se hace posible controlar los movimientos atómicos y de forma consistente generar, por lo menos, dos estados discretos en la molécula, se puede usar cada estado para representar los dígitos binarios, 0 y 1, de los computadores actuales. Tales compuertas lógicas tendrían un tamaño de una milésima parte de las compuertas actuales, cuyo tamaño es un micrón (10^{-6} metros). Los computadores que usen biomoléculas podrán tener un tamaño de 1/50 de los actuales. En el negocio de los computadores, compuertas más pequeñas significa más velocidad en la operación, y un computador basado en proteínas puede ser 100 veces más rápido que un computador actual. Las investigaciones que se han hecho hasta este momento no apuntan a computadores enteramente biomoleculares sino a híbridos en donde semiconductores y moléculas

interactúan. Los ingenieros Bioquímicos están en capacidad de diseñar y construir moléculas, casi que, átomo por átomo, generando la posibilidad de generar compuertas que operarán a la perfección. La habilidad de ciertas proteínas para cambiar sus propiedades en respuesta a la luz simplificarán la construcción de los nuevos computadores.

Desde hace algunos años los computadores portátiles usan pantallas de cristal líquido. Este es un primer ejemplo de como pueden combinarse elementos semiconductores y moléculas orgánicas para controlar la intensidad de las imágenes en la pantalla. Algunas moléculas biológicas están bajo estudio para su posible uso, pero la más prometedora es la proteína bacteriana "bacteriorodospina". En los pasados 10 años, laboratorios de Estados Unidos, Europa y Japón han construido prototipos de elementos para procesamiento paralelo, memorias tridimensionales y redes neurales, basados en esta proteína.

La arquitectura de los computadores actuales está abriendo nuevos conceptos para el diseño y la construcción de los nuevos computadores. Una de las nuevas orientaciones es la construcción de MEMORIAS, no bidimensionales como obliga el actual proceso de fabricación, sino tridimensionales, es decir, un chip de varios pisos. Otro camino es el del PROCESAMIENTO PARALELO, en donde la información es partida en conjuntos que son manipulados simultáneamente, computadores propicios para sistemas de reconocimiento óptico, por ejemplo. Otra tendencia es el desarrollo de sistemas conocidos como REDES NEURALES , sistemas que aprenden por asociación y que son la ruta necesaria para los sistemas de inteligencia artificial.

4.1.2.5 Computación Configurable. Los diseñadores del hardware usado en los computadores enfrentan con mucha frecuencia un dilema: la velocidad y el propósito general. Los diseños orientados a ser de propósito general pueden resolver numerosas aplicaciones, utilizando programas codificados en binario. Esta solución implica una gran cantidad de ciclos de

máquina, que hacen que la operación general del sistema sea lenta. En esta categoría se encuentran los microprocesadores como el Pentium de Intel o el Power PC de Motorola. Los diseños orientados a ser veloces usan la menor cantidad de programación posible y resuelven su situación específica usando alambrado físico de compuertas. Los llamados controladores de vídeo, controladores de disco duro, controladores de comunicaciones, que se usan dentro de los computadores personales pertenecen a esta categoría. Se les conoce con el nombre de ASIC (Aplication Specific Integrated Circuit). Sin embargo, la más mínima variación en las especificaciones de un nuevo producto imposibilitan que el ASIC, ya desarrollado, se pueda volver a usar.

Actualmente se está presentando en el mercado un producto que pretende tomar lo mejor de los dos sistemas y conjugarlo en un nuevo tipo de circuito: los FPGA (Field Programmable Gate Arrays). Es hardware bastante orientado a una aplicación cuya configuración puede ser cambiada, por programación, aún durante su operación. Las FPGA consiste de arreglos de bloques lógicos configurables que implementan las funciones lógicas de las compuertas. Las compuertas lógicas son las que efectúan las funciones lógicas básicas como el AND, NAND, OR, NOR, XOR. En la gran mayoría de los equipos de cómputo que se utilizan actualmente, las funciones lógicas son fijas y no pueden ser modificadas. En los FPGA las funciones lógicas realizadas dentro de los bloques lógicos y las conexiones entre estos bloques pueden ser modificadas enviando señales al chip. Sin embargo, hay campos en donde la potencialidad de estos circuitos aún no se ha desarrollado, por ejemplo en sistemas de reconocimiento óptico, un FPGA pude reconfigurarse sobre la marcha para que se enfoque y reconozca otro tipo de objetos, distinto a aquellos en los cuales fue programado originalmente. En general, todos aquellos sistemas que implique reconocimiento de patrones, tales como reconocimiento de letra manuscrita, identificación de rostros, recuperación de información en bases de datos, serán beneficiados con el uso de los FPGA.

El TERAMAC es un computador experimental construido en los laboratorios de HEWLETT PACKARD con la finalidad de estudiar arquitecturas de computador redundantes, tolerantes a falla y con capacidades de computación en paralelo. Aunque está construido con tecnología CMOS, la intención es el emular el comportamiento de un dispositivo electrónico construido con cristales. En el cual el proceso de fabricación se torna estadístico y existe una posibilidad cierta que muchos de los elementos de conmutación no sean funcionales. TERAMAC es computador con multiarquitectura reconfigurable que contiene 10^6 compuertas que opera a 1 MHz[88] y con una capacidad 10^{12} operaciones por segundo (1 Teraflop). Esencialmente es un arreglo matricial, tridimensional de procesadores FPGA reconfigurables, unidos por una gran cantidad de cables (buses) y suiches[89] , que recuerdan la arquitectura de las centrales telefónicas tipo "crossbar", y que permiten que cualquier salida pueda ser conectada con cualquier entrada del sistema. La arquitectura es jerárquica y tiene seis niveles, el computador al iniciar su operación entra en una rutina de autocomprobación y deja fuera de la red de conecciones los componentes que no son operacionales. Esta característica genera su alta tolerancia a fallas, de tal forma que los diseñadores pusieron, adrede, cerca de 220.000 compuertas defectuosas o que no cumplían adecuadamente con normas de calidad. Tras un nacimiento "comatoso" en el que las primeras 24 horas de operación se usaron para autodiagnosticarse y crear las tablas de los elementos operacionales el TERAMAC ha operado correctamente por un período de tiempo superior a cualquier MTBF[90] conocido.

Conclusión: Todas las investigaciones aquí presentadas tardarán por lo menos 15 años antes que se vea el primero de los componentes biomoleculares en el mercado. Se estima tener

---

[88] A esta velocidad es 2000 veces "más lento" que un Pentium 4, sin embargo la capacidad de cómputo del sistema TERAMAC es 2000 veces mayor!!

[89] Por "switch", y significa un interruptor que puede ser conmutado por una instrucción del programa que está al comando de la máquina.

[90] Medium Time Between Failures. Medida de los técnicos para estimar cuanto tiempo puede garantizarse que un equipo electrónico funciona sin fallar.

computadores con memorias, sin partes móviles, que tengan capacidad de 1 Terabyte (un millón de Megabytes!) en la tarjeta madre. Si se añaden los desarrollos de redes neurales y de procesamiento paralelo, estamos a las puertas de notables desarrollos en la inteligencia artificial.

- SOFTWARE

4.1.2.6 **La computación evolucionaria. (Los algoritmos evolucionarios).** Una de las principales aplicaciones de los Algorítmos evolucionarios es el aprendizaje para las máquinas, han surgido tres ramas: Algorítmos genéticos, las estrategias de evolución y la programación evolucionaria. Estas técnicas son muy similares entre sí, pues en todas, una población de soluciones compiten unas con otras, sufriendo variaciones aleatorias al reproducirse, para crear una generación de soluciones nuevas que son continuamente evaluadas con respecto al desempeño esperado del mecanismo. Un diagrama que puede resumir el proceso de la computación evolucionaria, es el siguiente:

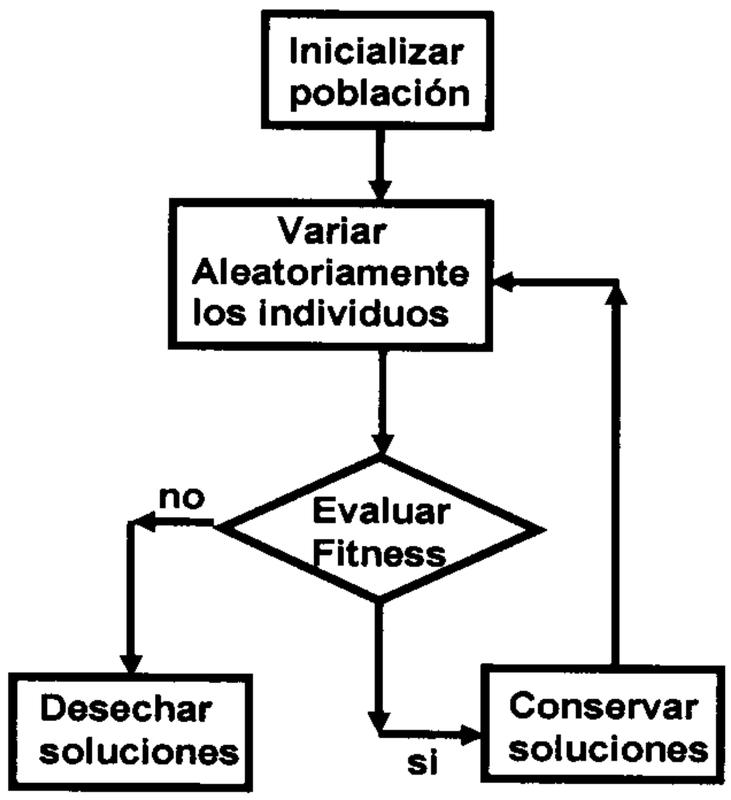

Fig 2 Diagrama de flujo de un Algoritmo evolutivo

Es importante el anotar que en la búsqueda de una solución a un problema industrial, la función de "Fitness" es la que guía la evolución de las poblaciones de soluciones. Veamos un ejemplo práctico:

Un móvil debe moverse entre los puntos O(rigen) y F(in) a través de una matriz cuyas celdas tienen un grado de dificultad, (que se representa con un número), para atravesarlas, el algorítmo debe aprender cual es la ruta más fácil (más económica)[91] para atravesar el campo.

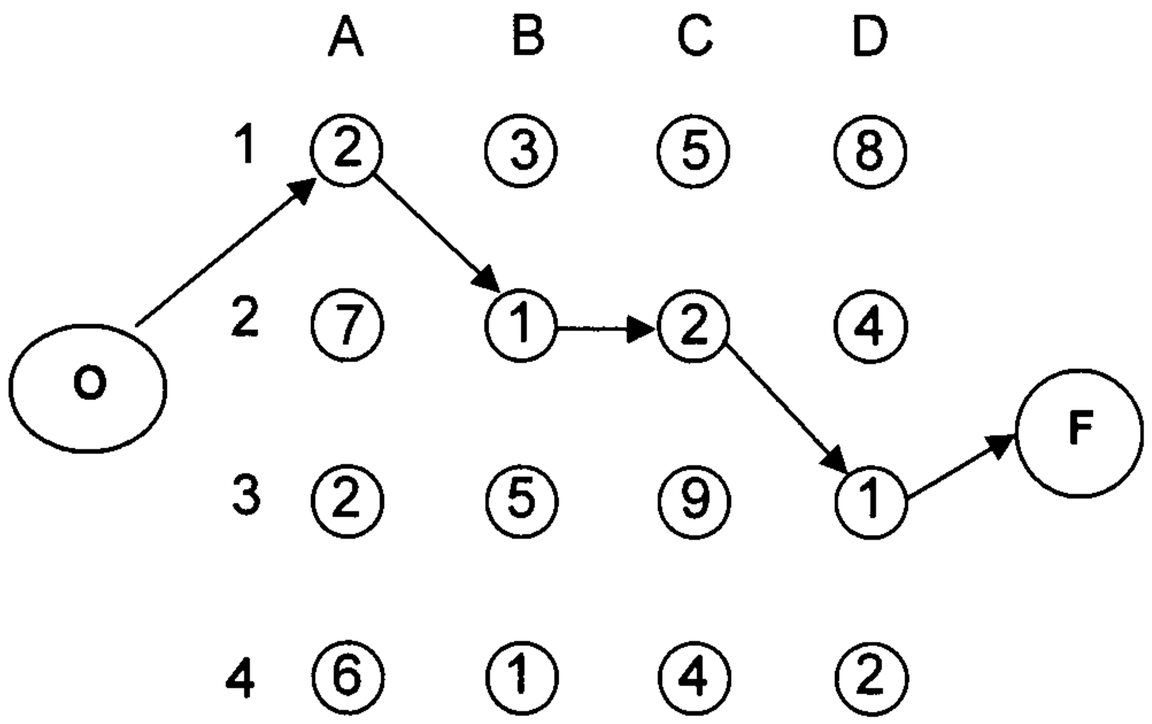

Fig 3 Ejemplo de problema evolutivo[92]

El proceso de inicialización de las soluciones consiste en determinar todas las posibilidades que hay de A1 hasta A4 (cuatro posibilidades). Aleatoriamente se explora una de las posibilidades (ruta O-A2, por ejemplo) y se memoriza su puntaje (7). Se procede a decidir si es el menor valor posible, si lo es (y lo será en la primera corrida) se conservará esta como la mejor ruta posible. Aleatoriamente se escogerá otra ruta (ruta O – A1, por ejemplo), se anotará su puntaje (2) y ahora se compararán las dos soluciones que existen en el sistema. La Función de Fitness conservará la de menor puntaje y desechará a la otra. El proceso se repetirá hasta

---

[91] El término "más económica" ya implica el haber definido una función de Fitness.

