

ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA

**INGENIERÍA, EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN EN LA ARGENTINA
UNA VISIÓN CON HORIZONTE TEMPORAL EN 2050**

Aristides Bryan Domínguez
Académico de Número
Presidente de la Sección Enseñanza

**Buenos Aires
República Argentina
2017**

ÍNDICE

	Pág.
1. LA INGENIERÍA	1
2. EL ORIGEN DE LA PALABRA INGENIERO	1
3. LA INGENIERÍA CIVIL	3
4. EL CAMPO DE LA INGENIERÍA	9
5. LA EDUCACIÓN UNIVERSITARIA	10
6. TECNOLOGÍA, CIENCIA Y ÉTICA	10
7. ORIENTACIÓN DEL PROCESO EDUCATIVO	11
8. LA CREATIVIDAD Y LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	13
8.1 La creatividad	13
8.2 La innovación tecnológica	13
9. LA FORMACIÓN ÉTICA Y LA RESPONSABILIDAD	15
10. EL EJERCICIO PROFESIONAL	16
11. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INGENIERÍA	18
11.1 La ingeniería en la Prehistoria	18
11.2 La ingeniería en la Edad Antigua	20
11.3 La ingeniería en la Edad Media	21
11.4 La ingeniería en la Edad Moderna	23
11.5 La ingeniería en la Edad Contemporánea	26
12. LA UNIVERSIDAD	36
12.1 Origen y significado del término	36
12.2 La “ <i>universitas</i> ” entendida como ALMA MATER	36
12.3 La Universidad y la investigación tecnológica en la Argentina.	36
12.4 Política de incentivos para la investigación tecnológica.	37
13. ¿HACIA DONDE VA LA CIVILIZACIÓN TECNOLÓGICA? (extracto del libro SISTEMAS TECNOLÓGICOS - Contribuciones a una Teoría General de la Artificialidad de Tomás Buch).	37
14. CONCLUSIONES	40
15. DOCUMENTOS DE REFERENCIA	41

1. LA INGENIERÍA.

La *Ingeniería* es una profesión muy antigua, de noble y distinguida tradición, que ha realizado innumerables y fundamentales aportes a la humanidad. Sus orígenes se remontan a tiempos muy anteriores al nacimiento de Jesús de Nazareth.

La *Ingeniería* está estrechamente relacionada con la *Técnica*, y ésta nació en la Prehistoria con la aparición del hombre en la Tierra, 3 millones de años aC, con la creación de las primeras armas, los primeros instrumentos de caza y las primeras herramientas. El nacimiento de la *Ciencia* es muy posterior al de la *Técnica*.

Una de las acepciones del término *Técnica* es la *Ciencia de lo artificial*. *Lo artificial y la conciencia* son las que parecen diferenciar a los humanos de los animales y de las máquinas. Se denomina *artificial* a todo aquello que no es *natural*, es decir a *todo lo hecho por el ser humano*, más allá de sus actividades biológicamente condicionadas. *Los filósofos* han especulado acerca del *ser*, la *conciencia*, la *esencia de las cosas*, la *naturaleza última del hombre*, pero *han hecho pocas referencias a lo artificial*. Pocas veces han tomado en cuenta que una buena parte de esa naturaleza está en su *capacidad para crear artefactos y modificar el mundo en su provecho (Homo faber)*. La complejidad de la estructura interna de un sistema es un indicador de lo que puede esperarse de él; y esto es particularmente importante en el hombre.

Los griegos diferenciaban la *techne* de la *praxis*, el obrar cotidiano que involucra lo *artificial* de una manera filosóficamente más ingenua. En griego *techne* significa indistintamente *técnica* o *arte*, es decir que *abarca todo lo artificial*, en oposición a *physis* – que es *lo natural* – y a *logos* – que es *la palabra, la explicación, el discurso*.

La conjunción de *un humano, un objeto y una representación mental de un propósito*, transforma el objeto. El simple acto de *emplear un objeto* se transforma en una “*acción técnica*”. *La técnica nació como la reflexión sobre las “acciones técnicas”*.

En forma más general, la *técnica* es una expresión del espíritu humano que puede definirse como el conjunto de procedimientos por los cuales la inteligencia del hombre somete la naturaleza, *en forma intencional*, a sus necesidades vitales.

“*La historia de las técnicas no es solamente la descripción de los sucesivos descubrimientos del ingeniero o del artesano; es también el encadenamiento de las grandes circunstancias sociales que favorecieron o entorpecieron, desarrollaron o ahogaron el auge del hombre fabricante de mecanismos para transformar la naturaleza*” (Pierre Duchase – Historia de las Técnicas, EUDEBA).

Con el transcurso del tiempo, la *Técnica*, la *Ingeniería*, la *Ciencia* y el *Arte* han unido sus fuerzas y se han enriquecido mutuamente.

2. EL ORIGEN DE LA PALABRA INGENIERO.

En el antiguo Egipto y en la Mesopotamia *los primeros ingenieros* eran los *maestros constructores*.

Hacia 1100 aC, en Egipto, durante el reinado del rey asirio Tilgath-Pileser I (Imperio Medio Asirio), nació la *Ingeniería Militar*, con modalidades que prevalecerían durante siglos hasta el advenimiento de la pólvora.

En Grecia se acuñó el término *architecton*, que del mismo modo que en Egipto, era una combinación de *ingeniero, arquitecto, artesano y artista*.

Recién hacia el año 200 de nuestra era, el historiador romano Tertuliano (160-220), nacido en Cartago, utilizó la expresión *ingenium* para describir una *catapulta*. Dio a ese término el

significado de *producto del genio*. Este fue el origen de la palabra “ingeniero”, cuyo significado no es el de un simple “maquinista”, como sugiere la palabra inglesa “engineer”.



Tilgath-Pileser I
Relieve en roca
1114 a.J.C.-1076 a.J.C.
Rey de Egipto durante el Imperio Medio Asirio



Quinto Septimio Florente Tertuliano
160-c. 220
Padre de la Iglesia e historiador y escritor romano

La palabra *ingeniero* recién comenzó a ser utilizada en la Edad Media. En esa época la construcción de puentes era especialidad de algunas cofradías religiosas.

Hasta mediados del siglo XVIII, la ingeniería era más un oficio que una profesión. Estaba constituida por un conjunto de habilidades mecánicas transmitidas de padres a hijos, y de maestros a aprendices. La eclosión que trajo consigo el Renacimiento en todos los órdenes de la cultura, las ciencias y las artes hizo que el oficio de los ingenieros adquiriera un gran auge, estableciéndose las bases para que se convirtiera en una profesión.

Salomón de Caus (*) fue el primero en acuñar el vocablo “ingeniero” con una connotación distinta a la que hoy posee. Hacía alusión más bien al “ingeniero militar”, distinguiéndolo del “arquitecto civil”.



Salomón de Caus (Cauls o Caux)
1576–1630

(*) Salomón DE CAUS (CAULS o CAUX) 1576–1630, Ingeniero y Arquitecto paisajista francés nacido probablemente en la ciudad de Caux, Normandía. De Caus trabajó como ingeniero hidráulico y arquitecto para Luis XIII. De 1607 a 1613, también diseñó jardines en Inglaterra, los más relevantes fueron los encargados por Ana de Dinamarca para Somerset House y el Greenwich Palace y, sobre todo, el Hortus Palatinus, el jardín del Castillo de Heidelberg, Alemania, considerado en su día el jardín más bello de Europa.

Con el tiempo se dio el título de *ingeniero* a todos aquellos que proyectaban y construían nuevas máquinas. *Hoy podría concebirse a la Ingeniería como el grado más desarrollado de la técnica.*

3. LA INGENIERÍA CIVIL.

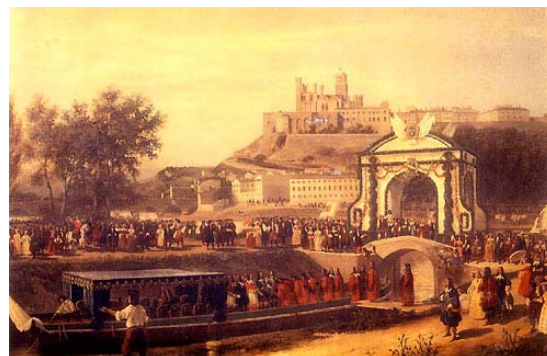
El comienzo de la *ingeniería civil* como una rama separada de la ingeniería tuvo su origen en Francia en 1716, con la fundación del *Corps des Ponts et Chaussés*. Esta institución vial militar, de nivel nacional, fue una de las grandes contribuciones de Francia a la ingeniería.

Sus profesores fueron autores de libros sobre mecánica de materiales, máquinas e hidráulica que fueron famosos en su época.

Jean-Baptiste Colbert, ministro del rey Luis XIV, apoyó la construcción del Canal du Midi y acuñó la expresión Ponts et Chaussés (Puentes y Caminos).



Trayecto



Inauguración

Canal du Midi, Francia

Su autor fue el Ingeniero Pierre Paul Riquet

El éxito de la obra le valdría a Riquet el título de barón de Bonrepos

Fue construido entre 1666 y 1681

Este Canal es la parte más importante de los dos que unen el Atlántico y el Mediterráneo. Consta de 241 km de longitud (el total son 360 km), con una geometría de perfil con 2 m de profundidad por 20 m de ancho medio, que contaría con vías laterales para el tránsito y tiro de caballos. La cota máxima alcanzada son 189 m sobre el nivel del mar, lo que resultó un hito y el principal problema.

La obra consta del Canal y de 328 estructuras: esclusas, puentes, puentes sobre el canal, túneles, presas de gran envergadura e incluso un depósito de 6,5 Hm³ en el punto más alto para garantizar el abastecimiento de agua al canal, que se abastecía del agua de escorrentía.

Ange-Jacques Gabriel II (1667-1742) fue el primer Ingeniero Jefe del *Corps des Ponts et Chaussés*. Su padre Jacques Gabriel, junto con Jules Hardouin-Mansart y François Romain, habían sido convocados para realizar el proyecto y la construcción del Pont Royal. Su hijo Jacques-Ange (1698-1782) también él trabajó con Mansart. En 1699 ingresó en la Academia de Arquitectura (*) y fue un exitoso arquitecto.

(*) Inicialmente en Francia era escasa la diferencia entre el *ingeniero* y el *arquitecto*, a tal punto que muchos ingenieros eran miembros de la Academia de Arquitectura.

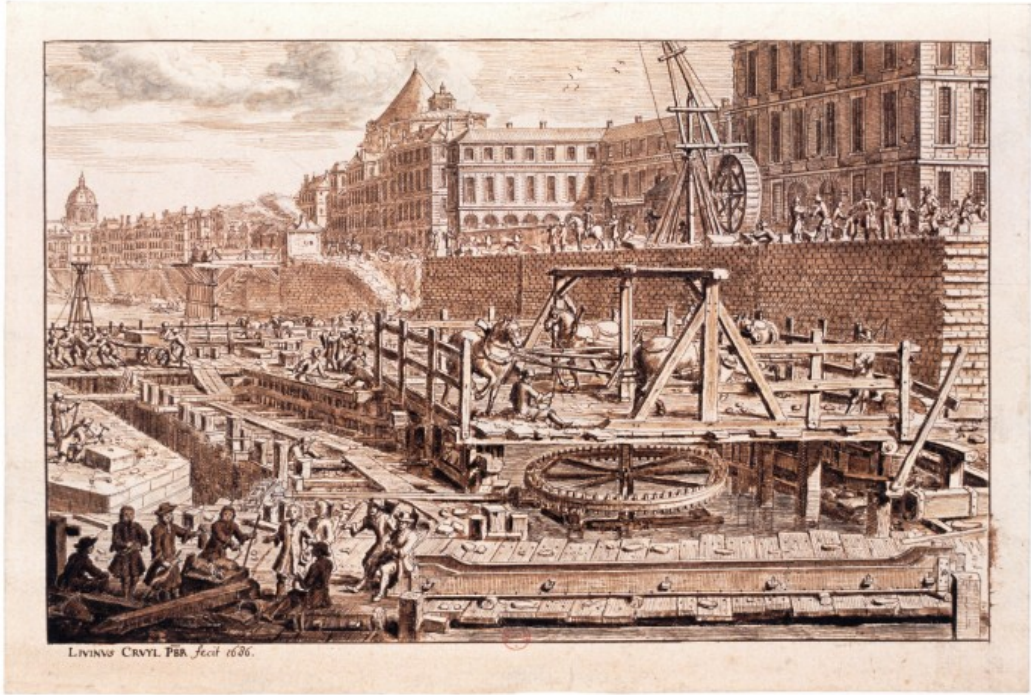


Ange-Jacques Gabriel II

1667-1742

Retratado por Jean-Baptiste Greuze

Museo del Louvre



Construction du Pont Royal 1686
A 29670 1093

Construcción del Pont Royal
1686



Construction du Pont Royal 1686
A 29670 1093

Construcción del Pont Royal
1686



Pont Royal

Une ambas márgenes del río Sena.