[92] Se muestra la trayectoria más económica. El algoritmo usado por los lectores para escoger esta ruta probablemente sea el de escoger el menor valor de cada columna y unirlos con la línea más corta posible. Este razonamiento implica una función de Fitness que tiene un conocimiento de todos y cada uno de los elementos del problema y ya implica experiencias anteriores del lector, quién seguramente ha tenido éxito en problemas similares.

que se hallan agotado todas las posibilidades (cuatro para cada una de las cuatro filas, es decir 16 oportunidades).

En este ejemplo sencillo el programa habrá "aprendido" cual es la ruta más económica (O, A1, B2, C2, D1, F). Si cambiara la matriz o se hiciese más compleja esta primera solución se podría usar para inicializar la solución del próximo problema, pero como obviamente no servirá, se deberá aplicar variaciones para encontrar la nueva solución. Se podrá proceder así:

1. Variar arbitrariamente una de las rutas
2. Invertir la posición de rutas
3. Crear descendencia mutada

Evidentemente la mejor es la última de las propuesta, que nos permitirá conservar la solución original y tener una serie de soluciones "emparentadas que nos permitirán tener variantes muy parecidas a la primera. A esta nueva población de soluciones se las evaluará según la función de Fitness y se escogerá la mejor adaptada,[93] y que permita ver el progreso del sistema hacia una solución óptima. La computación evolutiva se puede diseñar para que soluciones diferentes, que tienen puntajes iguales, se emparenten entre sí buscando una descendencia cuyo ajuste a la función de Fitness sea mayor.

Toda la explicación presentada anteriormente cubre lo que se denomina **la computación evolucionaria clásica**, pero si algún concepto se modifica con la finalidad de generar un sistema más inteligente, permite la aplicación del concepto de **la computación evolucionaria adaptativa**, en donde se aplica una manipulación dinámica de operadores o de parámetros durante el curso de la evolución algorítmica. Tiene la ventaja de ser reactiva a los particulares no anticipados de un problema y para algunas formulaciones puede adquirir información en forma dinámica acerca de las regularidades del problema. Un paso más adelante se da cuando

[93] En este caso la función de Fitness puede ser diferente a la del problema anterior.

se considera **la computación evolucionaria auto-adaptativa**[94]**.** En este caso también se realiza una variación de los parámetros que rigen la evolución de la solución, pero a diferencia del caso anterior el factor que afecta al sistema de evolución es en sí mismo un algorítmo evolutivo. Esto significa que existen dos sistemas evolucionando simultáneamente. El primero es el que se encarga de resolver el problema **per se**, mientras que el segundo modifica las condiciones de evolución del primero permitiéndole alcanzar más rápido una solución óptima.

Conclusión. Las anteriores secciones presentan una colección de temas que considero pueden dar pie a una nueva visión en el campo de la vida artificial. Estamos a punto de un cambio tecnológico en los elementos físicos que sirven de base a la vida artificial y en posible que se de un salto del uso del Silicio a usar Carbono. Esto implicaría que la vida artificial será más parecida a la vida "**real**" en sus componentes primarios, lo cual puede generar muchos más conflictos que los que genera ahora la "**vida en silicio**". Imaginémonos por un momento que fuera posible (y probablemente lo será) construir un computador con los mismos componentes del DNA, sólo que ordenados en forma diferente, ¿se podría decir que estamos construyendo un organismo vivo? ¿Será esto manipulación genética?. La respuesta es **NO.** Por el momento este tipo de elementos no será capaz de reproducirse, no tendrá metabolismo, no mutará, no será autónomo y se alimentará exclusivamente de electricidad[95]. Esta próximo para nosotros el caso en que el Hardware de los computadores esté construido con moléculas basadas en Carbono, es decir, estamos a punto de, (para la vida artificial) de cambiar la "**vida in silicio**" por "**vida en carbono**". Es relativamente más fácil (y barato) construir cristales periódicos, usando procesos químicos, que construir transistores FET-CMOS por procesos litográficos. Moléculas construidas en esa forma tiene comportamientos predecibles y la tendencia es el usar biomoléculas que son relativamente grandes (y fáciles de manipular), son muy estables y con bajos comportamientos

---

[94] Esta técnica será muy interesante de experimentar usando una plataforma como el TERAMAC, en donde se puede hacer que Software y Hardware evolucionen simultáneamente.

[95] Visitar la página del SANTA FE Institute, en donde se pueden encontrar múltiples artículos sobre este tema.

cuánticos. La llamada Nanotecnología nos está dando herramientas para construir este tipo de elementos. Las posibilidades tecnológicas están abiertas y el futuro decidirá.

Realmente, la vida artificial no será el Nuevo Hardware, serán los programas que "**viven en él**". Esta es una diferencia muy importante de este nuevo tipo de vida, y es que debe ser conformada por información, bits y bytes que constituyen las instrucciones de un programa. En la vida artificial es clara la simbiosis del Hardware y el Software para darle existencia a esta. En la naturaleza aparecen en forma tangible los vehículos de la vida, las proteínas, los cromosomas, el DNA, entonces se puede hacer una pregunta "**¿Hay información almacenada en los genes, en el DNA, en los cromosomas?**". La respuesta es **SÍ**. Sin embargo, aún es muy oscuro cuál es el código que usó la naturaleza para guardar la información en estas moléculas.

4.1.3. VIDA ARTIFICIAL ZOOMORFA

Es importante el hacer notar que pronto empezaremos a usar "**partes de seres vivos**" (biomoléculas) para construir el hardware de los computadores, pero es mucho más importante el tener claridad que el software (programación) que acompañará a estos sistemas debe evolucionar de tal forma que la vida artificial que se desarrolle en estas nuevas máquinas sea más compleja, más diversa y permita la emergencia de comportamientos más ilustrativos de lo que es la vida. Los físicos y los ingenieros electrónicos están a punto de producir un salto evolutivo en el hardware, computadores, los ingenieros de sistemas es necesario que los acompañen, generando otro tanto en el software.

La vida artificial zoomorfa, aunque basada en todo lo expuesto en numerales anteriores, es la que tal vez nos inquieta. Su similitud con la nuestra, nos lleva a problemas filosóficos, morales y religiosos, complicados que generan encendidos debates. A pesar de estos, la tecnología avanza y en un futuro relativamente cercano, tendremos que convivir con algunos, si no todos, de los desarrollos que mencionaremos a continuación:

a- Humanos asistidos por máquinas

b- Humanos con reemplazos biológicos (Bioingeniería, Ingeniería Genética)

c- ¿Humanos – máquinas?

d- ¿Máquinas – humanas?

e- ¿Algo nuevo está naciendo?

4.1.3.1 Humanos asistidos por máquinas. Esta concepción consiste en la extrapolación del uso de las máquinas personales que hemos creado hasta el momento, por ejemplo, relojes de pulsera, teléfonos portátiles, computadores personales, equipo de sonido y de video portables, asistentes personales (agendas personales), etc. Es posible que en un futuro próximo estemos "**vestidos**" con máquinas que nos asistan en nuestra actividad diaria, así por ejemplo podemos citar la forma como "**alambran**" los soldados de alta tecnología, quienes tienen a su disposición comunicación satelital, sistemas GPS, visión nocturna e infrarroja, blindajes, etc. Otro ejemplo es el traje de los astronautas que no es más que una porción de nuestro medio ambiente llevado al espacio exterior. Estos ejemplos ilustran la idea y la posibilidad que el humano de un futuro próximo esté "**revestido**" de máquinas de propósito específico que lo conviertan en un ser humano distinto del actual dada su dependencia de todos esos artefactos para adaptarse a un entorno, que él habrá cambiado, y que necesariamente será diferente al actual en el cual estamos[96].

4.1.3.2 ¿Humanos- máquinas? Otra posibilidad es que el ser humano reemplace parte de su organismo por máquinas, con mayor resistencia y durabilidad que sus contrapartes biológicas generando una mezcla de vida natural y de máquinas, que muchos autores

[96] ¿Podríamos regresar a vivir como el Homosapiens de hace 100.000 años? **NO**, aunque genéticamente somos iguales, hemos cambiado tanto nuestro entorno y tanto nos hemos adaptado a él, que nos resultaría imposible sobrevivir en el ambiente primigenio.

definen como el **Cyborg**. ¿Hasta dónde se podría llegar? Acorde con la apreciación de muchos, el límite estaría en un cerebro humano (o animal) contenido en una máquina enteramente controlada por este. Esta concepción (teórica, o más bien, de ciencia-ficción) aseguraría que la inteligencia y la conciencia propias de ese cerebro humano seguirán existiendo.

Las anteriores concepciones son de vida artificial asistida por máquinas. El siguiente numeral, basándose en lo anteriormente expuesto, permite llegar a la verdadera concepción de la vida artificial.

4.1.3.3 ¿Máquinas humanas?. Vida artificial No Zoomorfa. Si al Cyborg del numeral anterior le reemplazamos el cerebro biológico por uno artificial (un computador), que pudiera reproducir todas sus funciones mentales, que replicará su inteligencia y su conciencia, no podríamos diferenciar la vida natural de la artificial (que acabaríamos de crear). Si además le quitamos su apariencia zoomorfa, tendremos un ser que no se parece a nada de lo que ha creado la evolución natural, pero que sin embargo tiene vida. [97].

4.1.3.4 ¿Algo nuevo?. Si bien, la anterior idea puede parecer descabellada, la verdad es que en este momento hay vida artificial no zoomorfa que ya está evolucionando. En el World Wide Web (www), el internet, ya se está replicando la evolución natural, aún con mucha ingerencia humana, pero se ha creado un tipo de vida similar a aquel de la tierra cuando su atmósfera y mares estaban llenos de protoproteínas, veamos:

- **Medio ambiente, entorno**: La red mundial de computadores, internet.

[97] El problema del Alma se lo podemos dejar a los Teólogos…

- **Habitantes**: sistemas operacionales, programas de usuario, programas tipo virus informático[98].
- **Nichos**: Las memorias y discos duros de los computadores en las intranets.
- **Forma de adaptación**: Mutaciones (cambios) en el código de sus programas.
- **Depredadores**: Programas antivirus (vacunas)
- **Forma de reproducción**: Parasitando programas de usuarios.

Aún falta mucho para que este entorno, invisible en su mayoría para nosotros, se haga tan complejo como nuestro planeta cuando empezó la vida natural, y por lo tanto, esté listo para la emergencia de una vida artificial basada en el silicio.

4.2.- ¿ESTAMOS CREANDO NUESTRA COMPETENCIA EVOLUTIVA?

LA EVOLUCIÓN NO HACE JUICIOS DE VALOR SOBRE SUS CREACIONES.

Por ROBOT se concibe a todas aquellas máquinas que poseen inteligencia suficiente (computador y programas), para realizar de manera autónoma una determinada tarea y hasta cierto punto es una idea (vaga y nebulosa) que engloba todo lo que se ha escrito, en este capítulo, acerca de la vida y la inteligencia artificial. Muchísimas máquinas en la actualidad cumplen con este requisito. Póngase el caso de un ascensor moderno cuyo control permite: decidir que ascensor atiende cual llamada, en qué piso los estaciona esperando (con el fin de reducir los tiempos de espera al ser llamados), programar las aceleraciones y las velocidades según la longitud del viaje, detectar sobrecupos, ajustar el nivel del ascensor con el del piso según la carga que lleve. etc. Otro ejemplo de robots, son los aviones de

[98] Este es el más nuevo y el que más nos interesa, porque su comportamiento imita al virus de la vida natural, pues tiene movilidad, es autocontenido, infecta y se reproduce parasitando a otros programas.

pasajeros modernos, que pueden despegar, escoger el mejor camino entre dos puntos, volar el avión, evitar tormentas y aterrizar sin intervención de sus pilotos humanos[99].

Las películas de ciencia ficción han desfigurado la idea del robot, y la mayoría de la gente considera que deben ser antropomorfos, con inteligencia humana, y propensos a crisis emocionales. La mayoría de los robots que se usan en producción en la industria tienen como configuración física la de un brazo mecánico. La idea fundamental en este caso es reemplazar un brazo humano. El mecanismo tiene cuatro ejes sobre los cuales tiene libertad de movimiento, y que son equivalentes a muñeca, codo, hombro y cintura del operador humano. Esto le da amplia libertad de movimientos en un volumen equivalente a una semiesfera cuyo diámetro coincide con la longitud del brazo. Los brazos mecánicos tienen un computador con el cual se programan y se controlan los movimientos de la máquina. Son computadores más parecidos a los que utilizan las máquinas de control numérico que aquellos que se utilizan para el proceso de datos. Los brazos mecánicos son usualmente costosos y sólo se justifica el tenerlos cuando los volúmenes de producción son muy elevados. Los brazos mecánicos, o robot, se utilizan frecuentemente en la industria automotriz, para realizar labores muy repetitivas y sin variedad, que producen fatiga y hastío en el operador humano, como por ejemplo: labores de soldadura de partes de chasises, pintura de los mismos, producción de bloques de motor, etc.

Se acostumbra también usar robots en ambientes peligrosos para los seres humanos, como son ciertas industrias químicas que trabajan compuestos tóxicos, plantas de energía atómica, o cuyo ambiente es peligroso para el operador como pueden ser minas o siderúrgicas.

La verdad es que estamos a punto, como se ha presentado en los numerales anteriores, de dar lugar en este universo a la vida y a la inteligencia artificial. Si esta creación será nuestro acompañante, complemento y sirviente (**simbiosis**) no lo sabemos. Pero si las leyes de la naturaleza han de seguirse cumpliendo yo creo que estamos creando otra especie, similar a la nuestra con la cual tendremos que **competir** por los recursos de nuestro entorno.