Es el tercer puente más antiguo de París, después del Pont Neuf y del Pont Marie.
A la derecha de la imagen se encuentra el Museo d'Orsay.

En 1747, en París, Francia se fundó la *École Royale des Ponts et Chaussées*, luego denominada *École National des Ponts et Chaussées*. Esta institución tuvo su origen en el *Corps de Ingénieurs de Ponts et Chaussées*. Fue la primera escuela de ingenieros del mundo.

Jean-Rodolphe Perronet (1708-1794) (*), ingeniero francés especializado en ingeniería estructural, oriundo de Suresnes (un suburbio de París), Primer Ingeniero del rey Luis XV de Francia, fue designado primer director de *L'Ecole des Ponts et Chaussées* (la más antigua escuela de ingeniería civil del mundo).

(*) En Neuilly sobre el Sena, Perronet construyó un puente de 5 arcos de 36 metros y 9 metros de alto, que fue inaugurado en 1772. Su obra maestra fue el puente de la Concordia, en París. Conocido por haber realizado numerosas intervenciones de diseño y construcción de puentes. Una de sus obras más conocidas es el *Pont de la Concorde* (1787), denominado inicialmente como *Puente de Luis XVI*. Publicó unas tablas sobre arcos de puente que fueron empleados por los arquitectos de su época.

Antoine de Chezy (1718-1798), Ingeniero Hidráulico francés, fue colaborador de Perronet en el puente de la Concordia. Construyó el Canal de Bourgogne, entre los ríos Ródano y Saona. Desarrolló la fórmula básica para calcular la velocidad media de la corriente en un canal abierto (conocida como fórmula de Chezy). Antoine de Chezy fue el tercer director de L'Ecole des Ponts et Chaussées, sucediendo a Lamblardie.



Jean-Rodolphe Perronet
1708, Suresnes – 1794, Paris



Antoine de Chezy
1718-1798



École National des Ponts et Chaussées

Fachada original

Fachada actual

En 1794, durante la Revolución Francesa, en tiempos de la Convención Nacional, Gaspard Monge y Lazare Carnot crearon la *École centrale des travaux publics*. Un año más tarde fue rebautizada con el nombre de *École polytechnique*.

En 1804 Napoleón I la transformó en una academia militar, que hoy funciona bajo la supervisión del ministerio de Defensa de Francia.



Gaspard Monge
Comte de Péluse
1746–1818

Matemático francés, inventor de la geometría descriptiva



Lazare Carnot

1753–1823

Ingeniero y matemático francés



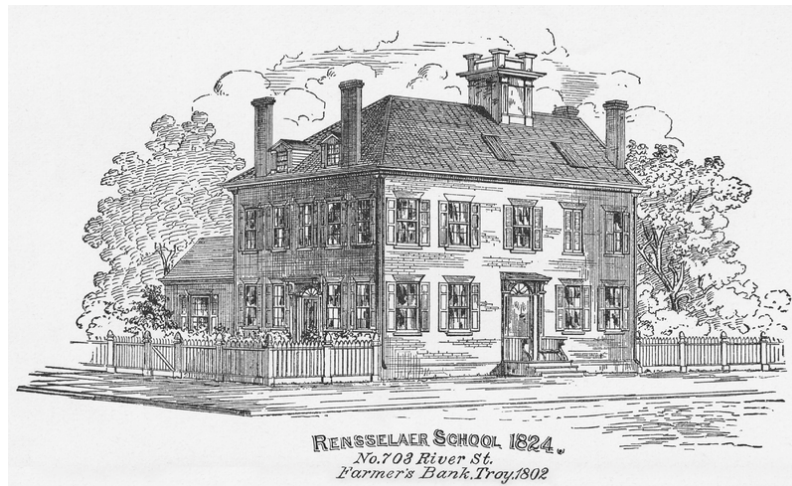
École Polytechnique

El edificio principal visto desde el lago

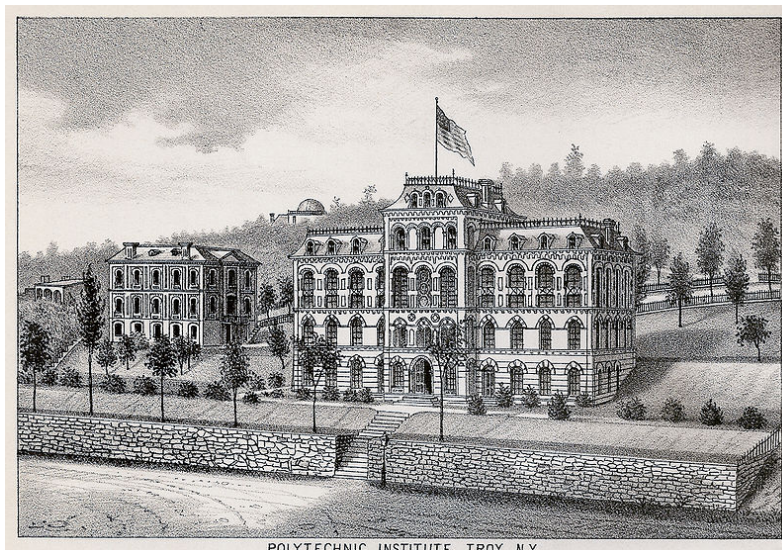
Treinta años después que se fundara en Francia la *École Polytechnique*, fue fundada en los Estados Unidos de Norte América una institución similar, el *Rensselaer Polytechnic Institute*.



Stephen van Rensselaer
Fundador del Rensselaer Polytechnic Institute

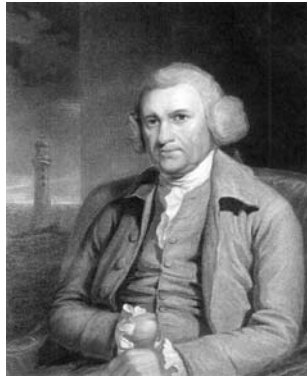


Grabado del edificio original de la Rensselaer School



Grabado del Rensselaer Polytechnic Institute
1879

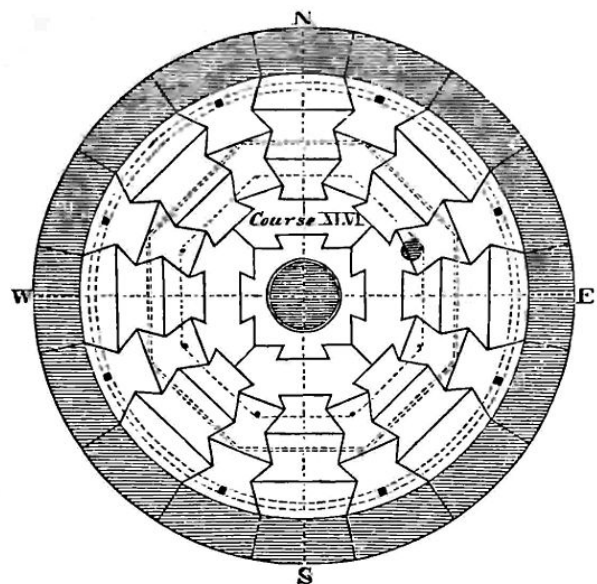
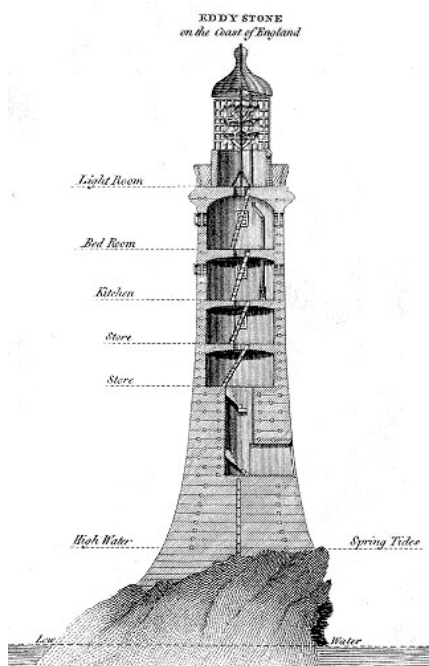
John Smeaton (1724-1792), ingeniero británico nacido en Austhorpe (cerca de Leeds), fue el primero en darse a sí mismo el título de "Ingeniero Civil", para establecer una clara diferencia entre su trabajo y el de los tradicionales "Ingenieros Militares".



John Smeaton
1724-1792

Smeaton fue autor de numerosas innovaciones de ciertos instrumentos de física que fueron de gran utilidad en la construcción. Entre sus grandes construcciones figura el célebre Faro de Eddystone (cerca de Plymouth), que revolucionó la ingeniería de su tiempo.

Hacia finales del siglo XVIII se demarcaron los territorios de la ingeniería militar y la ingeniería civil y al iniciarse el siglo XIX quedaron plenamente definidos los rasgos de la profesión que hoy conocemos como ingeniería civil. Desde entonces la Ingeniería se ha ido diversificando muchas en ramas y los miembros de esta profesión construyen estructuras de todas clases, túneles, sistemas de distribución de agua potable y sistemas sanitarios; tienden vías férreas y redes de caminos, puertos y aeropuertos, y participan en la planificación y construcción de ciudades.



PLAN OF THE 16TH COURSE. SHOWING THE METHOD OF DOVETAILING.

Faro de Eddystone

Thomas Telford (1757–1834), ingeniero escocés autodidacta, fue el primero que concibió la ingeniería civil como un arte diferente de la arquitectura (*).



Thomas Telford
1757-1834

(*) Telford construyó una increíble cantidad de caminos, canales, puertos y puentes y fue el primer presidente de la **Institution of Civil Engineers** de Gran Bretaña. Sus principales obras fueron: Bannockburn Bridge, Bewdley Bridge (1798), Bonar Bridge (1812), Bridgnorth bridge (1810), Bridge of Keig (1827), Broomielaw Bridge, Glasgow (1816), Buildwas bridge (1796), Cantlop bridge (1820), Chirk Aqueduct (1801), Clachan Bridge (1792), Conwy Suspension Bridge (1826), Countarbour Bridge (1797), Craigellachie Bridge (1815), Dean Bridge, Edinburgh (1831), Dunans Bridge (1815), Dunkeld Bridge (1809), Eaton Hall Bridge (1824), Galton Bridge (1829), Glen Loy Aqueduct on the Caledonian Canal (1806), Harecastle Tunnel (1827), Holt Fleet Bridge (1827), A proposal for London Bridge, Longdon-on-Tern Aqueduct (1796), Lothian Bridge, Pathhead, Midlothian (1831), Menai Suspension Bridge (1826), Montford Bridge (1792), Mythe Bridge (1826), Over Bridge (1827), Pontcysyllte Aqueduct (1805), Potarch Bridge, Stanley Embankment (1823), Telford Bridge (1813), Tongland Bridge (1808), Waterloo Bridge, Betws-y-Coed (1815).