---

[99] Esta no es una afirmación que nos haga sentir cómodos: recordar la película "¿dónde está el piloto?".

En resumen, la razón del robot sería la siguiente:

- Se utilizarán para hacer cosas que no queremos o nos son peligrosas.
- Para efectuar tareas muy complejas
- Para realizar tareas que no podemos realizar

Como consecuencia de las decisiones que hemos tomado el Robot será:

- Nuestra complementación, concepción que se enmarcará en la visión de este trabajo en donde la máquina es una complementación nuestra (visión evolucionista / humanista)
- Otra especie, una nueva forma de vida en el universo. Si bien sólo puede aparecer si la precede otra especie inteligente como nosotros es parte de la evolución natural presente en el universo (visión evolución /natural).
- La verdad es que las dos anteriores visiones no son excluyentes y probablemente sucedan las dos.

4.2.1. CONSECUENCIAS:

Las reflexiones de los anteriores párrafos nos llevan a concluir que:

- Habrá simbiosis entre el humano y la máquina y este podrá ser un sucesor de Homo Sapiens que podríamos llamar "Homo Sapiens Mechanicus"

- Competencia: habrá aparecido una nueva especie con la cual tendremos que competir por recursos. ¿Qué puede suceder?. El contexto de este trabajo nos lleva a concluir que esta nueva especie, heredera de nuestra ciencia, técnicas y tecnologías, continuará actuando en forma similar como lo hace la especie humana. Entonces, hay que preguntarse: **¿HABRÁ UNA ASOCIACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DEL HOMO SAPIENS?**

Es en este punto donde los técnicos nos hemos de detener a reflexionar sobre lo que estamos haciendo, sobre lo que queremos hacer, lo que podemos hacer y, sobre todo, lo que debemos hacer. Debe ser la Bioética la que nos ayude a tomar estas decisiones pues solo un proceso reflexivo como este nos permitirá encontrar las decisiones acertadas.

5.- LA INGENIERÍA Y LA BIOÉTICA.

5.1.- QUÉ ES LA BIOÉTICA?

Puesto que casi no hay trabajo en el campo de la ingeniería y la Bioética presentamos extractos del libro de Azucena Couceiro "Bioética para clínicos", (editorial Tríocastela, 1999, Madrid) y en especial del artículo de Diego Gracia "Planteamiento general de la Bioética" (p 19 – 35).

Hay que hacer la observación que éste es un artículo orientado a hacer un planteamiento general de la Bioética médica y, aunque en buena parte, los conceptos presentados son aplicables a la ingeniería, algunos de ellos requerirán un análisis más detallado para poder ser utilizados en esta área.

El término Bioética es un neologismo introducido en idioma inglés por Potter[100] en el año 1970. A partir de entonces ha gozado de general aceptación. Su éxito ha sido proporcional a su propia indefinición, de hecho, cada uno lo ha interpretado a su modo y manera, de acuerdo con su profesión o ideología. Los médicos vieron en él el nuevo rostro de la clásica ética médica o deontología profesional. Los biólogos y ecólogos, por su parte, consideraron que obedecía a la nueva toma de conciencia de las sociedades avanzadas por el futuro de la vida, ante las continuas agresiones al medio ambiente.

Hay cuando menos dos tipos de razones que explican el nacimiento y desarrollo de la Bioética en el curso de las dos últimas décadas; Uno, el primero, lo constituyen los avances acaecidos en el campo de la biología molecular y de la ecología humana, y la creciente preocupación por el futuro de la vida sobre nuestro planeta. Otro, la profunda transformación operada en el ámbito de la medicina en los últimos cinco lustros. En las últimas décadas el hombre ha pasado de ser mero espectador pasivo de la evolución biológica, a verse como dueño y señor de ella, este hecho plantea en toda su crudeza el tema de **si todo lo técnicamente correcto es éticamente bueno.**

[100] Potter Van Rensselaer, Biobética puente, Bioética global y Bioética profunda, Ed Madison, 1970

Los códigos deontológicos de la profesión médica, como los de cualquier otra actividad, son declaraciones de principios que los profesionales se comprometen a respetar desde el momento en que entran a formar parte de ese grupo. Esas declaraciones de principios éticos son necesarias, pero hoy resultan insuficientes. Los problemas éticos han adquirido un volumen y la gravedad tales que necesitan de otros procedimientos de análisis. La Bioética esté intentando responder a estas necesidades mediante métodos de resolución de problemas éticos que cumplan ciertos requisitos básicos. Estos requisitos, sin los cuales hoy no es posible la Bioética, son los siguientes:

1. La Bioética ha de ser, en primer término, una ética civil o secular, no directamente religiosa, de tal forma que las instituciones sociales estén obligadas a establecer unos mínimos morales exigibles a todos.
2. Ha de ser, además, una ética pluralista, es decir, que acepte la diversidad de enfoques y posturas e intente conjugarlos en unidad superior.
3. La tercera nota que ha de cumplir la Bioética actual es la de ser autónoma, no heterómana. Se llaman heterónomos los sistemas morales en que las normas le vienen impuestas al individuo desde fuera, en tanto que autónomos son los sistemas contrarios. Las éticas autónomas consideran que el criterio de moralidad no puede ser otro que el propio ser humano.
4. El cuarto y último requisito es que la Bioética tiene que ser racional. Racional no es sinónimo de racionalista, interpretación de la racionalidad que ha pervivido durante muchos siglos en la cultura occidental, pero que resulta por completo inaceptable.
5. Finalmente, la moderna Bioética aspira a ser universal y por tanto ir más allá de los puros convencionalismos morales.

Diego Gracia resume las posturas que existen sobre la Bioética, explicando que en Europa existen dos corrientes, en la Bioética, fundadas en las tradiciones europeas. La Europa anglosajona ha tendido al empirísmo y la Europa continental ha sido orientada al racionalismo. Las filosofías empiristas suelen ser emotivistas y consecuencialistas. Por el contrario, las filosofías del Europa continental tienden a ser racionalistas y deontologistas[101].

Como resultado de todo esto, las éticas anglosajonas suelen ser utilitaristas, en tanto que las centroeuropeas no son. El utilitarismo propende, como máxima, la consecución del mayor bien para el mayor número, que ha sido reemplazado, a causa de la influencia de Kant, de la búsqueda del máximo bien para todos.

5.1.1.- Metodología para resolver problemas éticos.

Los comités de ética son el recurso utilizado, de preferencia en el ambiente médico, para la toma de decisiones que involucran cuestiones éticas o morales. Así, en las éticas consecuencialistas, el papel del comité es fundamental, ya que sólo en él es posible articular los intereses reales o virtuales de todos los afectados por la decisión.

Personas de muy distinta formación filosófica pueden aceptar, según ellos, un conjunto de principios éticos comunes, que ellos reducen a cuatro: **autonomía, no-maleficiencia, beneficencia y justicia**. Este planteamiento genera de la necesidad de crear una "**ética mínima**" que estaría constituido, en opinión de Diego Gracia, por los principios de no-maleficiencia y de justicia, y la "**ética de máximos**" estaría constituida por los principios de autonomía y beneficencia. Los principios universales o de bien común como son el de no-

[101] Gracia Diego, Planteamiento general de la Bioética, compilación de Couceiro Azucena "Bioética para clínicos", (editorial Tríocastela, 1999, Madrid)

maleficiencia y el de justicia, tienen prioridad sobre el principio particular de autonomía. Por autonomía se entiende, en Bioética, la capacidad de realizar actos con conocimiento de causa y sin coacción. La ética de mínimos es propia de lo "correcto" (o incorrecto), en tanto que el segundo grupo es el propio de lo "bueno" (o malo).

Diego Gracia[102] propone la siguiente metodología, a los comités de ética, como elemento que ha de permitirles resolver los dilemas que se le presenten:

I.- El sistema de referencia moral

- Premisa Ontológica: el hombre es persona, y en tanto que tal fin y dignidad y no tiene precio.
- Premisa ética: en tanto que personas, todos los hombres son iguales y merecen igual consideración y respeto.

II.- El momento deontológico del juicio moral

- Nivel uno: No-maleficiencia y justicia
- Nivel dos: La autonomía y beneficencia

III.- El momento teleológico del juicio moral

- Evaluación de las consecuencias objetivas o de nivel 1
- Evaluación de las consecuencias subjetivas o de nivel 2

IV.- El juicio moral

- Contraste del caso con la "reglas" tal como se encuentra expresada en el punto II
- Evaluación de las consecuencias del acto, para ver si es necesario hacer una "excepción" a la regla, de acuerdo con el paso III
- Contraste de la decisión tomada por el sistema de referencia (paso I)
- Toma de decisión final

---

[102] GRACIA, D. (1989): Fundamentos de Bioética. Eudema, Madrid.

Los comités de ética han de estar constituidos por personas de diferentes profesiones y en especial por representantes de los usuarios, porque según se ha dicho, las decisiones éticas sólo son correctas si tienen en cuenta los puntos de vista de todos, y no sólo de algunos. No hay duda de que, los comités abiertos y plurales son los más adecuados para tomar decisiones éticas que los que no lo son.

5.2.- ¿QUÉ HACE EL INGENIERO?

El Ingeniero, hoy en día, es el profesional creador y gestor de la tecnología, en su formación se ha especializado en algún área de las ciencias naturales (de preferencia la física y la química) usando extensivamente los modelamientos matemáticos de los fenómenos físicos, usando software de simulación y muchas otras ayudas que tiene a su disposición. Buscando orientar su quehacer a la aplicación de sus conocimientos a la solución de los problemas cotidianos de la sociedad pero, sobre todo, trabajando en el desarrollo y la innovación en los productos que le competen a su profesión.

La generación del nuevo conocimiento (Investigación) se le delega al profesional de las ciencias naturales, (que puede ser, también, un Ingeniero con un PHD en esas áreas). Al Ingeniero se le encarga buscar aplicaciones prácticas (y rentables!) para ese conocimiento nuevo. Resumiendo: el científico investigador permanentemente se pregunta el **¿por qué de las cosas?,** y el Ingeniero está constantemente buscando un **¿para qué de las cosas?**

La ingeniería es una profesión que se desarrolla desde mediados del siglo 19, si bien no era concebida como hoy, ya se hablaba de los ingenieros. En inglés la palabra Engineer significa ¨Maquinista¨ y así se referían a quién operaba los vehículos de vapor. Que esta persona tuviera la habilidad para comprender y reparar tal artefacto lo hacía destacar entre sus conciudadanos y, por lo tanto, adquirió un aura de mago de la tecnología. En ese siglo existieron:

- **El Ingeniero Constructor** (hoy el I. Civil), que hacía caminos, puentes, tendido de vías Férreas, etc.
- **El Ingeniero Hidráulico**, quién trabajaba el control de aguas para acueductos, embalses, regadíos, etc.
- **El Ingeniero Químico**, quién producía insumos para la industria, aunque en esa época se le presentaba como Químico, a secas.
- **El Ingeniero Mecánico** quién diseñaba y producía todo tipo de maquinarias para la naciente industria de la primera revolución industrial, y sobre todo construía las nuevas fuentes de energía de esa sociedad como era la caldera de vapor.

Empezando el siglo 20, y a consecuencia de la aparición comercial de la energía eléctrica como fuente de poder para las industrias y para el hogar, y también, con la aparición del concepto de la línea de producción en serie aparecen las siguientes disciplinas nuevas en la ingeniería:

- **El Ingeniero Electricista**, quién se encarga de la generación y distribución de la energía eléctrica
- **El Ingeniero industrial**, quién se encargará de la optimización de los recursos para la producción de bienes (y es en este momento donde aparece la idea de la relación costo / beneficio)
- **El Ingeniero de Radio**, quién se encargará de la transmisión de información usando medios electromagnéticos.

En la primera mitad del siglo 20 se hace más rigurosa la formación del ingeniero y se le prepara no para que sea un tecnólogo (desde el punto de vista de hoy), sino que se lo fundamenta para que sea un diseñador de tecnología, apoyándose con mucha fuerza en la generación, comprensión y manipulación de modelos matemáticos de los fenómenos de la naturaleza que desea dominar. En los años 60, y a

causa de la aparición de los semiconductores, lo que desata una segunda revolución en nuestra sociedad, y que conocemos como la revolución de la información, aparecen las siguientes especialidades:

- **El Ingeniero Electrónico**, quien es un Ing. de Radio mucho más evolucionado y que, además, genera todos los artefactos que soportan la llamada Electrónica de consumo, y la instrumentación especializada que soporta los avances tecnológicos de otras profesiones. Desarrolla el pilar de nuestra sociedad futura: el computador electrónico.
- **El Ingeniero Aeronáutico**, quién impulsa el desarrollo de la aviación y de la industria aeroespacial.
- **El Ingeniero de sistemas y Telecomunicaciones** quién se ha de encargar de la programación de los computadores y de los sistemas de transporte de datos y son ellos los que generan otro de los hitos de nuestros días: Internet.
- **El Ingeniero Ambiental** aparece por la presión que hace la sociedad para controlar la depredación acelerada que está causando tanto avance industrial y tecnológico. Esta es de las más nuevas especialidades de la ingeniería.

En párrafos anteriores se ha presentado las especialidades de la ingeniería, sin embargo, es necesario aclarar aún más las actividades propias de esta. El texto, del Ingeniero Fabio Tellez[103], contenido en el anexo 6.3 explica en detalle que es lo que hace un Ingeniero.