4. EL CAMPO DE LA INGENIERÍA.

La Ingeniería tiene una historia riquísima en realizaciones notables en todas sus áreas. Sin hacer una enumeración exhaustiva, ésta abarca desde el diseño y la fabricación de elementos de uso cotidiano, como la simple aguja para costura y la aguja hipodérmica, hasta las realizaciones de mayor envergadura, como: los grandes edificios, las torres, las catedrales, los monumentos, los puertos y aeropuertos, los puentes, los túneles, las autopistas, las grandes represas, las plantas de purificación y suministro de agua potable, las redes de desagües cloacales y las plantas de tratamiento de dichos efluentes, las naves oceánicas, las aeronaves, los cohetes, las naves espaciales, los ferrocarriles, las maquinarias de todo tipo empleadas en la industria mecánica y la industria de los plásticos, las plantas siderúrgicas, las plantas concentradoras de minerales, las grandes destilerías de petróleo, los grandes motores hidráulicos, térmicos y eléctricos, todos los tipos de centrales convertoras de energía, los sistemas de combustión, las redes eléctricas de alta, media y baja tensión, los satélites artificiales, las redes de comunicación, las redes informáticas, los sistemas de radares, los sonares, las plantas químicas, las plantas textiles, los robots, el desarrollo de simuladores del funcionamiento de plantas convertoras de energía, el desarrollo de nuevos materiales, los microscopios electrónicos, . . . , hasta las realizaciones en la escala de las pequeñas dimensiones, pero no por ello menos importantes, como los componentes de circuitos electrónicos, los instrumentos de medición, los instrumentos quirúrgicos, las prótesis auditivas, las prótesis óseas, los corazones artificiales y todos los logros de la micro y la nanotecnología.

El ingeniero también dedica parte de su tiempo a *desarrollar y pulir sus propias herramientas*. Algunos también se dedican a *transmitir sus conocimientos y su experiencia*. Otros se dedican a *investigar y desarrollar nuevas técnicas*.

La Ingeniería está estrechamente vinculada a la técnica, la ciencia, el arte y a ciertas capacidades esenciales del hombre, entre las que se destacan: observar, analizar, aprender, reproducir, imaginar, diseñar, construir e innovar.

“La necesidad de dar solución a múltiples y variados problemas humanos perfila y modela la ingeniería y por ende la enseñanza de la ingeniería”

Teniendo presente el riquísimo cúmulo de realizaciones que la Ingeniería tiene en su acervo, desde la Prehistoria hasta nuestros días, es fácil entender la importancia que tiene la enseñanza de la Historia de la Ingeniería.

Las realizaciones de la Ingeniería tienen a veces consecuencias no deseadas y hasta incluso trágicas. *“Ser responsable implica hacerse cargo de las consecuencias de nuestros actos”*. De ello surge la importancia de introducir la Ética en la enseñanza de la Ingeniería.

5. LA EDUCACIÓN UNIVERSITARIA.

Educación es la acción y el efecto de educar. *Educar* es desarrollar y perfeccionar las facultades intelectuales y morales del hombre. *Enseñanza* es el sistema y método de instruir. La educación está estrechamente relacionada con la cultura. *Cultura* es sustantivo del verbo cultivar. Cultura humana es el cultivo del hombre, del hombre integral, de la realidad compleja *individuo-persona*. La educación implica por parte del educando un proceso de *aprendizaje*. El hombre aprende durante la mayor parte de su vida. Más aún, *la conducta del hombre está basada en el aprendizaje*. El *aprendizaje*, como proceso de *realimentación*, es distinto según se le considere hacia atrás o hacia adelante en el tiempo. Todo el concepto del organismo aparentemente dirigido hacia un fin, mecánico, biológico o social, es análogo al de una flecha con una dirección particular en el flujo del tiempo y no a un segmento lineal que parece marchar en ambas direcciones.

El hombre es el único ser de la naturaleza capaz de volver sobre su juicio y sobre los elementos de su juicio. Ello implica la existencia de una *conciencia* dotada de una capacidad denominada *reflexión*. La palabra *reflexión* proviene del término latino *reflexio* y está asociada al verbo *reflexionar*, que consiste en analizar algo con detenimiento. Como hecho psicológico que produce *conocimiento de sí mismo*, la conciencia es propia de los seres dotados de la facultad espiritual denominada *entendimiento*. Desde el punto de vista psicológico, *reflexionar significa dirigir la conciencia hacia sí misma*.

En cualquier profesión, la educación universitaria debe focalizarse en la formación de la persona humana y no solamente en la transmisión de los conocimientos específicos de la profesión. La formación a través de la educación debe ser integral y *holística*, debiendo incluir una dimensión moral. *Holística* significa el estudio del todo, relacionándolo con sus partes pero sin separarlo del todo. Es la filosofía de la totalidad. La holística constituye la corriente de pensamiento que advierte, entre otras cosas, sobre la necesidad de apreciar los hechos, las situaciones, desde una comprensión amplia e integrativa.

6. TECNOLOGÍA, CIENCIA Y ÉTICA.

La técnica no es sólo la acción pura, también requiere que *la acción esté acompañada de la reflexión*. Esto significa que *la técnica debe anteponer el pensamiento a la acción en términos éticos a fin de lograr que la reflexión sobre sus consecuencias sepa poner límites a la acción*. Hoy podemos afirmar que *la Técnica y la Ética nacieron juntas*. Esto es así desde el momento en que el ser humano fue capaz de *prever el resultado de sus acciones*, cuando “reflexionó” sobre las *consecuencias de sus actos* y comenzó a distinguir si éstos serán nocivos o beneficiosos para

sí mismo, para el otro o para su comunidad. De ello se infiere *la importancia que tienen los valores frente a la técnica.*

NOTA: En este trabajo las palabras *técnica* y *tecnología* son utilizadas como sinónimos.

En cuanto a la Ciencia, la postura más corriente sostiene que *ésta sólo busca el conocimiento y la comprensión del mundo, para lo cual se rige exclusivamente por sus propios criterios de verdad y falsedad. Esto significa que los criterios valorativos son enteramente ajenos al quehacer científico.* Según este criterio, *la ciencia no opina sobre la eventual utilización del conocimiento,* en consecuencia considera que *es éticamente neutral.* Sin embargo, debemos reconocer que la ciencia misma no es tan neutral, por lo pronto en la elección de los temas de investigación.

Tanto menos podrá sostenerse la neutralidad ética de la Técnica, que exige inversiones aún mucho mayores que difícilmente serán efectuadas sin la esperanza de retorno. A la Técnica se le atribuye un carácter mucho menos puro que a la Ciencia, ya que adapta los conocimientos a los usos que la sociedad (o quien ejerza el poder de decisión) les quiera atribuir. Es evidente que los mismos conocimientos y medios se pueden destinar a fines de muy variada valoración moral. Por tanto, la Técnica no es éticamente neutral (*).

(*) Visiones sobre la tecnología.

Una visión sostiene *la autonomía y la neutralidad ética de la tecnología.* Considera que la tecnología no es buena ni mala por sí misma. Desde un punto de vista moral, su carácter positivo o negativo depende de cómo se usen los conocimientos, las técnicas y los instrumentos que ella ofrece a los seres humanos. Esta visión sostiene que se debe dejar que la tecnología progrese de manera autónoma y sin interferencias, ya que los nuevos problemas que ella pueda ocasionar serán resueltos con más y mejor tecnología.

Otra visión es la que considera a la tecnología como *un sistema de acciones intencionales.* La tecnología no es concebida como indiferente al bien y al mal. Sencillamente *no se la entiende como un conjunto de artefactos y técnicas,* sino que *se reconoce como constituida por "sistemas de acciones intencionales para la transformación de la naturaleza y de la sociedad".* Según esta visión, resulta necesario adoptar medidas políticas y éticas para guiar su desarrollo y aplicación.

7. ORIENTACIÓN DEL PROCESO EDUCATIVO.

En principio, los profesionales, y dentro de ellos los ingenieros, representan lo mejor que ofrece una sociedad para dar respuesta a los nuevos desafíos.

El ejercicio de la ingeniería, en especial en la *ingeniería de desarrollo* en sus aspectos más creativos, implica *altas demandas cognitivas* sobre el ingeniero. Esto exige del sistema educativo un trabajo dirigido hacia la *potenciación de habilidades y competencias.* Esta potenciación requiere, entre otras cosas, *desarrollar funciones cognitivas (*)* tales como *el lenguaje, el aprendizaje, la observación y el razonamiento.* Desde este punto de vista, cobra una importancia relevante determinar *qué operaciones y procesos se potencian en el individuo al tener que resolver sistemáticamente problemas complejos.*

(*) El concepto de *"funciones cognitivas"* proviene del campo de la *Psicología cognitiva.* Las funciones cognitivas son **operaciones del pensamiento** por medio de las cuales el sujeto puede apropiarse de los contenidos y del proceso que usó para ello.

Es interesante considerar algunas definiciones.

"Un problema es una situación en la cual un individuo desea hacer algo, pero desconoce el curso de la acción para lograr lo que quiere" (Newel y Simon).

"Por problema se entiende una situación enigmática, espontánea o imprevista, para la cual no se tiene una solución eficaz y adecuada de manera inmediata, hecho que si bien produce incertidumbre se convierte en una potencialidad para resolverla, dado que moviliza a quien la enfrenta hacia la búsqueda de solución. Su carácter de problema está dado fundamentalmente por la posibilidad de resolverla o solucionarla según los desarrollos del resolvente, así como por el proceso que implica su resolución" (Margie Jessup).

“Se denomina *problema* a toda situación en la que un individuo o grupo de individuos quiere o necesita resolver y para lo cual no dispone de un camino rápido y directo que le lleve a la solución” (Lester).

Solucionar un problema significa hallar una solución o todo un conjunto de soluciones posibles.

Resolver un problema significa evaluar las posibles soluciones, seleccionar aquella o aquellas que en mayor medida satisfacen las especificaciones del problema, implementar una solución y posiblemente hacer una nueva revisión de las soluciones. Desde esta perspectiva, la resolución de problemas consiste en determinar un conjunto de datos, planificar y actuar a fin de llegar a la solución. Esta concepción transforma el problema de la resolución en un problema de *representación y búsqueda*. Las tareas de resolución de problemas que implican reorganización y agrupamiento no eran estudiadas por la lógica, sin embargo son procesos esenciales del pensamiento humano (comprensión y representación).

Problemas complejos son aquellos en los que se evidencia enmarañamiento, interacción y/o retroacción de hechos o condiciones, así como *aleatoriedad* o *indeterminación*. Sin perjuicio de ello, en numerosas ocasiones problemas que en apariencia involucran operaciones rutinarias, en realidad encierran *elementos de incertidumbre* que los convierten en *problemas complejos*.

La resolución de *problemas complejos*, utilizada como *estrategia* o como *método de enseñanza*, contribuye al mejoramiento de las habilidades para correlacionar, integrar y hacer activos los conocimientos en los estudiantes de ingeniería. Esta nueva estrategia supera ampliamente a estrategias fuertemente arraigadas en nuestra enseñanza, centradas en la simple *memorización y reproducción*. Permite *potenciar el desarrollo de las funciones cognitivas*, siendo el *pensamiento* uno de los procesos involucrados en esa actividad. El propósito es lograr el *desarrollo de un pensamiento lo menos mutilante y lo más racional posible*.

Al valorar los *efectos del sistema educativo sobre la estructura mental de un individuo*, el sociólogo francés Edgar Morin (“On Complexity”, “La interpretación del pensamiento complejo”) señala que, desde la escuela elemental, el sistema enseña al individuo a aislar los objetos de su entorno, a separar las disciplinas, a desunir los problemas, a reducir lo complejo a lo simple, a separar, a descomponer, a eliminar todo aquello que aporta desórdenes o contradicciones a nuestro intelecto. Este esquema de enseñanza, reforzado a lo largo de varios siglos, hace que los conjuntos complejos, las interacciones y retroacciones entre las partes de un todo, las entidades multidimensionales y los problemas esenciales se tornen invisibles para la mente. Morin invita a orientar el trabajo formativo hacia el *desarrollo de un pensamiento integrador y multidimensional*, entendiendo el pensamiento como un proceso dinámico de construcción y elaboración. De este modo se diseña una serie de situaciones cuya resolución comporta la organización del conocimiento previo, la construcción de macro conceptos, la asociación y la conceptualización compleja. Esto exige al estudiante ir más allá del pensamiento monológico, monolítico, cerrado, estático y absoluto, para alcanzar un pensamiento racional, móvil, creativo y generador.



Edgar Morin
(nombre de nacimiento Edgar Nahum)
1921 -
Filósofo y sociólogo francés

La intervención exitosa en este tipo de tarea educativa demanda además operaciones de *ordenación* y *jerarquización*, así como disposición para la comprensión, el análisis y la representación de situaciones que involucren *incertidumbre* e *imprecisión*. Esto último es importante, ya que se ha comprobado que los problemas que encierran incertidumbre generan inicialmente actitudes de rechazo hacia la situación y la idea de que no se prestan a la representación. Por otro lado, *el diseño de pruebas que estén cerca, pero por encima de la frontera cognitiva de un estudiante*, requiere conocer su *estado de estructuración cognitiva*. De lo contrario la actividad propuesta difícilmente se constituiría en un reto, condición necesaria para involucrarlo en forma significativa en la resolución. Por el contrario, *si la prueba pedagógica está muy alejada de su frontera cognitiva*, éste adopta una actitud de indiferencia, rechazo o desvalía frente a la situación, dificultando la generación de una demanda propia hacia la resolución. El sistema debe garantizar también que las situaciones planteadas constituyan *problemas* para el estudiante y no *simples ejercicios de rutina* para reforzar procesos adquiridos.

8. LA CREATIVIDAD Y LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.

8.1 La creatividad.

La raíz etimológica de la palabra creatividad proviene de la palabra latina *creatus*, que literalmente significa *haber creado*. La *creatividad* es un proceso mental que involucra la generación de nuevas ideas, de nuevos conceptos y nuevas asociaciones entre ideas o conceptos ya existentes. Es un componente esencial de la *invención* y de la *innovación tecnológica*, y por ello tiene gran importancia en la Ingeniería.

La noción de creatividad está estrechamente asociada con la *inspiración*, con los *saltos cognitivos* (generalizaciones de gran magnitud) y con una *visión interna intuitiva*. Todos estos procesos forman parte del *pensamiento* y la *acción creativa*. Esto incluye actividades tales como:

- Producir o hacer surgir algo parcial o totalmente nuevo.
- Dotar de nuevas propiedades o nuevas características a un objeto existente.
- Imaginar nuevas propiedades que no fueron concebidas anteriormente.
- Ver o realizar algo de una manera diferente de la que se creía posible o de la que era usual.

8.2 La innovación tecnológica.

El ingenio y el conocimiento se manifiestan por medio de *innovaciones*. *Innovar* es el proceso que parte de un nuevo conocimiento o un nuevo concepto, pero que sólo concluye con el éxito en el mercado. Una innovación sólo se concreta cuando llega al mercado un producto o un servicio. Existen descubrimientos, inventos, desarrollos, mejoras, pero se considera que *no hay innovación si nadie paga por el producto o por el servicio y si éste no genera beneficios* (Peter Drucker). “Las empresas logran ventaja competitiva mediante *actos de innovación*”.

La *innovación* puede manifestarse en el diseño de un nuevo producto, en un nuevo proceso de producción, en un nuevo enfoque de marketing o en un nuevo modo de llevar a cabo la formación y la capacitación del personal. Una innovación puede no nacer de una investigación científica o de un desarrollo técnico; más aún, muchas de las más importantes innovaciones han sido el fruto de *imponer un concepto* (el *autoservicio*, los *contenedores*, los *pórticos para desplazar contenedores*, el *código de barras*). *Ninguna de estas innovaciones fue el resultado de una investigación científica o técnica, pero todas ellas requirieron muchos desarrollos técnicos para ser plenamente aplicables*.

Los *beneficios* de una innovación no aparecen por la simple aplicación de la técnica, sino porque a través de ella es posible introducir nuevas ideas.

Más allá de su *origen*, el *efecto* de las innovaciones es enorme. *En los países con economías florecientes, la innovación es el principal motor del crecimiento económico* (Revista Británica *The Economist*). Los empresarios de los países en los que las inversiones privadas en ciencia y en técnica superan o igualan a las de sus Estados, no evidencian ni mayor entusiasmo por la ciencia y la técnica, ni mayor patriotismo, ni mayor ingenuidad o falta de visión que los de los países con economías endeble, *¡sólo aceptan las reglas de juego que se han instalado en cada uno de los países en los que sólo pueden competir aquellos que se esfuerzan por diferenciar sus productos y por aumentar su variedad y calidad!* Esto no se logra sin una inversión significativa en educación, investigación y desarrollo tecnológico.

En la República Argentina, a mediados de la década de 1990, la entonces Secretaría de Ciencia y Tecnología (SECYT) inició un relevamiento de las *áreas de vacancia* de la investigación científica y tecnológica, en el que participaron alrededor de 600 científicos. De acuerdo con la tradición científica de nuestro país, *este estudio fue enfocado solamente desde la oferta*.

A mediados del año 1999, a la SECYT le interesó conocer *la relación entre la oferta de conocimientos y la demanda de los sectores productivos*. Los siguientes son cuatro párrafos significativos de este estudio:

1. Las *áreas de vacancia* identificadas por la oferta se refieren a los temas necesarios para lograr una base de conocimientos semejantes a las de otros países. Sin embargo, *no parece que se hayan realizado esfuerzos para promover desarrollos innovativos con intención de producir un impacto relevante en el sistema productivo*.
2. Comparando la estructura de producción argentina, a través del PBI y otros indicadores, se advierte que *la producción de bienes y servicios y el empleo están concentrados en actividades de intensidad técnica baja y media*.
3. La *Encuesta de Conducta Tecnológica* de las empresas, que el INDEC publicó en el año 1998, *mostró el modesto desempeño del sistema público de Investigación y Desarrollo (I+D) como fuente de innovaciones, como proveedor de I+D y como asesor de la actividad productiva en el esfuerzo de inversiones realizadas en esos años. En síntesis, se puede observar el alto grado de desconexión entre la demanda de conocimientos y la oferta local*.
4. El análisis, la determinación y el dimensionamiento de la demanda de conocimientos técnicos y científicos y su relevancia para el sector productivo también puede ser considerado un *área de vacancia*.

La *competitividad*, el *ingenio* y las *innovaciones* pueden generar rentabilidades económicas importantes para las empresas productivas y para la nación.

En la República Argentina no solamente es necesario *promover de un modo inteligente la Investigación y el Desarrollo* asignando recursos en una mayor proporción que la actual, sino que además es preciso *generar las condiciones para que las inversiones en Investigación y Desarrollo produzcan resultados efectivos que puedan ser utilizados por las empresas productivas*. Para ello es fundamental *integrar la Ingeniería, la Técnica, la Ciencia y la Ética a todas las ramas del quehacer humano*. Este es un requisito esencial para incrementar el bienestar general de nuestra sociedad y para *generar un número suficiente de innovaciones que sirvan como motor del crecimiento económico*.

Es importante destacar que la introducción de una innovación tecnológica tiene una característica propia muy importante: *“la indeterminación de las consecuencias”*. En la mayoría de las situaciones en las que operan *sistemas técnicos*, y sobre todo cuando se trata de *innovaciones*, no es posible predecir *todas las consecuencias* sobre las personas, las comunidades o el medio ambiente.

¿Qué hacer entonces frente a las innovaciones tecnológicas? ¿Existe algún criterio que permita orientar las decisiones y las acciones que sea intermedio entre la prohibición de las innovaciones tecnológicas y la aceptación plena de todas las innovaciones tecnológicas? Para ello se ha propuesto el llamado Principio de precaución, que establece que, aunque no se tenga evidencia contundente, es suficiente contar con una “base razonable” para creer que existen relaciones causales entre la aplicación de una determinada tecnología y los posibles daños. Pero las situaciones no son simples por naturaleza. En efecto, la aplicación de este principio queda sujeta a controversias, pues no hay criterios únicos, aceptables por todos los interesados, para determinar cuándo existen esas bases razonables que induzcan a sospechar que hay alguna relación causal entre ciertas acciones y ciertos fenómenos perjudiciales.

La situación es más compleja aún porque en los contextos tecnológicos *las decisiones no están sólo en manos de los expertos*. Ciertamente, en las decisiones intervienen grupos de expertos que pueden decidir acerca de la factibilidad o de la eficiencia de una técnica, pero en gran medida las decisiones sobre las aplicaciones las toman grupos de empresarios o funcionarios del Estado de acuerdo con criterios muy diversos. Se suma a esto que *las decisiones sobre cuestiones técnicas no son asepticas ni están libres de intereses económicos, políticos o ideológicos*. Las diferencias y las confrontaciones de intereses hacen que sea muy difícil llegar a acuerdos acerca de lo que cuenta como “bases razonables”. Por las razones expuestas, las conclusiones muy difícilmente serán aceptadas de manera unánime. No obstante, la reacción ante la falta de certeza, ante los puntos de vista distintos y ante los razonamientos diferentes *no debe ser la crítica estéril ni el rechazo global*, sino más bien la *participación responsable* en las controversias acerca de las decisiones que afectan a la comunidad o al medio ambiente. “Por esta razón, la comunidad técnica tiene una enorme responsabilidad ética en cuanto sentar una base de confianza razonable en la opinión pública que no debe dejar de ejercer, pero no por meros ejercicios de autoridad sino porque se conozcan sus procedimientos, que se sepa por qué éstos son confiables y cuales son sus limitaciones”.

9. LA FORMACIÓN ÉTICA Y LA RESPONSABILIDAD.

La *Ética* forma parte de la cultura humana y su enseñanza no es algo nuevo en la humanidad. Se la suele definir como *la parte de la filosofía que trata de los actos morales*. El objeto material de la *Ética* estaría entonces constituido por los actos libres y deliberados del hombre. La *ética* busca las normas, los principios y las reglas que estructuran la vida moral, pero no las crea. *Ética* es una investigación sistemática en:

- La naturaleza del bien verdadero y la satisfacción de la vida humana;
- Aquella clase de *valores* y *compromisos* que hacen la vida posible.

Los *valores* son *preferencias* o *razones* para elegir ciertas cosas. Algunas de ellas simplemente radican en cuestiones de gusto, pero otras modelan nuestras vidas. Todo el mundo tiene valores. Es imposible ser una persona humana y no tener valores. Todos los seres humanos tienen un conjunto de valores, la mayoría de los cuales son buenos, aunque también hay otros que no lo son. Las personas se desarrollan positivamente o se deterioran a través de *hábitos morales* que son formados por *elecciones* o *decisiones voluntarias* que se relacionan con la actividad humana. La *responsabilidad* se refiere a ser consciente de las *consecuencias de nuestros actos* y a *hacernos cargo de esas consecuencias*.

A nivel de la sociedad en conjunto pueden distinguirse varias responsabilidades: La responsabilidad profesional individual, la responsabilidad profesional ante la sociedad, la responsabilidad social universitaria, la responsabilidad social empresaria, la responsabilidad social ambiental.