La descripción del quehacer del Ingeniero se ha presentado para recalcar como la actividad está orientada a la producción de bienes y servicios para la sociedad en la que vive, en la actualidad el trabajo del profesional de la ingeniería esta interaccionando con el Bios y en el cuerpo de conocimientos de sus profesión hay metodologías y técnicas que necesariamente se cruzan en el camino de la evolución, y son fruto, ya lo analizamos antes, de la necesidad de la especie humana de alterar su entorno para conseguir

---

[103] Tellez Fabio, Metodología de proyectos de investigación en la Facultad de ingeniería Electrónica en la Universidad el Bosque. Director del Comité de Investigación de la Facultad, 2003

una mejor adaptación al mismo. Estos haceres del Ingeniero lo lleva a que en múltiples ocasiones este se encuentre frente a situaciones en las cuales deba hacerse consideraciones éticas y morales acerca de lo que hace, lo que debe hacer, o que debe dejar de hacer. Es así que en la próxima sección presentaremos los más comunes dilemas éticos de los ingenieros de hoy en dia.

5.3.- DILEMAS ÉTICOS DEL INGENIERO

Existen, en el ejercicio de la ingeniería, algunos temas que realmente generan discusión acerca de su validez moral. Buena parte de los ingenieros hacen caso omiso de estas apreciaciones, sin embargo, en razón a que cada vez estamos más cerca de ser Bio-ingenieros de tiempo completo vale la pena que se inicie la discusión de estos temas. Algunos de estos están incursos en las siguientes preguntas:

5.3.1. ¿Lo eficaz es justo?[104]

Hoy en día existe un razonamiento, muy en boga, en la sociedad occidental que afirma que: "lo eficaz es verdadero; lo verdadero es justo; luego, lo eficaz es justo". Esta afirmación se utiliza para justificar el concepto, erróneo, acerca que el fin justifica los medios. Numerosos gerentes de empresa emplean la concepción que lo eficaz es justo como justificación de conductas alejadas de la ética pues la vida en nuestra sociedad esta inscrita en un discurso ideológico y una visión útilitarista y pragmática. La eficacia es el resultado de la aplicación de los métodos tecnológicos a nuestras actividades productivas del día a día, en la asumción que ninguna de estas acciones tienen contenido moral. Pero:

5.3.2. ¿La técnica es neutral?

La técnica, además de fascinante, es ambigua... con la misma facilidad que salva vidas, las puede destruir. Hoy se considera verdadero no lo que depende de una verificación intelectual sino lo que

---

[104] Le Mouel Jacques, Lo eficaz es justo, Editions de Seuil, Paris, 1991

prueba ser eficaz. Desde el comienzo de la historia de la humanidad los conceptos de verdad y justicia han sido reflexión propia de los filósofos, la noción de eficacia no les ha preocupado. Eficacia y técnica están unidos, para los griegos significó (techne) producción o fabricación, que posteriormente evolucionó al concepto de "saber hacer". Para Aristóteles los fines de la técnica le son indiferentes, para él la técnica y la virtud ética están separados. En cuanto a aplicación de medios sólo se la debe juzgar en virtud del ajuste de estos medios al fin perseguido, usualmente propuesto por una instancia diferente. El técnico no se debe preocupar de lo que se produce ni del por qué se produce. Esta concepción de técnica "neutral" durará hasta finales del siglo veinte cuando la guerra industrializada, la energía nuclear, y la manipulación genética dieron al traste con estas concepciones pues, resulta evidente en este momento, que **la técnica no es moralmente neutra**. ¿Debemos utilizar todos los medios que la ciencia la técnica ponen a nuestra disposición?,¿se debe producir una herramienta o un objeto sin tener en cuenta el uso al que será destinado y las consecuencias que acarreara? Éstas son preguntas que sólo pueden hacerse cuando consideramos que **la técnica no es neutral**.

Refrendando en anterior punto de vista Gilbert Hottois dice: **"la tecnonaturaleza no es neutra, aunque la ciencia pretende serlo; por el contrario ésta determina el fin de la inocencia del científico como desligado del proyecto político al que sirve y el que se sirve."**[105]

5.3.3.- ¿Se debe mercadear la ética?

El uso peyorativo del término "tecnócrata" está relacionado con el temor ante toda decisión que se toma en nombre de la supuesta "eficacia" o "neutralidad" de la técnica, sin embargo, se ha vuelto de buen recibo criticar la pequeñez de sus valores morales y por lo tanto la ética se está convirtiendo en la última moda en materia de administración de empresas. Es así que está surgiendo una corriente de pensamiento y de acción, en el cual se pretende "mercadear" , en forma ramplona y barata, a la ética.

---

[105] Hottois Gilbert, El paradigma Bioético, Ed. Antrophos, Barcelona, 1991

Por ejemplo, el libro "Etica y Administración" de Blanchard y Peale (en 1988) trae el subtítulo - triunfar sin perder la decencia- lo que puede ser considerado un ejemplo de literatura para analfabetos. El 75% de las empresas americanas (según encuesta, de 1987, del Conference Board) tienen códigos de conductas que regulan sus relaciones internas y externas, consideran a la ética como un medio de gestión igual que cualquier otro, o sea, es rentable invertir en ética.

Sin embargo, en numerosas instancias, y en forma muy seria se está trabajando en el problema de los dilemas éticos generados por la actividad industrial, comercial, y tecnológica, tanto así que el autor Francés Alain Minc en su libro "la machine égalitaire" afirma que **"la moral será el desafío del siglo 21" (1987, p 77) y pregunta si acaso "¿hoy no se le estará considerando como un medio? ¿Cuál es el fin? ¿El fin justifica los medios?"**

En esta visión, en las empresas de hoy en día es habitual tener "declaraciones" públicas[106] sobre la misión, visión, valores (ética) de la organización. Estós "códigos éticos", declaraciones de principios y de valores son usualmente redactados por tecnócratas y tienden a ser de obligatoria aceptación en esas organizaciones. Acerca de esto el autor Francés Jaques Le Mouel dice:

"Confundir moral y ética, o derecho y ética, es un recurso cómodo para suprimir lisa y llanamente el libre albedrío del individuo. Es verdad que el orden social, con sus leyes, reglas y normas, preexiste al individuo y constituye para él una situación de hecho, pero reducir la ética a un conjunto de obligaciones exteriores impuestas por fuerzas capaces de asegurar su cumplimiento o de sancionar su incumplimiento es confundirla con el derecho. La noción de ética no se resume en una obligación impuesta por una coacción externa , sino que supone la libre aceptación del individuo, el sujeto ético no se somete a reglas por que este obligado o por temor a una sanción, sino porque cree en ellas y está convencido de su valor y de su legitimidad. Esta adhesión subjetiva confiere la ética toda su fuerza.

---

[106] Y usualmente están enmarcadas en los lugares públicos más frecuentados de las organizaciones.

La ética no obliga, no pretende tener la verdad absoluta; es una práctica autónoma y crítica que deja a la conciencia de cada quien la facultad de decidir por sí mismo, tanto sus elecciones morales como una postura carente de moral. Focault denunció suficientemente la utilización de códigos morales por el poder (político, policíaco, médico) a fin de impedir el ejercicio de la autonomía, o para que hoy se confunda ética y moral o, lo que es peor, para que la ética se ponga a remolque de la moral. Sólo hay ética si es independiente de la moral. La ética no le dice al individuo lo que debe hacer, no le exige aceptar un proyecto o una visión del mundo; a lo sumo, le indica en que casos tiene el deber de decir no. El individuo ético sabe lo que quiere."[107]

5.3.4.- Responsabilidad Social de la ingeniería[108]

El Ingeniero, con sus múltiples especialidades, se ha vuelto la espina dorsal de la tecnología de nuestra sociedad. El uso tan amplio de tan variada cantidad de mecanismos automáticos, que no siempre son lo suficientemente seguros y que, en ocasiones, no hacen lo que se espera de ellos, ha creado en el resto de la sociedad un concepto, y es que los ingenieros deben ser responsables por la calidad y la seguridad de lo que diseñan. A raíz que los litigios (en USA principalmente) han crecido enormemente, contra los ingenieros de diseño, hay un debate sobre la prioridad que ha de haber entre la responsabilidad social y la obligación legal de los mismos. El problema surge porque las leyes y las reglamentaciones son reactivas y usualmente aparecen a posteriori de un incidente. En la actualidad la seguridad y la calidad son el pilar para el ingeniero de diseño, y cuando aparecen las leyes, acerca de estos temas, es posible que mucho daño se haya hecho y en ocasiones en forma irreversible. ¿ Cómo puede el Ingeniero determinar el grado de responsabilidad social de él como Ingeniero y, a su vez, el de su empresa?.

---

[107] Le Mouel Jacques, Critique de léffcacité, Editons de Seuil, Paris, 1991. Traducción de Alberto Supelano en cuadernos de economía v. XVI n. 26, Bogotá 1997, p. 107 – 129

[108] Ver en la página 116 las concepciones de Engel Meier sobre el tema

5.3.5.- La seguridad del público como responsabilidad social[109]:

Es necesario que los ingenieros desempeñen un papel más activo con sus obligaciones, como profesionales, hacia la sociedad donde viven, teniendo en la mira la protección de la misma como un todo. Cuando la falta de seguridad y de calidad implica vidas en riesgo, el análisis costo / beneficios, que es lo que usualmente se maneja, no es satisfactorio. Por ejemplo: En el desastre del CHALLENGER ningún Ingeniero quebrantó la ley al no notificar sus dudas sobre los diseños de los impulsores de combustible sólido, aunque claramente hubo una malpráctica sobre seguridad, de los ingenieros responsable de la misma.

CONCLUSIONES

Tradicionalmente el Ingeniero se asocia en organizaciones técnicas afines con su especialidad, que le dan pautas de comportamiento, práctico, ético, y técnico. Es imperativo que las sociedades de ingenieros trabajen para que se mantengan los estándares de seguridad y calidad y que sus afiliados cumplan y hagan cumplir a sus colegas con las normas de la sociedad. Una organización típica es la IEEE (Institute of Electric and Electronics Engineering, que cuenta con 450.000 afiliados a nivel mundial). En Colombia una de esas asociaciones es la ACIEM (asociación colombiana de ingenieros eléctricos, mecánicos y de ramas afines). Como consecuencia de esta forma de comportarse de los ingenieros se ha generado, en Estados Unidos una Jurisprudencia, a raíz de los encuentros en las cortes, que ha decantado unos principios que, en general, las asociaciones recomiendan cumplir y que son: :

[109] Ver en la página 118 las concepciones de la sociedad de Ingenieros alemanes sobe este tema.

- Hay suficientes razones profesionales para creer que usted puede prevenir posibles peligros a muy bajo costo. (sobre este tema vale la pena leer sobre los "POKA – YOKES", como herramienta que se utiliza en las concepciones de calidad total de la industria Japonesa).
- Usted no tiene suficientes razones para creer que alguien pueda prevenir posibles peligros si usted no lo hace. No se debe delegar la seguridad!.

El Ingeniero debe tener en mente el resolver , la pregunta clásica: **¿cuál es el alcance de: suficientemente seguro?**. Un caso típico es esta situación: el asbesto en los sistemas de freno de los automóviles actuales es cancerígeno y cada vez que un vehículo frena una pequeña cantidad de este queda en el aire y lo respiran los transeúntes y los conductores. Se pueden hacer frenos en otros materiales que, o bien resultan muy caros y no son considerados, o que teniendo el costo adecuado no son lo suficientemente seguros. Se comparará, entonces, el número de personas muertas por cáncer, a causa del asbesto, contra el número de personas que morirá en accidentes de tráfico a causa de frenos "no tan" seguros y se tomará una decisión en consecuencia, que involucra asuntos relativos a la integridad y seguridad de las personas. Para ilustrar el dilema que se le presenta a un ingeniero de diseño/ingeniero de producto presentamos el siguiente caso:

Indudablemente este caso contempla decisiones que afectan la vida de las personas y no hay código de ética (de asociaciones profesionales de ingenieros) que haga explícita esta situación de decisión. Las asociaciones concluyen que los ingenieros no entienden a cabalidad el concepto de "productos desrazonablemente (unreasonably) peligrosos" que podría ser traducido como: "productos potencialmente peligrosos".

Es necesario que se trabaje más en la determinación de los riesgos y se delimiten las obligaciones que tienen los Ingenieros de diseño sobre productos defectuosos en cada una de tres categorías cobijadas en

los quehaceres de ingeniería de diseño: manufactura, diseño y mercadeo, (por ejemplo, en este último caso, cuando no se advierte al consumidor sobre el correcto uso del producto).

En los Estados Unidos, en donde es más avanzada la legislación sobre la responsabilidad civil, los ingenieros de diseño enfrentan múltiples problemas a causa de un pobre marco conceptual cuando se enfrentan a toma de decisiones en el contexto de los "productos potencialmente peligrosos". Se ha producido un fenómeno que ha llevado a que en USA, los pleitos contra los ingenieros, haga que el 21% de sus empresas no sean aseguradas.

En este sentido las asociaciones proponen ciertas soluciones a este tipo de problemas, puesto que a pesar del esfuerzo para evitar "posibles peligros" los accidentes ocurren y las demandas surgen.

Los ingenieros deben prepararse en temas como (y esto lo recomiendan las asociaciones de ingenieros):

- Consentimiento informado. El usuario del producto/servicio debe conocer los beneficios y los riesgos que su uso implica, en forma clara y explícita.
- Corrección y Solución de agravios (tost), que entre nosotros es la Responsabilidad Civil.
- Obligaciones de terceras partes.
- Pólizas de Cumplimiento, Garantías, Estabilidad de Obra, etc.

Remitiéndonos a numerales anteriores identificaríamos dos acciones de la Bioética: un principio de autonomía (consentimiento informado) y un principio de justicia (corrección de agravios, cumplimiento de obligaciones) en la relación ingeniero – usuario.