Muchos ingenieros consideran que los principios éticos representan restricciones al buen juicio y a la acción profesional, y que, si son respetados, frecuentemente reemplazan el desempeño superior con un desempeño mediocre. *Este juicio es una clara advertencia sobre la importancia del por qué la educación ética y el adiestramiento en la aplicación de los principios de la ética es un compromiso absolutamente indispensable en la formación profesional.* Las consecuencias de no hacerlo son formar profesionales que asignen un escaso valor a la vida, la salud y los bienes de sus semejantes, y *esto interesa de un modo muy especial en la formación de los ingenieros.*

10. EL EJERCICIO PROFESIONAL.

En términos generales, el ingeniero se caracteriza por su *idoneidad*, su *habilidad*, su *creatividad*, su *espíritu de innovación* y su *buen juicio* en la resolución de problemas complejos. Frecuentemente debe enfrentar la solución de estos problemas bajo condiciones de *incertidumbre* o *indeterminación*. Esto nos conduce a considerar tres factores que son condiciones necesarias (aunque no suficientes) para que un ingeniero pueda ejercer esta profesión:

- 1) *Poseer los conocimientos específicos de la Ingeniería,*
- 2) *Asumir ciertos compromisos fundamentales ante la comunidad,*
- 3) *Tener libertad para tomar decisiones en forma independiente.*

1) *Los conocimientos específicos:* son la parte indispensable de la profesión. Estos son acumulados, organizados y concentrados a través del tiempo mediante las experiencias y opiniones analíticas de sus predecesores. *Son los conocimientos que penetran en la raíz misma del problema* y dan a quien los posee un entendimiento no sólo de **cómo** se hace sino también de **por qué** lo hace. Adquirirlos y aprehenderlos requiere tiempo y esfuerzo. Son conocimientos poderosos y, como tales, pueden producir grandes beneficios si son bien empleados y grandes males si son mal utilizados. En general los ingenieros han sido cuidadosos en compartir sus conocimientos sólo con quienes se han comprometido a emplearlos bien y no con quienes manifiestan profundas fallas en sus *principios éticos*. Sin embargo, sabemos que han existido y que existen excepciones. Recordemos que la **ética** es la parte de la filosofía que trata de los *actos morales* y que la *moral* es el grupo de facultades intelectuales y espirituales que *valora las acciones humanas*.

2) *Los compromisos fundamentales:* *El primer compromiso es el de abordar problemas de acuerdo con los principios y prácticas aceptadas en la profesión.* El ingeniero no sólo se obliga a cumplir con su deber, sino que también acepta la estructura propia de la Ingeniería.

El segundo, aún más importante que el primero, es el de emplear sus conocimientos especializados principalmente para servir a otros y no para servirse a si mismo. Esto no significa que deban ser totalmente desinteresados en el ejercicio de su profesión, sino que *pueden y deben* recibir compensación por su trabajo.

3) *La Autonomía en la toma de decisiones –la autodeterminación–* es la libertad de elegir metas concretas, cursos de acción específicos y de tomar decisiones dentro de límites amplios. Esta definición se basa en una presunción subyacente: *la noción de que las circunstancias reales en las cuales los ingenieros deben tomar decisiones son potencialmente tan variadas que no pueden ser descritas de antemano.* Por ello es imposible desarrollar con antelación rutinas y planes detallados para abarcar cada contingencia. El valor de los ingenieros en la comunidad reside precisamente en sus habilidades para concebir soluciones para las nuevas situaciones que se presentan. Para poder hacerlo *deben contar con la libertad para actuar fuera de límites rígidos, todo cuanto sea necesario.* No obstante, esta *libertad de acción no significa libertad sin límites.*

Es más bien *una forma de libertad* que les permite dar respuesta a los desafíos planteados por situaciones concretas con toda su singularidad y complejidad. Los límites a la libertad de acción en la práctica profesional surgen de dos criterios esenciales.

- El primero es *la seguridad de la persona o del grupo al que sirve*. La libertad del ingeniero es legítima hasta el punto en que apoya esa seguridad y “no admite cursos de acción que atenten contra ella”.
- El segundo es *el patrón de práctica generalmente aceptado por otros profesionales y aún tal vez delineado en un código de ética o de conducta profesional*.

Mientras se respeten los límites impuestos por estos dos criterios, los ingenieros *deben* gozar de libertad para dar respuesta a los problemas reales que se presentan en el ejercicio de su profesión. Pero es necesario entender que esa libertad también depende de la *confianza*. No se inspira confianza si no hay evidencia de *habilidad* y de *compromiso*, y esto vale tanto para la Ingeniería como para todas las otras profesiones. Sin embargo, esta confianza a veces es traicionada, y la comunidad, con motivos válidos, se torna escéptica de otorgar poder a quienes tienen conocimientos especiales. *Las limitaciones en la práctica profesional deberían surgir mucho más de la ética y de los valores morales que de la regulación y la vigilancia*.

No obstante todo lo anterior, para ejercer esta profesión es necesaria una cualidad adicional: *el buen juicio profesional*. Es razonable creer que *la combinación de conocimientos y experiencia* le permite al ingeniero desarrollar y ejercer el *buen juicio*, aún cuando deba enfrentar situaciones diferentes, nuevas y aún sin precedentes.

La habilidad general de ejercer el buen juicio se llama *prudencia*, y ésta es una *sabiduría práctica* que involucra el saber distinguir aquellas partes de un problema que merecen atención especial y asumir las hipótesis y adoptar los métodos que se estima tendrán una mayor probabilidad de éxito, *sin poner en riesgo la seguridad de las personas*. *Cada profesión tiene su propia prudencia específica*.

Un ingeniero debe ser capaz de adaptar su plan de acción de acuerdo con acontecimientos inesperados, sin perder de vista la meta final. Para ser genuinamente competente y verdaderamente útil a la sociedad, *el buen juicio profesional* debe abarcar la búsqueda de *verdaderos beneficios humanos*. El juicio que no satisface estos requerimientos no puede ser considerado como un juicio profesional de un modo integral.

Poseer y sostener la autonomía necesaria para ejercer el *buen juicio profesional* requiere *el entendimiento profundo y abarcativo de las implicancias del ejercicio profesional*, y esto incluye asumir *un compromiso público ante la sociedad*. Este compromiso se refiere fundamentalmente a la *seguridad* y al *bienestar* de aquellos a los que sirven y a actuar en forma responsable. *La responsabilidad implica ser consciente de las consecuencias de nuestros actos y hacernos cargo de esas consecuencias*.

Es tentador juzgar las posibles opciones de un proyecto principalmente en términos de rentabilidad económica. Pero el buen juicio profesional es mucho más que la capacidad creativa o de innovación o la habilidad de valorar la eficiencia y eficacia de una solución, o la rentabilidad de una inversión. Este juicio debe incluir la evaluación *de lo bueno y lo malo* del emprendimiento que van a realizar, en términos de los resultados y de sus consecuencias. No es deseable que los ingenieros desempeñen las funciones que les son propias sin una *adecuada formación ética* y ello requiere *haber confrontado y resuelto situaciones éticas significativas durante su carrera universitaria*.

El *adiestramiento profesional* de los ingenieros generalmente está orientado al pensamiento técnico, y ello significa que suele enfatizarse el desarrollo de una serie de habilidades particulares. Este adiestramiento suele ser predominante en la preparación universitaria debido al período de tiempo limitado de las carreras. *Es indiscutible que el adiestramiento en las cuestiones propias de la Ingeniería es un requisito absolutamente necesario.* También es evidente que las demandas crecientes en el mundo ejercen una considerable presión sobre la formación de los ingenieros. No obstante es un error de primer orden creer que el pensamiento técnico es la totalidad del pensamiento profesional. Sin lugar a dudas es un requisito indispensable, pero *habilidades técnicas altamente desarrolladas sin un contenido de valores no resultan en la excelencia profesional.*

Quizá algunas universidades hayan ido demasiado lejos al tratar de imponer una enseñanza y una investigación tecnológica y científica libres de valores, olvidando que *los valores siempre están presentes y que las cuestiones de valor no siempre tienen respuestas ligadas a la lógica de la matemática, de la física o de la rentabilidad económica. Las habilidades técnicas sin el entendimiento y el compromiso moral son como un barco sin timón, y esto encierra peligros muy grandes.* El *profesional amoral* es como una herramienta poderosa ofrecida en alquiler. De hecho una persona así quizá pueda ser apreciada por sus habilidades técnicas pero no por su buen juicio y menos aún por su moral. Mucho más grave aún es el *profesional inmoral.*

Los **valores** son *preferencias* o *razones* para elegir ciertas cosas. Algunas de ellas simplemente radican en cuestiones de gusto, pero otras *modelan nuestras vidas.* Todos los seres humanos tienen “un conjunto de valores” y “una escala de valores”. En el ejercicio de la profesión, los ingenieros no sólo ponen en evidencia su capacidad creativa sino también sus *valores* y su *escala de valores.* Nuestra educación, en todas sus etapas (desde la familiar hasta la universitaria) debe darnos pautas muy claras para distinguir y consignar cuales son nuestros *valores esenciales* y aquellos que son nuestros *valores de triunfo.* La educación a la que me refiero debería enseñarnos también que *los triunfos consistentes no son frutos del azar sino que se elaboran a través del tiempo* y que *no hay avance posible en la humanidad si lo espiritual queda afuera.*

“El saber debe servir a la persona humana, lo ético debe tener prioridad sobre lo técnico, la persona humana tiene primacía sobre las cosas y el espíritu tiene superioridad sobre la materia”.

De aquí se deduce la importancia que tienen los *valores* en la educación universitaria.

Lo expuesto hasta aquí sólo tiene el propósito de señalar que la Ingeniería no es una profesión *light* ni tampoco una profesión exclusivamente técnica. Los ingenieros desarrollan su actividad en el seno de una sociedad cuya complejidad va en aumento y en la que los cambios y las transformaciones se suceden a un ritmo cada vez más elevado. Ello requiere, entre otras cosas, desarrollar una *visión de largo alcance.*

Los ingenieros deben ser actores y protagonistas principales en las grandes definiciones y en las grandes decisiones a nivel nacional e internacional. Pero para ello no sólo deben estar preparados técnicamente, sino también moral, social y culturalmente.

11. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INGENIERÍA (*).

11.1 La ingeniería en la Prehistoria.

La Prehistoria es un período que comienza con la aparición del hombre y culmina con la invención de la escritura unos 3000 aC.

(*) Este capítulo está vinculado al curso sobre Historia de la Ingeniería que el autor de este documento dicta en la Facultad de Ingeniería del Ejército Argentino (Escuela Superior Técnica).

La aparición del hombre sobre la Tierra es indisociable de la técnica. *Lo que marca la transición de los homínidos a los humanos es precisamente la aparición de la técnica.* En el proceso de conversión de una rama de los *primates* en *homínidos* y luego en *humanos*, la *técnica* juega un papel esencial. La evolución biológica sólo permite la pervivencia de los mejor dotados para sobrevivir. Esos *homínidos* y los *primeros humanos* empezaron a desarrollar *actividades técnicas*. El hombre surge cuando unos primates adoptan la *posición erecta* y con ello *liberan las extremidades superiores* permitiendo que se desarrollen las *manos*. Las manos son instrumentos esenciales para hacer cosas. El desarrollo del *dedo pulgar oponible* confiere a las manos posibilidades formidables. Las *manos con dedos prensiles* permiten *asir instrumentos* (ramas, piedras, etc.) y *fabricar herramientas*.

Con la aparición de las herramientas se produce también el *desarrollo del cerebro*. La compleja *coordinación entre manos y mente* permite *producir cosas* que no estaban dadas en la naturaleza en forma espontánea. En esta etapa aparecen las *primeras armas* y las *primeras herramientas*, se aprende a cortar, tallar y pulir la piedra, se aprende a utilizar, cuidar y encender el fuego, a machacar cereales y otras sustancias con el mortero, a pescar utilizando cañas y puntas de arpón, se aprende a navegar con canoas, se desarrolla la alfarería y más tarde la cerámica, se inventa la lámpara de aceite, aparecen el trineo, el rodillo, el torno alfarero primitivo y la rueda, se realizan los primitivos enterramientos, aparecen los primeros cultivos, las herramientas para cortar y segar y los primeros regadíos, las viviendas transportables y las viviendas construidas en piedra. Se inicia la Edad de los metales (cobre, bronce, hierro) en la península de Anatolia y se inventa la escritura (que aparece en varias partes del mundo).

Desde una perspectiva antropológica, la técnica es una parte sustancial del proceso de hominización. Es posible encontrar sociedades humanas sin instituciones jurídicas o políticas, pero nunca sin actividades técnicas.