5.4- CODIGOS DE ETICA[110].

Ética viene de ethos (lo que es propio de si). Moral viene de mores (las costumbres, los usos). En ética a Nicómaco, Aristoteles plantea el fin último del hombre: la felicidad. Los demás fines sólo serán medios para lograr este. Desde este punto de vista es inaceptable "el fin justifica los medios" o "lo eficaz es justo". La ética no se ocupa de resolver los problemas, sino la manera de actuar conforme a ciertos valores. Hay una contradicción entre el pragmatismo para el cual el único valor es el éxito de la acción (cuyos fines no tiene en cuenta) y la ética (que se usa para el estudio de los conceptos fundamentales).

Lo moral constituye el sistema de reglas legítimas que el hombre debe seguir en su vida personal y en su vida social. La moral se ocupa del destino verdadero del hombre y afirma que toda acción libre y reflexiva supone la validez del fin, es decir, supone una reflexión y una decisión morales. (Moral se usa para el análisis de los fenómenos morales concretos). Históricamente la moral está relacionada con el fin último del hombre, que para los griegos fue la felicidad y para los modernos (principalmente para Kant) es la búsqueda de la virtud y el cumplimiento del deber.

Los párrafos anteriores han presentado algunos de los dilemas éticos de los ingenieros, la forma de resolverlos (en Ingeniería o en cualquier otra profesión) es creando códigos de ética. Es decir, cada profesión reglamenta su ejercicio profesional haciendo uso de un marco deontológico. A continuación se mencionarán los más usados por los ingenieros:

---

[110] Los temas en esta sección están fundamentados en lecturas del Doctor Lee L. Lowery, Jr., PhD, P.E., (Professor Eppright University, Professor Department of Civil Engineering, Texas A&M University. Research Engineer Texas A&M Research Foundation , Texas Engineering Experiment Station , Texas Transportation Institute) que entrega a sus alumnos, como casos de trabajo en su cátedra de "Ética en la ingeniería"

5.4.1.- Utilitarismo

Es el más común de ellos, y considero yo, usado por el 95% de los ingenieros. Se rige por el principio: "son correctas aquellas acciones que produzca la mayor cantidad de bienestar a las personas"[111]. Aunque pareciera que este punto de vista satisface la tendencia de la mayoría de las personas es difícil definir que es el "bienestar", y hay muchas opiniones divergentes. El principio anterior implanta en los ingenieros el concepto que lo que se debe buscar es:

- la mejor relación de costo / beneficio, o
- la mejor relación de riesgo / beneficio.
- se debe buscar el bien de las mayorías[112].

Estos conceptos, aunque altruistas en un principio, generan actitudes como la que existe entre los gerente de ingeniería y que es que "mientras no este prohibido se puede hacer ", o que si unos pocos salen perjudicados eso no importa, lo que importa es que la mayoría esté o satisfecho o seguro. Por ejemplo: producir un automóvil 100% seguro haría que su precio de venta fuera $100.000 dólares, como esto no satisface la relación ideal de Costo / Beneficio, se diseñará un vehículo, no tan seguro, que costará $10.000, a sabiendas que un porcentaje de sus usuarios tendrá accidentes mortales a causa de la falta de seguridad.

Puesto que el punto de vista del Utilitarismo genera reparos éticos, una solución para esto es el promover una versión matizada del anterior y que es:

---

[111] Este es el concepto en boga en la mayoría de las Asociaciones de ingenieros, es un punto de vista inglés/norteamericano. En el resto de Europa un concepto con mayor contenido "Kantiano" se usa y dice que: "se debe buscar el máximo bienestar para todos".
[112] Ibid 94

5.4.2.- Utilitarismo de Preferencias:

En el cual se permite que cada individuo, dentro de una sociedad busque su bienestar tal como el ó ella lo conciban, pero a su vez promoviendo el bienestar de los demás. Estas premisas están buscando que el Ingeniero sea consciente de las minorías y que sea más plural en sus concepciones. Sin embargo, es muy poco lo que se ha trabajado en este punto de vista, en lo relacionado con temas de tecnología y lleva a conclusiones parecidas al Utilitarismo, por lo tanto no tiene muchos seguidores. Otra aproximación para resolver los conflictos éticos entre los ingenieros es:

5.4.3.- Ética del respeto a las personas:

Los estándares morales de esta ética tiene el formato: "son correctas aquellas acciones que, con igualdad, respetan a todas las personas como agentes morales". Un agente moral es un individuo capaz de formular y perseguir propósitos propios y ser responsable de las acciones tomadas para satisfacer esos proyectos. La regla de oro sumariza esta ética: "pórtate con los demás como quieres que se porten contigo". Esta regla, sin embargo, aunque se encuentra en la mayoría de las religiones, puede ser, en un ambiente tecnológico, muy sujetiva y dificulta consensos. Por ejemplo: Un Ingeniero diseña un automóvil potencialmente peligroso porque gusta de deportes extremos y peligrosos. Un Ingeniero no reporta a un colega falto de ética porque el no desearía ser reportado. La solución, o mejor, la norma que están aplicando los ingenieros es el aceptar los códigos de ética de sus asociaciones, como herramienta o método para solucionar discrepancias éticas y morales.

Para complementar las anteriores apreciaciones citemos a Gilbert Hotois: "*Una ética pragmática renuncia a prever y resolver de antemano todos los problemas o a buscar, a priori, solución a todas las preguntas. Este principio con el*

cual funcionan los comités de Bioética parece funcionar adecuadamente. Se debe entender que no podemos legislarlo todo por toda la eternidad, y que esto sería incluso inmoral. Se debe, entonces, el pensar en futuribles para el hombre y pensar así en el futuro para idear posibles acciones y posibles conductas de la sociedad. Se le debe quitar peso a la obsesiva responsabilidad con generaciones futuras, que en el fondo son negadoras de nuestra actual libertad."[113]

5.4.4.- Códigos De Ética de Asociaciones[114].

Los códigos de ética de las asociaciones profesionales de ingenieros son eminentemente código deontológico, es decir, tienen un alto contenido normativo.

Si bien han evolucionado siguen siendo códigos de conducta y de comportamiento del ejercicio profesional. en vista al actual desarrollo de la tecnología, es necesario hacerles complementaciones adicionales, pues en muchas ocasiones los dilemas éticos del ingeniero sobrepasan las fronteras que han demarcado estos códigos. Un resumen de las modificaciones a proponer sería[115]:

Hace algo más de tres décadas los códigos de ética de las asociaciones de ingenieros promovían:

- Ser competitivos en las ofertas comerciales, hacer publicidad, cumplir las obligaciones con el empleador y los clientes, etc.

Las actuales tienen como base:

- Promover el bienestar del público .....(IEEE)
- Promover el bienestar de la humanidad.... (ASME)

---

[113] Hottois Gilbert, El paradigma Bioético, Ed. Antrophos, Barcelona, 1991 p. 109 – 127

[114] Ver el anexo 6.2 en donde se muestran, en detalle, dos códigos de ética, uno extranjero (IEEE) y otro nacional (ACIEM).

[115] Ibid 94

5.5.- BIOÉTICA Y LA INGENIERÍA

Ya no es admisible que la evolución premeditada de la tecnología aún siga siendo por ensayo y error, es necesaria una línea de pensamiento que haga reflexionar, prever, valorar, sopesar, conocer, etc. las consecuencias de los actos (o la falta de estos) que ejecutan los tecnólogos. Así que a manera de conclusión, pero más como preguntas a responder, se pretenderá el abrir un espacio de reflexión acerca de los cambios que está provocando la tecnología en nuestra sociedad y proponer a la Bioética como la línea de pensamiento que sirva de guía para el desarrollo de la actual y la futura ingeniería. Los ingenieros han empezado a trabajar con seres vivos y en múltiples ocasiones, en el ejercicio de su profesión, deben tomar decisiones que afectan la vida de personas, o de animales o del medio ambiente. Hasta ahora los códigos de comportamiento (aunque los llamen de ética) llaman a ser "*un buen y responsable empleado, que ha de buscar la calidad y la seguridad en los productos que diseñe, teniendo en mente el maximizar la relación beneficio / costo para su empleador*[116]"; o en el caso de los códigos Colombianos "*se debe ser un profesional cumplidor de las normas y de las leyes de la República durante el ejercicio profesional*".

Es evidente que esta apreciación no es adecuada y numerosas preguntas deben ser contestadas, pero desde un punto de vista, mucho más amplio, que es el de la Bioética. Esta parte final del trabajo estará dedicada a proponer acerca de las responsabilidades morales y éticas que plantea el ejercicio de la ingeniería. Se pretende iniciar un análisis que permita a los Bioingenieros[117] el acceder a las concepciones Bioéticas, que, en otros campos del conocimiento colonizados por la tecnología, ha hecho que sus profesionales cuestionen las acciones u omisiones que, en el ejercicio de esas profesiones, afectan la vida. En resumen, la Bioingeniería requiere de un pensar que guíe su desarrollo y este es la Bioética.

---

[116] En uno de los anexos (6.2) de este trabajo se podrán consultar códigos de ética de varias asociaciones de ingenieros.

[117] Bioingeniero: es aquel ingeniero que, en el ejercicio de su profesión, trabaja con seres vivos.

Sobre el tema de la Bioética, Castells plantea lo siguiente, haciendo referencia al carácter autoconstructivo de esta (la Bioética): "*Las instituciones de un país han de crear grupos de investigación pues con ello se posibilita el crecimiento de una nación porque le crea futuros, permite su evolución, diversificación, especiación. Sólo evolucionan especies que: a)ven posibilidades ó b)tengan posibilidades. El futuro de los sistemas o de las naciones no lo determina la historia, las acciones y los comportamiento de un sistema se determinan por la capacidad de adaptación al entorno*"[118].

En la era de la sociedad del Conocimiento la riqueza de las naciones está determinada por el cuarto sector, el del conocimiento, y no por los tres sectores tradicionales; la Bioética que se encuentra en este cuarto sector tiene una carga cultural a futuro. La Bioética nace del tercer sector, de los servicios, y de ellos en la educación, se sobrepone a ellos dejando su primera fase de aplicación clínica al convertirse en ciencia con problemas propios, la Bioética clínica queda de este modo incluida en ella. Se convierte en resultado y catalizador de la sociedad del conocimiento. El cambio y la evolución del mundo han llegado con la ciencia, no con la ética. La ciencia es un hacer y la forma para llegar es investigando. La Bioética es un conocimiento que se va haciendo, no es un saber.

Para lograrlo se debe pensar globalmente. En el caso de decidir manejar genéticamente una especie se debe tener claro cuál es la razón para hacerlo y en qué forma se favorecería la vida, las implicaciones que podrían tener esta alteración y los conflictos que se podrían plantear. La motivación para la investigación debe estar independizada de los factores bélicos.

Sobre el mismo tema Hottois opina: "*Al discutir los problemas de la sociedad y de la tecnología hay preguntas sobre las acciones de la técnica. Un primer planteamiento es que "no debemos hacer todo lo que la técnica permite hacer". Pero, sin embargo es necesario responder otras preguntas como: ¿Qué clase de hombre vamos a construir? Teniendo en cuenta que existe una hipótesis dominante que es que los seres humanos tienen una plasticidad casi infinita, surge la*

---

[118] Castells, sociedad Red, Alianza Editorial, 1996

preocupación que las personas maleables sean susceptibles de ser controlables. Esto genera una modificación a la pregunta anterior y es: ¿qué hombre vamos a crear?"[119]

Puesto que el preguntarse como será el hombre en un futuro lejano no es práctico, conviene preguntar qué vamos a hacer del hombre? Tres aproximaciones, según Gilbert Hottois, se pueden tomar:

1. Intentar todo lo tecnológicamente posible.
2. Optar por la conservación del hombre naturaleza.
3. Optar por la vía intermedia.

El imperativo técnico (opción 1) lleva fuera de la ética, pero las consignas de no intervención y conservación (opción 2) llevan fuera de la tecnociencia. Para mediar en este problema se plantea la vía intermedia (opción 3), para la cual se proponen, en palabras de Hotois, los siguientes principios:

1. *"Un criterio de libertad, que se basa en el adecuado uso del principio del consentimiento informado y libre. Existe relación entre el médico y el paciente-sujeto. Se debe tener precaución pues es difícil la adecuada información en estas situaciones.*

2. *Otro criterio es "no intentar nada que no sea para el bien del hombre" que a su vez trae la dificultad de sacar de un ámbito meramente sujetivo la decisión de ¿Qué es el bien del hombre? Como consecuencia el hombre debe oscilar entre los dos límites extremos que imponen las dos primeras vías.*

3. *El hombre ha sido dotado no de una moral y de unos valores, sino de la facultad de adquirirlos. La evolución no ha dotado a la humanidad de un sistema ético particular, ha hecho a los seres humanos capaces de aprender*

---

[119] Hottois Gilbert, El paradigma Bioético, Ed. Antrophos, Barcelona, 1991 p. 109 - 127

diferentes tipos de éticas, de valores y de morales. La mayor parte de las veces es extremadamente difícil apreciar las consecuencias éticas que conllevará una determinada posibilidad tecnocientífica"[120].

El utilitarismo promueve la movilización del total de satisfacción de preferencias, así sea injusto con ciertos individuos. La ética del respeto a las personas requiere que se respete el derecho de todos los individuos, así no se obtenga el máximo de satisfacción de preferencias. Un problema ético debe ser analizado desde los dos puntos de vista y si las soluciones son convergentes, existe una alta probabilidad de haber conseguido la solución correcta. La legislación, en los Estados Unidos[121], ha llevado a que tengan valor ante la Ley, para justificar o no, el comportamiento de un Ingeniero los códigos de Ética de sus asociaciones. Esto lleva a la situación, que se ha percibido a lo largo de todo este ensayo, y es aquella que los ingenieros no son capaces de decidir, en temas éticos y morales por sí solos. (Anexo un par de Códigos de ética para ilustrar lo afirmado anteriormente). En este país la mayoría (sino la totalidad) de los códigos de ética profesionales son normativos. No hay en la ingeniería algo similar como la bioética clínica a la medicina

Hay que señalar que la contribución histórica de Potter[122] limitó al concepto de la Bioética, debido a que, para este científico norteamericano, la nueva disciplina tiene tan sólo una connotación normativa. Potter preocupado por la progresiva destrucción del medio ambiente y su repercusión en futuras generaciones, publica el libro *Bioética: un puente hacia el futuro.* 20 años más tarde propone la creación de un nuevo sistema ético al que denominó Bioética Global, "*basada en intuiciones y razonamientos sustentados en el conocimiento empírico proveniente de todas las ciencias, pero en especial del conocimiento biológico. (...) En la actualidad, este sistema ético propuesto sigue siendo el núcleo de la Bioética Puente con su extensión a la Bioética Global, en la que la función de puente ha exigido la fusión de la ética médica y de la ética medioambiental en una escala a nivel*

---

[120] ibid 16

[121] En el caso de la ingeniería, las asociaciones o agremiaciones más importantes y la legislación más elaborada están en Estados Unidos.

[122] El primer documento en donde aparece el concepto de la Bioética fue publicado por Potter

mundial para preservar la supervivencia humana". Esta nueva disciplina combinará el conocimiento biológico y el de los valores humanos, para que contribuya en la creación de un ambiente óptimo que garantizará la supervivencia de la especie humana. Algo similar, basados en la anterior afirmación de Potter, ha de ser implementado para la ingeniería.

La tesis que se ha querido presentar, acorde con Maldonado[123], es que la Bioética no es una ética, sino que es una de las ciencias de la complejidad, es decir, una de las ciencias de la vida. En forma permanente hay que estudiar la vida, la tecnología, la sociedad y estar analizando las complejas interacciones, de este sistema complejo que es la CTS, con la finalidad de poder estar avizorando los posibles futuros que tenemos hoy en día, gracias a los avances de la técnica. Esto debe ser hecho para poder decidir desde una posición ética y moral adecuada que es lo que se debe y lo que no se debe hacer en asuntos de tecnología que afecten a la vida. El carácter de la vida para este nuevo grupo de ciencias (las de la vida) no es el de un objeto material, puesto que no hay un solo elemento que diferencie la vida de la no vida. Las diferencias que se observan entre dichos órdenes son, en realidad, diferencias de grado, cualitativas o de comportamiento.

Esta tesis de grado pretende crear un nuevo campo de trabajo en la Bioética y es el de las relaciones entre la tecnología y el BIOS. La tecnología nos está llevando a campos de conocimientos desconocidos: inteligencia artificial, vida sintética, vida artificial, manipulación del genoma, es decir no se está permitiendo "manipular la evolución". Los ingenieros ya están trabajando con lo vivo y con las fuerzas de la vida, ya no es más una profesión cuyo hacer se restringe a lo inanimado, pues es muy frecuente la relación con la vida. Es por esto que es necesario, al igual que lo que sucedió con los médicos y con los ambientalistas, preguntarse por nuestras relaciones con el BIOS, pues la "evolución premeditada" debe hacerse en forma responsable, siendo éticos y moralmente justos.

---

[123] Maldonado Carlos, Maestría en Bioética, Universidad el Bosque, 2002.

Podemos citar en este momento, a modo de conclusión, **el imperativo ético de la salvaguardia de lo humano** del autor H. Jonas, que dice: "*obra de tal manera que las consecuencias de tu acción sean compatibles con la permanencia de una vida auténticamente humana sobre la tierra"; expresado negativamente: "obra de tal modo que las consecuencias de tu acción no sean destructivas para la posibilidad futura de tal vida"; o simplemente: "no pongas en peligro las condiciones de una perpetuación indefinida de la humanidad sobre la tierra"; o, de nuevo contemplada positivamente: "incluye en tus elecciones presentes la integridad futura de la humanidad como objeto de tu voluntad"*[124]

Es prioritario que se haga trabajo a nivel de los estudiantes de ingeniería, a nivel mundial, para que conozcan los temas de ética que tengan que ver con su profesión. En el caso particular de la Universidad el Bosque, el tener la posibilidad que se abra una línea de Investigación en Bioética y tecnología será muy valioso. Espero que este primer ensayo, junto con el de mis colegas ingenieros, alumnos de la Maestría, nos permitan abrir ese camino.

[124] Jonas H., Das princip Werantworting: Versuch einer Ethik fur die technologiche Zivilisation, p 36, citado por Hottois Gilbert, El paradigma Bioético, Ed. Antrophos, Barcelona, 1991

6.- ANEXOS

6.1.- LA FILOSOFÍA DE LA TECNOLOGÍA.

Se presenta esta sección con la finalidad de exponer, en forma muy breve, el trabajo de múltiples autores que han explorado el tema de la técnica, la tecnología, la sociedad, el ser humano, la civilización, la ética, etc. El tema de la Filosofía de la tecnología es tema para otro trabajo de grado y, aunque tiene relación con el presente trabajo, no es la intención trabajar en temas que tratan estos autores, sino fundamentar el concepto de la responsabilidad de los técnicos que están involucrados en la evolución premeditada, tema que muchos de ellos contemplan en sus escritos en forma tangencial. En este anexo se presentarán algunas apreciaciones sobre la Filosofía de la tecnología[125], que se considera un complemento de un área de conocimientos más antigua, que el de la Filosofía de la Ciencia. En primera instancia se harán dos definiciones, importantes a la hora de desarrollar este anexo:

TÉCNICA: Puede ser, el conjunto de procedimientos puestos en práctica para obtener un resultado determinado. Existe la técnica de la caza, la pesca, la danza, o de la preparación de una propuesta de negocios.

TECNOLOGÍA, o el quehacer de la ciencia moderna, es la utilización de artefactos, presupone las técnicas como formas primordiales de la acción humana. Así como la filosofía de la ciencia moderna debe incluir una epistemología general como fondo del conocimiento científico, la filosofía de la tecnología es más general e incluye a la filosofía de la técnica.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA.

La filosofía de la tecnología no apareció junto con la revolución industrial, a la cual podría llamarse **"la era de la tecnología"**, sino hasta hace muy poco se ha empezado a hablar sobre el tema. Dos corrientes de pensadores han aportado sus puntos de vista, en el proceso de creación de la misma:

---

[125] Los conceptos que se presentan en este anexo han sido extractados del libro ¿Qué es La Filosofía de la tecnología? Del autor Carl Mitcham, editorial ANTHROPOS, Barcelona, 1989

Primera corriente La de los Tecnólogos e ingenieros tratando de elaborar la estructura de la filosofía de la tecnología, quienes conforman el punto de vista benévolo.

Segunda corriente La de los Filósofos tratando de tomar a la tecnología como un tema de reflexión sistemática, y crean el punto de vista crítico.

PRIMERA CORRIENTE.

a.- Filosofía Mecánica.

Se postula una concepción del mundo, a través de los postulados Newtonianos **"una máquina extraordinaria"**, ocurre en los Siglos XVI y XVII. El Químico Boyle (1627-1691), restaurador de la Filosofía Mecánica, explica el mundo como *"una máquina extraordinaria"* en función de la mecánica y la dinámica, y quería derivar el resto de los fenómenos de la naturaleza a partir de los principios mecánicos con el mismo razonamiento. Thomas Carlyle (1829) quiso extrapolar esta forma de ver el mundo cuando quiso ver los sentimientos humanos gobernados por la mecánica clásica y por la dinámica; este autor pertenecía al Romanticismo, propio de esa época.

b.- Filosofía de los Manufactureros:

Empiezan haciendo distinción entre la artesanía y la producción industrial, clasifican las máquinas, indagan la posibilidad de reglas para la investigación y las implicaciones socioeconómicas de la "**máquina automática**".

Ernst Kapp (1808-1896) Se puede trazar el origen de esta corriente de pensamiento en este Alemán, contemporáneo y amigo de Karl Marx, (ambos Hegelianos y de izquierda), fue quien primero usó el término "Philosophie der Technik". Al igual que Marx, tuvo problemas con la Ley y

tuvo que salir de Alemania; se estableció en Texas en 1850 (Estados Unidos), por 20 años, en donde estuvo muy activamente relacionado con máquinas de todo tipo, por lo que propuso una filosofía de la tecnología en la cual "la herramienta y las armas eran entendidas como diferentes tipos de proyecciones de los órganos", en su obra : "Grundlinien Einr Philosophie Der Technik" de 1877 hace la siguiente reflexión sobre el tema[126]:

> "*La relación intrínseca que se establece entre los instrumentos y los órganos, relación que debe ser descubierta y enfatizada –si bien la misma es un descubrimiento inconsciente que una invención consciente-, es que en los instrumentos lo humano se reproduce continuamente a sí mismo. Como el factor de control es el del órgano cuya utilidad y poder deben ser aumentados, la forma apropiada de un instrumento sólo puede ser derivada de ese órgano. La riqueza de las creaciones espirituales brota, pues, de la mano, el brazo y los dientes. Un dedo doblado se convierte en un gancho, el hueco de la mano en un plato; en la espada, la lanza, el remo, la pala, el rastrillo, el arado, se observan diversas posiciones del brazo, la mano y los dedos, cuya adaptación a la caza, a la pesca, a la jardinería y a los aperos de labranza es fácilmente visible.*"[127]

En este libro se hace la primera reflexión filosófica sobre la ingeniería Mecánica, y propugna por poner límites de principio a la acción humana, y proyecta un modo tecnológico de ver el mundo aplicado a una variedad de dominios tradicionalmente no tecnológicos.

c.- La Tecnocracia.

Engel Meier, Ingeniero ruso, a finales del siglo XIX, el publicó algunos trabajos en revistas alemanas en donde es empleado el término *"Filosofía de la tecnología"* propugnando por la

---

[126] Se hace esta cita porque coincide con la tesis central de este trabajo: "la técnica y la tecnología son ayudas evolutivas de la especie humana". Los conceptos que se presentan en este anexo han sido extractados del libro ¿Qué es La Filosofía de la tecnología? Del autor Carl Mitcham, editorial ANTHROPOS, Barcelona, 1989

[127] Hay que anotar que este autor no hace uso de los conceptos de la evolución natural en donde el concepto de adaptación y mutación hubiera enriquecido sus anteriores apreciaciones

elaboración filosófica de la misma y promoviendo la aplicación social de la actitud ingenieril hacia el mundo, es uno de los primeros autores en considerar la responsabilidad social de los técnicos, a continuación citamos su concepciones:

"*Los tecnólogos creen, generalmente, que han cumplido con su cometido social cuando han elaborado productos buenos y baratos. Pero esto es sólo una parte de su tarea profesional. Los tecnólogos bien educados de hoy no se encuentran solamente en las fábricas [...] el Ingeniero se convierte incluso, ocasionalmente, en hombre de estado [...] La pregunta surge, entonces, en torno a si el tecnólogo moderno está suficientemente preparado para responder a las nuevas demandas. Esta pregunta difícilmente puede ser respondida afirmativamente, porque ella no solamente incluye el manejo de nuestra especialización en el sentido de la tecnología práctica, sino que también alude a una visión de gran alcance, las interacciones entre la tecnología y la sociedad.*" [128]

En 1917 funda en Rusia el VAI, Asociación Universal de ingenieros y preconizaba la idea que las empresas de negocios y la sociedad debían ser transformadas y dirigidas de acuerdo a principios tecnológicos; en la revista oficial del sindicato de ingenieros escribe:

"*Para el futuro inmediato, se han trazado las siguientes tareas: desarrollar un programa para la Filosofía de la tecnología que incluya los intentos por definir el concepto de tecnología, los principios de la tecnología contemporánea, la tecnología como fenómeno Biológico, la tecnología como fenómeno antropológico, el papel de la tecnología en la historia de la cultura, la tecnología y la economía, la tecnología y el arte, la tecnología y la ética y otros factores sociales*"[129]

---

[128] P. K. Engelmeier, Allgemeine Fragender Technik, Dinglers Polytechnisches Journal 311, 14 enero 1899, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona, página 33

[129] P. K. Engelmeir, Nuzhna li nam filosofiia tekniki, Inzheerny trud 1929, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona, página 34

d.- Contemporáneos.

La sociedad de ingenieros Alemanes. en los años 50, son los que más han trabajado sobre el tema, realizan varios congresos cuyos temas centrales fueron: "La responsabilidad de los ingenieros" en 1950, "Hombre y trabajo en la era tecnológica" en 1951, "Cambiando al hombre mediante la tecnología" en 1953 y "el hombre en el campo de fuerza tecnológico" en 1955

Alfred Espinas, francés (1897), retoma la idea de la tecnología como proyección de los órganos humanos, y hace tres definiciones en las que diferencia los siguientes términos:

- técnicas: habilidades de cualquier actividad particular.
- tecnología (con minúscula): organización sistemática de alguna técnica.
- tecnología: Principios generales de la acción que podría aplicarse a cualquier número de casos particulares.