Entre los filósofos, la consideración de la técnica sólo ha alcanzado un lugar secundario con relación a otras actividades humanas, especialmente con la ciencia. Excepciones a esta postura son Martín Heidegger (1889-1976) y Ortega y Gasset (1883-1955), Peter Kroes (1950) Professor in the Philosophy of Technology, Delft University of Technology, the Netherlands.

La denominación *Homo sapiens* frente a *Homo faber*, más consistente con lo técnico, procede de un científico sueco, *Carl Nilsson Linæus* (1707-1778) (o *Carl von Linné* después de su ennoblecimiento) (*). Linné quiso destacar el carácter del ser humano como *cultivador del saber* frente a los que prefirieron distinguir su carácter como *productor capaz de modificar el mundo en que vive*, *Benjamín Franklin* (1786-1790).

(*) Erudito sueco. Publicó un libro titulado *Sistema Naturae* (Sistemas de la naturaleza) en el que clasificó numerosas plantas. En ediciones posteriores extendió su clasificación a los animales. Sus clasificaciones fueron sumamente metódicas y ello lo convirtió en el *padre de la moderna Taxonomía* (de las palabras griegas que significan *nombrar por orden*).

Los orígenes del hombre son inseparables de la técnica, y debe entenderse que la técnica no está limitada sólo a las herramientas; también hay que incluir en ella formas más elaboradas de actuación, en las que están presentes no sólo las herramientas sino también su empleo inteligente.

Entre los *primates superiores* y los *seres humanos*, es claro que estos últimos utilizan la técnica de una forma inconmensurablemente más rica y elaborada que los primeros. Esto ha conferido a la especie humana: una enorme *capacidad de adaptación* a las condiciones cambiantes del medio ambiente, una *capacidad de representación mental de la realidad* y la *utilización de esa capacidad* como elementos básicos para la actuación sobre ella.

Estas dos características son *puntos de partida muy lejanos* que permiten *empezar a identificar al ingeniero*.

11.2 La ingeniería en la Edad Antigua.

La Edad Antigua o Antigüedad es el período comprendido entre el nacimiento de las primeras grandes civilizaciones en Oriente Próximo hasta la caída del Imperio Romano de Occidente, o sea desde 3000 aC hasta 476 dC.

Las actividades que hoy consideramos propias de los ingenieros son tan antiguas como la civilización misma. Aunque en las más antiguas civilizaciones existen personas a las que se les encomienda realizar labores técnicas, no existe todavía el concepto de un *cuerpo profesional* que las aglutine, como sucede con el sacerdocio, la milicia, la medicina y el derecho. El cuerpo profesional correspondiente a los ingenieros no se organizó hasta tiempos mucho más recientes. Sin embargo hay un rasgo común a las actividades técnicas que gira en torno a la *imaginación*, la *invención* y la *habilidad* para llevar a la práctica sus concepciones, características que fueron definiendo el *perfil de la ingeniería*.

En las antiguas civilizaciones aún no se distinguía entre los que hoy llamamos *ingenieros* y los *arquitectos*, por lo que estos dos grupos se atribuyen la paternidad de las obras militares, arquitectónicas y públicas, realizaciones de carácter monumental que constituyen *formas muy elaboradas del quehacer técnico*.

En Egipto y la Mesopotamia la primera rama de la ingeniería que hace su aparición es la *ingeniería civil*. Estaba dedicada a la construcción de obras públicas, dólmenes, túmulos, templos, zigurats, monumentos, arcos, bóvedas, cúpulas, palacios, acueductos, mastabas, pirámides, obeliscos, murallas y vías de comunicación. Los ingenieros de esa época también concebían y construían armas, embarcaciones, redes de pesca, cuerdas, telares, telas, artefactos de cerámica, el torno alfarero, ruedas, carruajes, herramientas e instrumentos de medición.

En Babilonia adquiere un notable desarrollo la astronomía, se construyen tablas de estrellas y planisferios, en Babilonia también se escribe el *Código Hammurabi*.

El *Papiro Rhind*, “primer manual de Ingeniería”, fue escrito por el escriba Ahmes aproximadamente en el año 1650 aC a partir de escritos de 200 años de antigüedad, según reivindica el propio Ahmes al principio del texto. Contiene información sobre cuestiones aritméticas básicas, fracciones, cálculo de áreas, volúmenes, progresiones, repartos proporcionales, reglas de tres, ecuaciones lineales y trigonometría básica. Consigna normas que se remontan a la época de las pirámides. Está escrito en hierático y consta de 87 problemas y su resolución. Fue hallado en las ruinas de un antiguo edificio en Tebas (*), Egipto

(*) Tebas: Fue la capital del *Imperio Medio* e *Imperio Nuevo* de Egipto. Estaba situada en la actual población de Luxor. No se la debe confundir con la ciudad griega de Tebas situada 48 km al NO de Atenas.

En Egipto se inventan y construyen dispositivos para la medición del nivel de las aguas del río Nilo (nilómetros), se fabrican papiros y pergaminos, se desarrolla la técnica para orientar las construcciones y nivelar el suelo y se construyen ciudades. El maestro Imhotep, considerado como el padre de la mampostería, fue el constructor de la pirámide de Saqqara, cerca de Menfis. Se construye la esfinge y las grandes pirámides de Egipto, se construyen acueductos, canales y acequias, se inventa el *cigoñal shaduf* para extraer agua de los canales, se utilizan cavernas subterráneas como reservorios de agua, se escribe el primer manual de ingeniería (conocido como papiro Rhind), se construyen las primeras *ruedas hidráulicas*. Se escriben documentos y prescripciones médicas en tablillas de arcilla.

Los logros de la ingeniería civil en las antiguas civilizaciones causaron profunda admiración como manifestaciones del genio humano.

En el mundo griego comenzaron a despuntar personalidades en las que su labor de ingeniería alcanza niveles de excelencia. Los griegos construyeron telares, templos, monumentos,

esculturas, túneles, murallas, fortificaciones, armas, armas de asedio como las catapultas, naves de guerra (galeras), edificios, museos, bibliotecas, libros en forma de rollos. Con los incipientes recursos de la tecnología mecánica, los ingenieros mecánicos griegos concibieron y realizaron ingeniosos artilugios. Especial mención merecen las calculadoras astronómicas como el *Planetario de Arquímedes* o *Mecanismo de Antiquitera* y el *Ánfora de Ripacándida*.

La Escuela de Alejandría lleva asociados muchos griegos ilustres como *Arquímedes*, *Herón de Alejandría*, *Ctesibius* y *Eratóstenes de Cirene*. La figura más prominente de la ingeniería griega fue *Arquímedes*, que desarrolló legendarias máquinas de guerra para la defensa de Siracusa así como mecanismos de naturaleza muy variada. Además fue el padre de la estática de sólidos y fluidos. Formuló las leyes de la palanca, del plano inclinado, del torno y de las poleas.

En el mundo griego el *arte* y la *técnica* se confundían. Las palabras *arte* y *técnica* tiene raíces etimológicas comunes: *ars* del latín y *tecné* del griego tiene el mismo significado y *arquitecto* deriva de *primer o principal técnico*. Las otras labores técnicas quedan relegadas a artesanos y a otros trabajadores manuales que, en la mayoría de los casos, tienen una baja consideración social. Los griegos acuñaron el término *architecton*, que es una combinación de *ingeniero*, *arquitecto*, *artesano* y *artista*.

En el mundo romano, más pragmático que el griego, se concede mayor importancia a la ingeniería y aún hoy se conserva un admirable legado. Los ingenieros romanos desarrollaron importantes obras de ingeniería: templos, obeliscos, acueductos y canales de abastecimiento de agua a ciudades y para irrigación, cloacas, túneles, vías, calzadas, fortificaciones, murallas, armas, máquinas de asedio, naves, puertos, puentes, acueductos, fuentes, grandes edificios, circos, estadios, coliseos, curias, termas, aparatos para elevación de cargas, dispositivos para hincar pilotes, instrumentos de topografía. Ingenieros romanos famosos fueron *Appius Claudius* y *Marcus Vipsanius Agrippa*. Un legado sobre la ingeniería romana son *Los diez libros de Arquitectura de Vitruvio*; otro es la magnífica obra en dos volúmenes de *Sexto Julio Frontino* sobre los *Acueductos romanos*.

11.3 La ingeniería en la Edad Media.

La Edad Media es el período histórico de la civilización occidental comprendido entre el siglo V y el XV. Su comienzo se sitúa convencionalmente en el año 476 con la caída del Imperio Romano de Occidente y su fin en 1492 con el descubrimiento de América, o en 1453 con la caída del Imperio bizantino, fecha que tiene la ventaja de coincidir con la invención de la imprenta en 1455 (*Biblia de Gutenberg*) y con el fin de la Guerra de los Cien Años (en realidad 116 años) entre Francia e Inglaterra en 1453.

La Edad Media fue una etapa convulsa y contradictoria en la historia de la civilización occidental. En ella aparecen los primeros brotes de lo que será el mundo moderno. La vida intelectual en la Edad Media está prácticamente limitada y dominada por el mundo eclesial. *Algunas órdenes monásticas, en especial los benedictinos, empiezan a considerar que el dominio de la naturaleza por el hombre, mediante la técnica, es una forma de redención*. Las artes prácticas dejan de considerarse asociadas a un *castigo* para pasar a ser un elemento de *redención*. Representantes de ello son *Juan Escoto de Erígena* (1) y *Roger Bacon* (2).

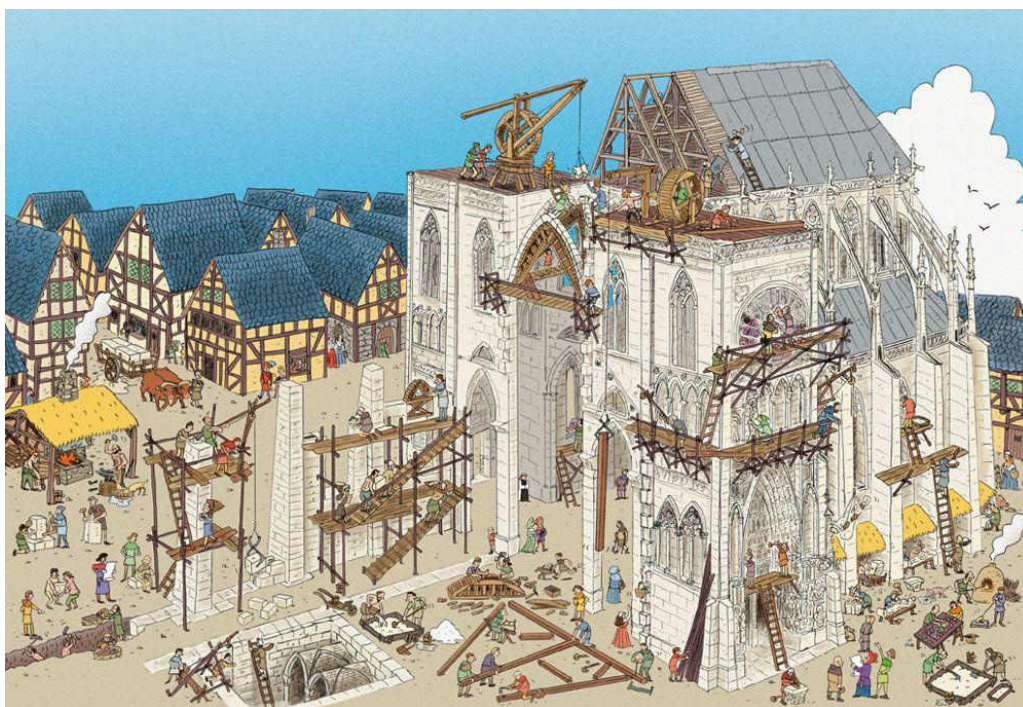
(1) Juan Escoto Eriúgena o Erígena (c. 810-c. 877): Destacado filósofo del renacimiento carolingio. Poco o nada se sabe de su origen excepto que era irlandés, de lo que informa su nombre. *Juan Escoto Erígena* es prácticamente decir "Juan el irlandés de Irlanda": *Scoti* era el nombre genérico usado en la Edad Media para referirse a los gaélicos en general (fueran irlandeses o escoceses) y *Erígena* o *Eriúgena* viene de *Erin* que es como se denominaba en el Medioevo a Irlanda. Para Escoto, *razón* y *fe* eran fuentes válidas de conocimiento verdadero, y por ello no pueden ser opuestas; pero si lo fueran, la razón debe prevalecer. Esta afirmación, junto al *panteísmo* (todas las cosas son emanación de Dios y vuelven a Él) y al *pandeísmo* (que sostiene su explicación *Sobre la división de la Naturaleza*), le valió la condena eclesiástica por herejía, que pudo eludir gracias a la protección real.