Concluye que de las tres anteriores definiciones se puede extraer la génesis de la ingeniería, afirma que: "*La tecnología es al hacer del Ser humano, lo que la Praxeología es para la actividad humana.*" [130]

Jacques Lafitte, francés, (1884-1966), en su libro "Reflexions sur la science des machines[131]" habla de: máquinas pasivas (como por ejemplo: tazas, ropa y casas), máquinas activas (que son aquellas que transforman energía), y de máquinas reflexivas (que son los modernos aparatos automáticos), como parte de la presentación del concepto de la "mecanología" o un análisis comprensivo de la evolución de la técnica fundamentando sus escritos sobre la filosofía de la tecnología Ingenieril.

---

[130] Espinas Alfred, Les origines de la technologie, 1897, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona, página 39

[131] Jacques Lafitte, Reflexions sur la science , 1932, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona, página 40

Mario Bunge, argentino, publica en 1979, *"The five buds of Technophilosophy"*. Es un aspecto de ese largo proyecto que comprende la explicación de la realidad en términos científicos-tecnológicos y la reformulación de las disciplinas humanísticas (como por ejemplo la filosofía y la ética) en modelos científicos y tecnológicos… buscando una tecnoaxiología, una tecnoética y una tecnopraxeología.

Karl Popper, presenta una discusión sobre la ingeniería social, la cual está contenida en sus escritos y hace una distinción entre la ingeniería social utópica (mala) y la piecemal –paso a paso- (buena).

Friedrich Dessawer (1881-1963). Alemán, católico devoto, empresario exitoso, afirma que el poder del conocimiento científico-técnico, se ha convertido, por medio de la moderna ingeniería, en un nuevo modo de los seres humanos de existir en el mundo; Dessawer, propone agregar una cuarta a las tres críticas Kantianas – la del conocimiento científico; dice que la esencia de la tecnología no se encuentra ni en la manufactura industrial (que es necesariamente una invención para la producción en masa), ni en los productos (que son meramente utilizados por los consumidores), sino en el acto de creación de la técnica. Propone una teoría de la significación moral, por no decir mística, de la tecnología; la búsqueda de la tecnología tiene el carácter de Imperativo Kantiano, de un mandamiento divino, contradice a F. Bacon en su afirmación que la tecnología es el alivio de la condición humana, Dessawer dice que *"la tecnología es una participación en la creación, que es la mayor experiencia terrenal de los mortales"*[132].

[132] Dessawer Friederich, Philosophie der Technik., citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona, página 48

SEGUNDA CORRIENTE

a.- Filosofía de la tecnología de las Humanidades.

Desde los orígenes de la historia humana, las ideas sobre el significado de las actividades productivas humanas han encontrado expresión en los mitos sagrados, la poesía y el discurso filosófico, se podría decir, en el sentir de los autores de esta corriente filosófica que fueron las humanidades las que concibieron a la tecnología y no la tecnología la que concibió a las humanidades. Las actividades productivas humanas han encontrado expresión en los mitos sagrados, la poesía y el discurso filosófico.

Aristóteles, en Etica a Nicómaco, ya se refiere a estos temas, y dice que el hacer no es un fin en sí mismo y que esta subordinado a varias posibles concepciones del bien, como con los sistemas políticos con los cuales están concepciones están vinculadas.

Jean Jaques Rousseau en *"Discours Sur les Ciencias et les Arts"*, (1750) critica la idea ilustrada que el progreso científico y tecnológico contribuye automáticamente al progreso de la sociedad, trayendo unificación de la riqueza y la virtud, según él nuestras mentes han sido corrompidas en la misma proporción en que el arte y las ciencias se han desarrollado, sino que además estas han nacido a causa de nuestros vicios (egoísmo y temor). Posteriores postulados de Henri Bergson, Kart Jaspers, Gabriel Marcel, filósofos existencialistas coinciden en la crítica romántica de la tecnología moderna como oscurecedora y encubridora de los elementos esenciales de la vida.

Lewis Mumford. No tuvo formación profesional universitaria pero en forma autodidacta se forjó una formación humanista, además fue autodidacta de la técnica. En 1930, publica un artículo, en que sostiene que: la máquina debe ser considerada tanto por sus orígenes sicológicos, como por los

prácticos y tan valorado en términos éticos y estéticos como en los técnicos. En 1934 publica una obra que es considerada por muchos como uno de los pilares de la filosofía de la tecnología: *técnica y Civilización.* En su obra, clasifica las máquinas así:

- técnicas intuitivas (agua y viento, hasta 1750)
- técnicas empíricas (hierro y carbón, hasta 1900)
- técnicas científicas (electricidad y aleaciones)

Si la máquina es para Dessauer la proyección de los órganos humanos, para Munford es su limitación. En 1970 publica su libro "the mith of the machine" en donde hace un análisis de la civilización y la tecnología y dice:

> *"Si todos los inventos mecánicos de los últimos cinco mil años fueran borrados de repente, habría una catastrófica pérdida de la vida; pero el hombre continuaría siendo humano. En cambio, si se eliminara la facultad de interpretar [...] la tierra desaparecería más de prisa que la visión de próspero y el hombre se sumiría en un estado más desvalido y brutal que el de cualquier animal: cercano a la parálisis."* [133]

Define dos tipos de tecnología: La Politécnica o biotécnica que afirma que es la forma primordial de acción y estuvo ampliamente orientada hacia la vida, no centrada en el trabajo o en el poder. Por el contrario, la monotécnica o autoritaria se basa en la inteligencia científica y la producción cuantificada, se dirige principalmente hacia la expansión económica, plenitud material y superioridad militar.

Resumiendo sus concepciones tiene el miedo básico de los humanistas en que no haga curso, la idea que el hombre se hizo hombre por la tecnología, sino por las ideas, la comunicación y los símbolos para expresar, la confraternidad y el amor, defiende la tecnología que ayuda a ese fin.

---

[133] Munford Lewis, the Mith. Of the Machine, Madrid 1971, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona, página 54

José Ortega y Gasset: Su principal obra sobre el tema es *Meditación de la técnica* (1934). Concibe la técnica como el elemento que permite que el hombre se relacione con sus circunstancias, pero no en forma pasiva, sino como creador activo de esas circunstancias. Existen tantos géneros de técnicas como proyectos humanos, define al hombre como homofaber, no sólo de cosas materiales, sino también referido a la creatividad espiritual. El hombre es un ser técnico. Afirma "el ser humano no forma parte de la naturaleza, sino que tiene una idea, una interpretación de la naturaleza"[134]. El ser humano es capaz de elegir, en latín *"eligens"* de donde derivan intellegan, intelligentia, y esta inteligencia da lugar a la insatisfacción, un descontento con el mundo; al deseo de crear un nuevo mundo y así a la técnica.

Clasifica la técnica así:

- **La técnica del azar**: no existen por completo las técnicas
- **La técnica del Artesano**: técnicas conscientes, destrezas
- **La técnica del Técnico o Ingeniero**: modo analítico de pensamiento, la técnica científica = tecnología.

Martín Heidegger: En 1954 escribe "La pregunta por la técnica" y responde a la pregunta de qué es la tecnología moderna, concibiéndola como un desocultar que pone y provoca a la naturaleza exigiéndole liberar energías que, en cuanto tales, puedan ser explotadas y acumuladas. Este autor, argumentando en sus escritos, respecto a la relación de ciencia y tecnología afirma que la ciencia moderna se caracteriza por una objetivación del mundo natural, la representación del mundo en términos matemáticos que necesariamente ignora su carácter terrenal, creando de esta manera, la posibilidad de producir objetos sin real individualidad o cosificidad. Heidegger sugiere que en vez de describir la tecnología como ciencia aplicada, sería más preciso llamarla tecnología científica.

[134] Ortega y Gasset, Meditación de la técnica, Madrid, 1965 , citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona, página 60

Heidegger y Ortega y Gasset rechazan la definición de técnica como ciencia aplicada y también ver a la ciencia moderna como esencialmente tecnológica. Ambos hacen su análisis dentro del marco de la fenomenología existencialista que acentúa la primacía de las preocupaciones prácticas sobre las teóricas.

Jacques Ellul: Francés, Filósofo, contemporáneo, enfoca el estudio de la técnica, en el siglo XX, tal como Marx hizo con la Economía en el siglo XIX. El capital ya no es la fuerza dominante que había sido en el siglo XIX, su lugar es ahora ocupado por la técnica, que ha de definirse como:

> "*La Totalidad de métodos que racionalmente alcanzan la eficacia absoluta (o apuntan a ella), en una etapa dada de desarrollo, en todos los campos de la actividad humand*"

En la época de Marx se identifican tres componentes en la economía: capital, mano obra, técnica (máquina). Hoy se consideran cinco: Capital, mano de obra, técnica (máquina), información, y la administración. Ellul caracteriza el fenómeno técnico asignándole las siguientes características:

- Racionalidad
- artificialidad
- El automatismo de la elección técnica
- El autocrecimiento
- La indivisibilidad
- Universalismo
- Autonomía

Concluye que lo que está ocurriendo con la tecnología no es una incompetente conquista de la naturaleza, sino el reemplazo del ambiente natural por el ambiente técnico.

6.2.- CÓDIGOS DE ÉTICA EN INGENIERÍA.

Tal y como se mencionó en la sección principal, se presentarán códigos de ética de ingenieros para mostrar cómo, más bien, son normas de comportamiento, códigos de conducta, orientadas por la ética occidental y en ningún momento contemplan la situación de un técnico, teniendo que tomar decisiones que afecten al Bios. Hay trabajo por hacer para que las grandes asociaciones de ingenieros comprendan que su campo de acción habitual se ha expandido al de la Bioingeniería.

A continuación se presentarán dos códigos de ética, uno de la Asociación de ingenieros Eléctricos y Electrónicos, la IEEE, (que asocia medio millón de ingenieros a nivel mundial), y el que rige la profesión de la ingeniería en Colombia.

IEEE Code of Ethics

(See also IEEE Ethics & Member Conduct Committee)

We, the members of the IEEE, in recognition of the importance of

our technologies in affecting the quality of life throughout the world, and in accepting a personal obligation to our profession, its members and the communities we serve, do hereby commit ourselves to the highest ethical and professional conduct and agree:

1. to accept responsibility in making engineering decisions consistent with the safety, health and welfare of the public, and to disclose promptly factors that might endanger the public or the environment;

2. to avoid real or perceived conflicts of interest whenever possible, and to disclose them to affected

parties when they do exist;

3. to be honest and realistic in stating claims or estimates based on available data;

4. to reject bribery in all its forms;

5. to improve the understanding of technology, its appropriate application, and potential consequences;

6. to maintain and improve our technical competence and to undertake technological tasks for others only if qualified by training or experience, or after full disclosure of pertinent limitations;

7. to seek, accept, and offer honest criticism of technical work, to acknowledge and correct errors, and to credit properly the contributions of others;

8. to treat fairly all persons regardless of such factors as race, religion, gender, disability, age, or national origin;

9. to avoid injuring others, their property, reputation, or employment by false or malicious action;

10. to assist colleagues and co-workers in their professional development and to support them in following this code of ethics.

Approved by the IEEE Board of Directors

August 1990

LEY 842 DE 2003
(Octubre 9)

por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Etica Profesional y se dictan otras disposiciones.

El Congreso de Colombia

DECRETA

TITULO I

GENERALIDADES

CAPITULO I

Definición y Alcances

ARTÍCULO 1. Concepto de ingeniería. Se entiende por ingeniería toda aplicación de las ciencias físicas, químicas y matemáticas; de la técnica industrial y en general, del ingenio humano, a la utilización e invención sobre la materia.

ARTÍCULO 2. Ejercicio de la ingeniería. Para los efectos de la presente ley, se entiende como ejercicio de la ingeniería, el desempeño de actividades tales como:

a) Los estudios, la planeación, el diseño, el cálculo, la programación, la asesoría, la consultoría, la interventoría, la construcción, el mantenimiento y la administración de construcciones de edificios y viviendas de toda índole, de puentes, presas, muelles, canales, puertos, carreteras, vías urbanas y rurales, aeropuertos, ferrocarriles, teleféricos, acueductos, alcantarillados, riesgos,

drenajes y pavimentos; oleoductos, gasoductos, poliductos y en general líneas de conducción y transporte de hidrocarburos; líneas de transmisión eléctrica y en general todas aquellas obras de infraestructura para el servicio de la comunidad;

b) Los estudios, proyectos, diseños y procesos industriales, textiles, electromecánicos, termoeléctricos, energéticos, mecánicos, eléctricos, electrónicos, de computación, de sistemas, teleinformáticos, agroindustriales, agronómicos, agrícolas, agrológicos, de alimentos, agrometeorológicos, ambientales, geofísicos, forestales, químicos, metalúrgicos, mineros, de petróleos, geológicos, geodésicos, geográficos, topográficos e hidrológicos;

c) ...

TITULO IV

CODIGO DE ETICA PARA EL EJERCICIO DE LA INGENIERIA EN GENERAL Y SUS PROFESIONES AFINES Y AUXILIARES

CAPITULO I

Disposiciones Generales

ARTÍCULO 29. Postulados éticos del ejercicio profesional. El ejercicio profesional de la ingeniería en todas sus ramas, de sus profesiones afines y sus respectivas profesiones auxiliares, debe ser guiado por criterios, conceptos y elevados fines, que propendan a enaltecerlo; por lo tanto deberá estar ajustado a las disposiciones de las siguientes normas que constituyen su Código de Etica Profesional.

PARÁGRAFO. El Código de Etica Profesional adoptado mediante la presente ley será el marco del comportamiento profesional del ingeniero en general, de sus profesionales afines y de sus profesionales auxiliares y su violación será sancionada mediante el procedimiento establecido en el presente título.

ARTÍCULO 30. Los ingenieros, sus profesionales afines y sus profesionales auxiliares, para todos los efectos del Código de Etica Profesional y su Régimen Disciplinario contemplados en esta ley, se denominarán "Los profesionales".

CAPITULO II

De los Deberes y Obligaciones de los Profesionales

ARTÍCULO 31. Deberes generales de los profesionales. Son deberes generales de los profesionales los siguientes:

a) Cumplir con los requerimientos, citaciones y demás diligencias que formule u ordene el Consejo Profesional Nacional de ingeniería respectivo o cualquiera de sus Consejos Seccionales o Regionales;

b) Custodiar y cuidar los bienes, valores, documentación e información que por razón del ejercicio de su profesión, se le hayan encomendado o a los cuales tenga acceso; impidiendo o evitando su sustracción, destrucción, ocultamiento o utilización indebidos, de conformidad con los fines a que hayan sido destinados;

c) Tratar con respeto, imparcialidad y rectitud a todas las personas con quienes tenga relación con motivo del ejercicio de la profesión;

d) Registrar en el Consejo Profesional Nacional de ingeniería respectivo o en alguno de sus Consejos Seccionales o Regionales, su domicilio o dirección de la residencia y teléfono, dando aviso oportuno de cualquier cambio;

e) Permitir el acceso inmediato a los representantes del Consejo Profesional Nacional de ingeniería respectivo y autoridades de policía, a los lugares donde deban adelantar sus investigaciones y el examen de los libros, documentos y diligencias correspondientes, así como prestarles la necesaria colaboración para el cumplido desempeño de sus funciones;

f) Denunciar los delitos, contravenciones y faltas contra este Código de Etica, de que tuviere conocimiento con ocasión del ejercicio de su profesión, aportando toda la información y pruebas que tuviere en su poder;

g) Los demás deberes incluidos en la presente ley y los indicados en todas las normas legales y técnicas relacionados con el ejercicio de su profesión.

ARTÍCULO 32. Prohibiciones generales a los profesionales. Son prohibiciones generales a los profesionales:

a) Nombrar, elegir, dar posesión o tener a su servicio, para el desempeño de un cargo privado o público que requiera ser desempeñado por profesionales de la ingeniería o alguna de sus profesiones afines o auxiliares, en forma permanente o transitoria, a personas que ejerzan ilegalmente la profesión;

b) Permitir, tolerar o facilitar el ejercicio ilegal de las profesiones reguladas por esta ley;

c) Solicitar o aceptar comisiones en dinero o en especie por concepto de adquisición de bienes y servicios para su cliente, sociedad, institución, etc., para el que preste sus servicios profesionales, salvo autorización legal o contractual;

d) Ejecutar actos de violencia, malos tratos, injurias o calumnias contra superiores, subalternos, compañeros de trabajo, socios, clientes o funcionarios del Consejo Profesional Nacional de ingeniería respectivo o alguno de sus Consejos Regionales o Seccionales;

e) Ejecutar en el lugar donde ejerza su profesión, actos que atenten contra la moral y las buenas costumbres;

f) El reiterado e injustificado incumplimiento de las obligaciones civiles, comerciales o laborales, que haya contraído con ocasión del ejercicio de su profesión o de actividades relacionadas con este;

g) Causar, intencional o culposamente, daño o pérdida de bienes, elementos, equipos, herramientas o documentos que hayan llegado a su poder por razón del ejercicio de su profesión;

h) Proferir, en actos oficiales o privados relacionados con el ejercicio de la profesión, expresiones injuriosas o calumniosas contra el Consejo Profesional Nacional de ingeniería, los miembros de la Junta de Consejeros o sus funcionarios; contra cualquier autoridad relacionada con el ámbito de la ingeniería o contra alguna de sus agremiaciones o sus directivas;

i) Incumplir las decisiones disciplinarias que imponga el Consejo Profesional Nacional de ingeniería respectivo u obstaculizar su ejecución;

j) Solicitar o recibir directamente o por interpuesta persona, gratificaciones, dádivas o recompensas en razón del ejercicio de su profesión, salvo autorización contractual o legal;

k) Participar en licitaciones, concursar o suscribir contratos estatales cuyo objeto esté relacionado con el ejercicio de la ingeniería, estando incurso en alguna de las inhabilidades e incompatibilidades que establece la Constitución y la ley;

l) Las demás prohibiciones incluidas en la presente ley y normas que la complementen y reglamenten.

6.3.- I + D + i (Investigación, Desarrollo e innovación)

"TERMINOLOGÍA DE I+D[135]: Los vocablos Investigación y Desarrollo (I+D) tienen distintas connotaciones para las diferentes personas en las dependencias involucradas y se hace necesario establecer un lenguaje común, que permita establecer la comunicación entre los interesados, a partir del consenso universal generalizado aunque impreciso de los términos.

DISTINCION : Para el efecto se reserva la palabra **Investigación** para el entorno científico **y Desarrollo** para el tecnológico. Así, la **Investigación Científica** se refiere primordialmente a la solución de problemas que se relacionan con la elaboración del conocimiento y el avance de las ciencias, en tanto que el **Desarrollo Tecnológico** apunta hacia la utilización del conocimiento elaborado para fines concretos de la producción.

La **Investigación Científica** antecede necesariamente al **Desarrollo Tecnológico** y es una actividad que se mueve dentro de un marco inicial de incertidumbre mientras que el **Desarrollo Tecnológico** avanza con metas fijas y ciertas, porque arranca a partir de premisas ya establecidas por los procesos precedentes de la **Investigación Científica.**

CLASIFICACION: Hecha la distinción entre **Investigación y Desarrollo**, se hace necesario clasificar las etapas que se dan al interior de cada una de dichas actividades e identificar sus vínculos.

1. Investigación Científica

- **Investigación Básica:**

La primera etapa de la **Investigación Científica** es la **Investigación Básica,** cuyo propósito es el avance del conocimiento per se; incumbe principalmente a las universidades aunque también a institutos estatales de investigación. Sus productos principales son las teorías

[135] Tellez Fabio, Metodología de proyectos de investigación en la Facultad de ingeniería Electrónica en la Universidad el Bosque. Director del Comité de Investigación de la Facultad, 2003

científicas en general, propuestas en forma terminada, después de haber recorrido los procesos del método científico y, en particular, el propio y característico de la disciplina objeto.

- **Investigación Aplicada:**

La etapa siguiente es la **Investigación Aplicada**, cuyo propósito es el avance del conocimiento con fines específicos utilitarios, a partir de los resultados de la **Investigación Básica**. Sus productos principales son teorías elaboradas con el mismo rigor del método científico de la **Investigación Básica** y también informes y documentos de viabilidad.

Sus actividades se desarrollan en las universidades e institutos estatales de investigación aplicada y de manera creciente en los laboratorios y centros de investigación de la industria.

2. Desarrollo Tecnológico

La certeza de la aplicabilidad de los conocimientos elaborados y la utilidad de los resultados de la **Investigación Aplicada**, conducen al umbral del **Desarrollo Tecnológico**, en el que también se distinguen etapas de evolución.

- **Desarrollos Exploratorios:**

En primer lugar se dan los desarrollos exploratorios, cuyos resultados utilizables se concretan en prototipos de laboratorio, algoritmos y documentos descriptivos. Aunque debe tenerse absoluta certeza respecto al funcionamiento de los **Desarrollos Exploratorios**, queda margen de incertidumbre con respecto a su viabilidad y factibilidad. La responsabilidad de los Desarrollos Exploratorios está principalmente en los laboratorios de investigación de los institutos estatales y de la industria y en las universidades a través de contratos específicos con aquella.

- **Desarrollo de Productos:**

  La decisión de seguir adelante con los resultados de los Desarrollos Exploratorios conduce a la etapa siguiente de Desarrollo de Productos, cuyo propósito es la obtención de materiales, dispositivos o sistemas ajustados a especificaciones concretas y susceptibles de producción industrial.

  Los resultados de la etapa de Desarrollo de Productos son entonces los prototipos industrializables y su correspondiente documentación. El Desarrollo de Productos es responsabilidad de los laboratorios de desarrollo de las fábricas y de los laboratorios de investigación de las universidades siempre y cuando trabajen conjuntamente con la industria en proyectos de este tipo.

- **Ingeniería de Producto:**

  Los prototipos industrializables y la documentación de su desarrollo, junto con la experiencia manufacturera acumulada, aplicadas de manera sistemática, conducen a la etapa de ingeniería de producto, cuyos resultados se concretan en la elaboración de preseries y de documentos de fabricación. Esta etapa es responsabilidad de las fábricas o talleres.

- **Procesos Productivos:**

  Finalmente, la culminación de la ingeniería de Productos lleva a los Procesos Productivos, cuyo objetivo es la producción en serie de los artefactos, equipos, sistemas y materiales cuya industrialización ha sido plenamente validada a través de los pasos anteriores. Los resultados de los Procesos Productivos son las series de productos junto con su documentación de operación y mantenimiento y la documentación para el usuario. Esta etapa es responsabilidad exclusiva de las fábricas o talleres especializados en los procesos de manufactura correspondientes."

7.- BIBLIOGRAFÍA.

Amerson Rick y otros, TERAMAC configurable custom computers, Proceedings IEEE 1995

Amorphous Computin Page (WWW), Biological Inspired Computing, Science and Engineering, Noviembre 2000

Bedau Mark, La naturaleza de la vida, en Boden Margatreh, Philosophy of artificial life, Oxford Univ. Press, 1996

Bacares Hans, Sistema de Autoaprendizaje para un Robot de rastreo, Proyecto de Grado Universidad Santo Tomas 2001,

Birbaum Joel, Physics and the information Revolution,Pysics Today, Enero 2000,

Bursky Dave, Dream Machines comes closer to reality, Electronic Design, Enero 1997,

Castells M., La sociedad red, Alianza Editorial, Madrid, 1998,

Dessawer Friederich, Philosophie der Technik., citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona

Echeverri Sonia, Maestría en Bioética, Universidad el Bosque, 2002.

Espinas Alfred, Les origines de la technologie, 1897, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona,

Engelmeier P. K., Allgemeine Fragender Technik, Dinglers Polytechnisches Journal 311, 14 enero 1899, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona,

Engelmeir P. K., Nuzhna li nam filosofiia tekniki, Inzheerny trud 1929, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona,

GRACIA, D. (1989): Fundamentos de Bioética. Eudema, Madrid.

Gell-Mann, M. (1998). El Quark y el Jaguar: Barcelona: Tusquets Editores.

Gould Jay, Mundos Posibles, en La vida maravillosa ,Burgess Shale, Editorial Crítica, Barcelona, 1991

Hawkings Stephen, El universo en una cáscara de nuez, Editorial Planeta, 2001.

Hillman Gart, The future of personal Computing, Electronic Design, November 1996,

Holland John, Genctic Algorithms, Scientific American, Julio 1992,

Hotois Gilbert, El Paradigma Bioético, Ed Antrophos, Barcelona , 1991

Jacob F, La lógica de lo viviente, una historia de la Herencia, Tusquet editores

Kauftman Stuart, Investigations, Oxford University press, 2000.

Keyes Robert, The Future of Transistor, Scientific American, Special issue 1995,

Lafitte Jacques, Reflexions sur la science , 1932, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona,

Langton Cristopher, vida artificial en Boden Margareth, The Philosophy of artifcial Life, Oxford Univ. Press, 1996

Le Mouel Jaques, Lo eficaz es justo?, Ediciones de Seuil, Paris, 1991. Traducción de Alberto Supelano

Lloyd Seth, Quantum Mechanical Computers, Scientific American, Octubre 1995,

Morin Edgar, Introducción al Pensamiento complejo, editorial Fondo de Cultura Económica, Bogotá, 1980

Maldonado, C. (Ed.) (1999). Visiones sobre la complejidad. En: Colección "Filosofía y Ciencia". Bogotá: Ediciones Universidad El Bosque.

Maldonado, C. En: Colección "Filosofía y Ciencia". Bogotá: Ediciones Universidad El Bosque

Margulis, L, Sagan D. (2001). *Microcosmos.* Barcelona: Tusquets Editores.

Mitcham Carl,¿Qué es La Filosofía de la tecnología?, editorial ANTHROPOS, Barcelona, 1989

Monod Jaques, El azar y la Necesidad, Ediciones Orbis,

Munford Lewis, the Mith. Of the Machine, Madrid 1971, citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona,

Ortega y Gasset, Meditación de la técnica, Madrid, 1965 , citado por Carl Mitchan ¿Qué es la Filosofía de la tecnología?, Editorial Anthropos, 1989, Barcelona,

Schneider y Kay en la Biología del Futuro, Tusquets 1999,.

Stewart I, El segundo secreto de la vida, las nuevas matemáticas del mundo viviente, Editorial Crítica, Barcelona

Stewart Ian, 2001, Juega Dios a los dados?, citado por Ingeborg Carvajal en: Ciencia, tecnología y Bioética como aprendizaje evolutivo, Colección Bios y Ethos, Ediciones el Bosque, Bogotá 2003

Stewart I., El segundo secreto de la vida, Editorial Crítica, Barcelona, 1999

Tellez Fabio, Metodología de proyectos de investigación en la Facultad de ingeniería Electrónica en la Universidad el Bosque. Director del Comité de Investigación de la Facultad, 2003

Wilson E., La diversidad de la vida, Editorial Critica, 1994

Whitrow G. J., "La estructura del universo", Fondo de Cultura Económica, tercera edición, 1966

Washburn Sherwood L, La evolución de la especie humana"., Scientific American, segunda edición 1982.

Wallich Paul, Tendencias en la inteligencia artificial, Investigación y Ciencia, Febrero 1998,