(2) Roger Bacon (c. 1214-1294): Filósofo, científico, y teólogo escolástico inglés de la orden franciscana, conocido por el sobrenombre de *Doctor Mirabilis* ("doctor admirable", en latín). Inspirado en las obras de autores árabes anteriores -herederos y conservadores de las antiguas obras del mundo griego-, puso considerable énfasis en el *empirismo* y ha sido presentado como uno de los primeros pensadores que propusieron el moderno *método científico*, poniendo en crisis la *escolástica* (del latín *scholasticus*, y éste a su vez del griego *aquél que pertenece a la escuela*). La *escolástica* fue la corriente teológico-filosófica dominante del pensamiento medieval, tras la patristica de la Antigüedad tardía, y se basó en la coordinación entre fe y razón, que en cualquier caso siempre suponía una clara subordinación de la razón a la fe. Se denomina "alta escolástica" la que tuvo lugar durante los siglos XI y XV, periodo caracterizado por las grandes cruzadas, el resurgimiento de las ciudades y por un centralismo del poder papal que desembocó en una lucha por las investiduras. La figura más descolante de esta época fue san *Anselmo de Cantérbury* (1033-1109), considerado el primer escolástico.

Durante este período se realizaron grandes construcciones medievales como fortalezas, puentes fortificados, se desarrolló la *arquitectura románica* (3), y hacia el año 1000 dC se desarrolló la *arquitectura gótica*, se introdujeron los "arbotantes" y los "contrafuertes" en la construcción de catedrales góticas, se perfeccionaron las ruedas hidráulicas y se las empleó en el accionamiento de diversas máquinas, como los molinos de cereales, y se introdujo en Occidente el arnés de tiro o pechera de tiro para los caballos (4).

(3) Arquitectura románica: La época en que se considera que se desarrolla el estilo románico comprende los siglos XI y XII, sin exclusión de otros siglos anteriores y posteriores, pues aunque algunos edificios del siglo X tal vez ya puedan calificarse de románicos, se erigieron otros verdaderamente tales en diversas zonas (especialmente, en Asturias y Galicia) durante la época gótica hasta casi alcanzar el Renacimiento. Recibe el nombre de *románica* por coincidir su floración con la aparición de las lenguas románicas o romances. Otras fuentes afirman que fue en el siglo XIX cuando el arqueólogo Charles de Gerville dio este nombre a la arquitectura cristiana occidental de los siglos X al XII, por alusión a la arquitectura romana, en la que se suponía que se había inspirado.

(4) Arnés de tiro: En un dibujo chino del siglo IV aC aproximadamente, aparece un yugo colocado en el pecho de un caballo con unas correas que lo unen a las varas de un carro. Poco tiempo después los chinos sustituyeron el yugo rígido por una tira de cuero (*arnés de tirante*). De esta manera el peso de la carga descansaba sobre el pecho y las clavículas del animal. Hacia el siglo VIII dC el arnés de tirante llegó a Occidente.



Construcción de Catedrales Góticas en la Edad Media

También se registraron las primeras voces en las que se insinúa el término "ingeniero", en vocablos como "ingeniator", "ingeniarius", "ingeniosus" y otros. Todos ellos aluden a artesanos especializados en la concepción de máquinas, en especial máquinas bélicas y artificios para la construcción de iglesias y obras públicas, tales como las *grúas de rueda*.

Hacia el final de la Edad Media empiezan a cobrar auge los *ingenios bélicos* desarrollados para el ataque a fortificaciones y ciudades amuralladas. Se perfeccionaron las catapultas, de las que se

desarrollaron diversas variantes, entre ellas el “onagro” y el “traburchet”, siendo ambas combinaciones de catapulta y honda. Las funciones que cumplían los que ya en esa época se empezaban a denominar *ingenieros*, son las correspondientes a *ingenieros militares* o bien *ingenieros de construcción de obras públicas*.

En el mundo de la técnica, el producto más notable de la Edad Media es *el reloj mecánico de pesas con mecanismo de escape*. Más adelante el reloj de pesas fue luego sustituido por el de resorte en espiral como elemento de acumulación de energía. También se perfeccionaron las ruedas hidráulicas y alguna maquinaria textil.

En el largo período comprendido por la Edad Media, la técnica se llevaba a cabo sin el concurso de un conocimiento básico sobre el funcionamiento de las máquinas que permitiera una comprensión compatible con la ciencia, más allá de la constatación pragmática de que lo hace de acuerdo con los objetivos previstos.

11.4 La ingeniería en la Edad Moderna.

La Edad Moderna es el período comprendido entre la caída del imperio Romano de Oriente por toma de Constantinopla por los turcos en 1453 y la Revolución Francesa ocurrida en 1789.

Durante el Renacimiento surgen en el norte de Italia los primeros profesionales que empiezan a denominarse *ingenieros*. Los ingenieros italianos son los primeros que adquirieron una cierta “conciencia de clase profesional”. Precisamente la denominación de “ingeniero” indicaba que estos profesionales concebían *ingenios* (*engeños* en castellano antiguo), que eran principalmente máquinas para la guerra o para la construcción de obras públicas o para las extracciones mineras. Algunos artesanos distinguidos se hacían llamar ingenieros como signo de prestigio. *No obstante, la ingeniería como profesión organizada, tal como hoy la conocemos, es relativamente reciente.*

La figura más representativa de la ingeniería del Renacimiento es *Leonardo da Vinci* (1452-1519). Leonardo ennoblece hasta los niveles más altos de excelencia la concepción de máquinas, haciendo confluír un conocimiento riguroso y un portentoso esfuerzo de imaginación para construirlas, de modo que funcionen respondiendo a determinados comportamientos esperados a fin de lograr ciertos objetivos.

En la concepción de las obras se empleaban todos los conocimientos disponibles en cada época, especialmente los geométricos (1). En ellos radicaba el secreto para llevar a cabo cálculos precisos que permitieran calcular el ensamblaje de las piezas y aplicar procedimientos de exquisita racionalidad en su construcción (*Galileo Galilei*, 1564-1642, en los primeros párrafos de sus diálogos sobre dos nuevas ciencias).

(1) Rojas-Sola et al - UNA REVISIÓN HISTÓRICA: DESDE EL DIBUJO EN INGENIERÍA HACIA LA INGENIERÍA DEL DISEÑO.

Georg Bauer (1494-1555), médico alemán más conocido como *Georg Agrícola*, estudió cuidadosamente los procesos minerales y escribió una obra monumental, *De Re Metálica* (2) (*Sobre las cosas metálicas*), que fue editada en 1556. Fue el primer libro importante sobre minerales y metalurgia. Bauer es considerado como el *fundador de la ciencia de la mineralogía*. Bauer describió en su obra no sólo lo referente a la formación de yacimientos, las leyes mineras de su época, sino también las maquinarias y equipos empleados en la explotación. Dedicó un capítulo entero al tratamiento de los minerales y otro a la fabricación de la sal, soda, azufre, vidrio, etc.

2) *De Re Metálica*: En 1912, Herbert Hoover, ex presidente de los Estados Unidos de Norte América, que era ingeniero de minas, tradujo la obra de Bauer al idioma inglés.

El *Renacimiento* fue la época en la que nació la *Modernidad*. La racionalidad y el *racionalismo* comenzaron a imponerse en las explicaciones de los fenómenos. Desde sus comienzos en el Renacimiento, *la ciencia se presentó como una nueva manera de conocer el mundo*. La *filosofía* en cambio *se ocupó de la relación entre nuestras percepciones y lo que ocurre realmente*. Una de las ramas principales de la filosofía es la *teoría del conocimiento*.

En esa época el *arte* y la *técnica* se encontraban íntimamente entrelazados, hasta el punto de confundirse. La distinción entre lo que hoy conocemos como *ingenieros* y como *arquitectos* tampoco estaba claramente definida. Era frecuente que una misma persona desempeñara las dos funciones. *El ingeniero del Renacimiento es a la vez artista, artesano y militar*. En los *arquitectos prevalece un criterio estético, en los ingenieros prima uno racional*. De este modo se van delineando los *perfiles propios de la ingeniería*. Otra distinción es la que tiene lugar entre la actividad propia de los *ingenieros* y la de los *artesanos*. La labor de los artesanos es más bien técnica, en el sentido del conocimiento de las reglas que permiten resolver determinados problemas, mientras que el ingeniero se ocupa de concebir y proyectar obras y artefactos, para cuya construcción requerirá del artesano. Hasta el siglo XIX esas actividades artesanales no adquieren el grado de desarrollo y elaboración que demandará sean asumidas por ingenieros. La transición corresponde a las Escuelas de Artes y Oficios decimonónicas. Durante el siglo XIX se produce el desdoblamiento paulatino de las labores del *artesano* en las propiamente manuales, que se destinan a los *obreros*, y las de concepción, que en su rol superior quedan en manos de los *ingenieros*. Es en el Renacimiento donde empieza a apuntarse una escisión entre el “espíritu de las humanidades” y el de la naciente “ciencia”, representada por *Francis Bacon* (3) y por *René Descartes* (4), que se acentuará más tarde con la “*Ilustración*” y el “*romanticismo*”.

(3) Francis Bacon (1561-1626), primer barón Verulam, vizconde de Saint Albans y canciller de Inglaterra: Célebre filósofo, político, abogado y escritor. Considerado uno de los padres del empirismo, sus obras y pensamientos ejercieron una influencia decisiva en el desarrollo del método científico. Se propuso ante todo reorganizar el método de estudio científico. Percibió que el razonamiento deductivo destacaba entonces a expensas del razonamiento inductivo y creyó que, eliminando toda noción preconcebida del mundo, se podía y debía estudiar al hombre y su entorno mediante observaciones detalladas y controladas, realizando generalizaciones cautelosas. Para ello, el estudio que el hombre de ciencia hace de los particulares debe realizarse mediante observaciones que deben validarse. Los científicos deben ser ante todo escépticos y no aceptar explicaciones que no se puedan probar por la observación y la experiencia sensible (empirismo).

(4) René Descartes (1596-1650), también llamado Renatus Cartesius: Filósofo, matemático y físico francés, considerado como el padre de la geometría analítica y de la filosofía moderna, así como uno de los nombres más destacados de la revolución científica. Su método filosófico y científico, que expone en *Reglas para la dirección de la mente* (1628) y más explícitamente en su *Discurso del método* (1637), establece una clara ruptura con la escolástica que se enseñaba en las universidades.

Esta escisión se mantiene aún en tiempos actuales y es vivida con particular intensidad por el ingeniero, en cuya labor confluyen:

- el mundo relacionado con la ciencia,
- el mundo de las humanidades,
- las ineludibles implicancias éticas que surgen de su trabajo.

En la España de *Felipe II*, la mayor potencia de su tiempo, los ingenieros ocupan un papel relevante. Ante la ineficacia de la Universidad para formarlos, el propio Rey encomienda a Juan Herrera la creación de la *Real Academia de Matemática*. No obstante, ni la Academia ni el cuerpo profesional alcanzan gran consolidación fuera del Ejército. De hecho, *los primeros ingenieros en España fueron militares*.

El ingeniero, tal como hoy lo entendemos, es un producto genuino de la Ilustración. El profundo proyecto de transformación social que la Ilustración se propone llevar a cabo requiere de profesionales con una formación adecuada. *En el ingeniero renacentista están presentes la técnica, la ciencia, el arte y el humanismo*. Durante la primera etapa de la Ilustración estos cuatro componentes están presentes en forma equilibrada y la muestra más representativa de ello

es la *École de Ponts et Chaussées* de Perronet, en la que el ingeniero adquiere una formación rica y equilibrada.

Los tiempos que siguen al Renacimiento -siglos XVI y XVII- son los de la *Reforma* y *Contrarreforma* (*), que ahogan a Europa en largas y sangrientas guerras de religión. No obstante en ellos la historia de la técnica sigue su curso y también siguen asentándose las bases de la que será la ciencia moderna. Esos movimientos incipientes cristalizan en el siglo XVIII, en el que surge el “Ingeniero” en el sentido moderno del término.

Reforma Protestante y Contra-Reforma Católica: Los procesos de reformas religiosas tuvieron inicio en el siglo XVI. Las Reformas Protestantes se debieron en parte a la corrupción de los líderes religiosos de la iglesia Católica y también a un cambio de la visión del mundo, fruto del pensamiento renacentista (Renacimiento y Humanismo). En el territorio perteneciente al Sacro Imperio Romano, gobernando por esos por el emperador Carlos V de Alemania (o Carlos I de España). El movimiento religioso conocido como la Reforma Protestante tuvo como líder a Martín Lutero (1483-1546) un monje agustino que enseñaba teología en la Universidad de Wittenberg y que combatía la corrupción generalizada de los líderes religiosos. Para detener el avance del Protestantismo en Europa la Iglesia Católica, convocó al Concilio de Trento donde se dispuso la reforma de la Iglesia Romana, la Contrarreforma.

El siglo XVIII es el siglo de las Luces, el de la Ilustración, es la Edad de la Razón; es una época de esplendor en la historia de la humanidad. El “movimiento ilustrado” produce un programa de renovación social, promueve la transición de la disquisición especulativa a la acción reformadora. Los ilustrados consiguen que sus ideas se hagan realidad mediante un extraño y contradictorio maridaje con el poder real. El “despotismo ilustrado” representa una alianza entre el espíritu ilustrado y la monarquía absoluta. Las reformas que pretenden llevar a cabo los países que desean estar a la altura de la Ilustración incluyen:

- la promoción de la industria,
- el fomento del comercio interior mediante la eliminación de barreras comerciales y el desarrollo de vías de comunicación,
- el establecimiento de una administración moderna.

En este proceso, la Universidad no fue capaz de afrontar el reto; por ello la acción gubernamental debió promover la creación de otras instituciones renovadoras, especialmente las Academias (y otros centros análogos).

Entre los profesionales llamados a llevar a cabo el “programa ilustrado”, pronto se vio que los *ingenieros* podían jugar un papel relevante. La *formación de ingenieros* se convirtió así en uno de los instrumentos capitales para el desarrollo de este programa. En Francia y en España (ver nota Carlos III y la Ilustración) se parte de los *ingenieros militares*, que poseían una sólida reputación profesional y se los trata de convertir en “*ingenieros propiamente civiles*”.

NOTA: CARLOS III Y LA ILUSTRACIÓN.: Fue duque de Parma (como Carlos I) entre 1731 y 1735, rey de Nápoles (como Carlos VII) y rey de Sicilia (como Carlos V) de 1734 a 1759 y de España desde 1759 hasta su muerte. Ordenó comenzar la excavación sistemática de las poblaciones sepultadas por la erupción del Vesubio del año 79: Pompeya, Herculano, Oplontis y las Villas Stabianas. No sólo eso, sino que en 1752, al ordenar construir una carretera hacia el sur (precursora de la actual Statale 18), salieron a la luz los restos de la ciudad de Paestum, que llevaban años cubiertos por la maleza (parte del anfiteatro yace precisamente bajo dicha carretera). Fue un hallazgo especialmente importante, porque allí se hallaban tres templos griegos en muy buen estado de conservación. Se encargaron de su estudio Felice Gazzola (un culto aristócrata y militar de confianza de Carlos, al que servía desde su época de duque de Parma) y Francesco Sabatini. Intentó modernizar la sociedad utilizando el poder absoluto del Monarca bajo un *programa ilustrado*. En la línea de la Ilustración propia de su época, Carlos III realizó importantes cambios — sin quebrar el orden social, político y económico básico, despotismo ilustrado— con ayuda de un equipo de ministros y colaboradores ilustrados, como el Marqués de Esquilache, Aranda, Campomanes, Floridablanca, Wall y Grimaldi. La expulsión de los jesuitas se quiso aprovechar para realizar una reforma de la enseñanza que debía fundamentarse en las disciplinas científicas y en la investigación. Sometió las universidades al patronazgo real y creó en Madrid los *Estudios de San Isidro* (1770), como centro moderno de enseñanza media destinado a servir de modelo, y también las *Escuela de Artes y Oficios*, que han perdurado hasta el siglo XX (cuando pasaron a llamarse Escuelas de Formación Profesional, EFP). Las propiedades de los jesuitas sirvieron para crear nuevos centros de enseñanza y residencias universitarias. Sus riquezas, para beneficiar a los sectores más necesitados, se destinaron a la creación de hospitales y hospicios. Promovió un nuevo plan de Estudios Universitarios, que fue duramente contestado por la Universidad de Salamanca, proponiendo un plan propio, que a la postre fue implantado años después. El impulso hacia la reforma de la agricultura durante el reinado de Carlos III vino de mano de las Sociedades Económicas de Amigos del País creadas por su ministro José de Gálvez. Campomanes, influido por la fisiocracia centró su atención en los problemas de la agricultura. En su *Tratado de la Regalía de la Amortización*, defendió la importancia de ésta para conseguir el bienestar del Estado y de los ciudadanos y la necesidad de una distribución más equitativa de la tierra.

Francia juega un papel relevante en este proceso al crear una serie de Escuelas de Ingenieros:

- 1718 - *École des Ingenieurs*.
- 1747 - *École des Ponts et Chaussées*.
- 1778 - *École des Mines*.

Un poco más adelante, en 1794, a comienzos de la Edad Contemporánea (apartado 11.5), la Revolución Francesa crea la *École Polytechnique*.

Las actividades de la *École des Ponts et Chaussées*, fundada por Jean Perronet durante el reinado de Luis XV, pone en evidencia lo que en la segunda mitad del siglo XVIII se estima que debe ser “*la actividad propia del ingeniero*”: *concebir y representar las obras que tiene el propósito de ejecutar y disponer los medios para llevarlas a cabo*. En esta Escuela participa un grupo de españoles, dirigido por Agustín de Betancourt (1), que fueron becados en 1785 y permanecieron en ella hasta 1791. Este grupo recibió en España el encargo del conde de Floridablanca (2) la creación de una *Escuela de Caminos y Canales* a imagen de la de Perronet. Este grupo constituyó también el núcleo del *Real Gabinete de Máquinas*, instalado en el *Palacio del Buen Retiro* de Madrid. Este Gabinete fue el precedente al *Real Conservatorio de Artes y Oficios* que se fundara en 1826.

(1) Agustín José Pedro del Carmen Domingo de Candelaria de Betancourt (o Bethencourt) (1758-1824): Prestigioso ingeniero militar e inventor español. Su trabajo varió desde las máquinas de vapor y los globos aerostáticos hasta la ingeniería estructural y el planeamiento urbanístico. Como educador, Betancourt fundó y dirigió la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales en 1802 y también fue inspector del Instituto del Cuerpo de Ingenieros de Comunicaciones en San Petersburgo. Como diseñador de planos urbanísticos y constructor, Betancourt supervisó los planos urbanísticos y la construcción en San Petersburgo, Kronstadt, Nizhny Novgorod y en otras ciudades rusas.

(2) José Moñino y Redondo, 1er conde de Floridablanca (1728-1808): Político español que ejerció el cargo de Secretario de Estado entre 1777 y 1792 y presidió la Junta Suprema Central creada en 1808.

11.5 La ingeniería en la Edad Contemporánea.

Este período histórico abarca desde la Revolución Francesa ocurrida en 1789 hasta el presente.

Paralelamente a la creación de las Escuelas de Ingenieros en Francia, a partir del año 1769 se desarrolla en Inglaterra el formidable proceso de transformaciones desencadenado por la *Primera Revolución Industrial* (Revolución Agrícola, Revolución Demográfica, Revolución del Transporte, Revolución Tecnológica), con la introducción de la máquina a vapor como motor por excelencia, el desarrollo de la minería, el empleo del carbón como fuente de energía y el desarrollo de las industrias textil y metalúrgica.

En Francia, a fines del siglo XVIII los ingenieros se podían clasificar en los grupos siguientes:

- los ingenieros propiamente militares,
- los ingenieros navales (tanto en el orden civil como en el militar),
- los ingenieros civiles y de minas, que se ocupan de: trazado de las grandes rutas, construcción de puentes y canales, explotación de las minas, etc.

Pero además de los ingenieros para integrar los cuerpos del Estado, se necesitaban otros para dirigir la industrialización que se estaba gestando.

Haciendo un pequeño salto en el tiempo, es importante mencionar que a comienzos del siglo XX, el relativo retraso industrial de los países en los que se estaba iniciando el *proceso de industrialización* debido a la propagación de la Revolución Industrial ocurrida en Inglaterra, se atribuye a la *ausencia de una formación regulada para los ingenieros con destino a la industria privada*.

Años antes, en 1780, en Francia, *François Alexandre Frédéric de La Rochefoucauld*, Duque de La Rochefoucauld (1747–1827), había creado la *École des Enfants de l'Armée*, que en 1795 se fusionó con otros centros análogos para crear un centro de formación profesional con enseñanza basada en el “taller-escuela”. Ello dio lugar en 1805 a la creación de la *École d'Arts et Metiers*, modelo que se extiende por toda Francia.

En España, *Agustín de Betancourt* crea en 1802 la *Escuela de Caminos y Canales*, cuya vida es efímera. En 1826 se funda el *Real Conservatorio de Artes y Oficios de Madrid*, que está en el origen de las *Escuelas de Ingenieros Industriales*. Posteriormente, en 1835, se reabre la *Escuela de Caminos*, y entre esa fecha y mediados de siglo tiene lugar la creación de las *Escuelas de Ingenieros* decimonónicas.

La formación de ingenieros en la *École des Ponts et Chaussées* de Perronet tuvo un carácter fundamentalmente *pragmático*, con una fuerte componente artística (las componentes de arte estarán presentes en la formación de los ingenieros hasta mediados del siglo XIX). Este punto de vista fue cuestionado durante la Revolución Francesa, que propugnó un ingeniero más científico que artista. Por este motivo, el 11 de marzo de 1794, a partir de una iniciativa de *Lazare Carnot* y *Gaspard Monge*, se crea la *École Polytechnique* (bajo el nombre original de *École centrale de travaux publics*). Con la creación de la *École Polytechnique* se produce así un cambio trascendental en la formación de los ingenieros, a partir del cual el cálculo tiende a sustituir al arte. Los ingenieros empezaron a recibir una educación sistemática de corte netamente científico. La *École Polytechnique* contaba con un cuerpo de profesores entre los que se encontraban los más grandes matemáticos, físicos y químicos de la época (Lagrange, Laplace, Monge, Berthollet) y estudiantes como Biot, Gay-Lussac, Cauchy, Fresnel y Navier.

Es en Francia y no en Inglaterra ni en Alemania donde se produce la inflexión hacia la ciencia en la formación de los ingenieros. Se sostiene que la ciencia aporta el marco conceptual para describirle mundo físico sobre el que el ingeniero actúa. Los dos primeros años en la *École Polytechnique* se dedicaban exclusivamente a la formación científica, luego le seguía la formación técnica. *Esta secuencia acabó por convertirse en un dogma según el cual las aplicaciones eran una mera consecuencia de la ciencia, sin tener ninguna entidad intelectual propia.*

A lo largo del siglo XVIII, la cristalización de la profesión de ingeniero no es totalmente ajena al desarrollo científico. *La concepción moderna de qué es la realidad se forja a partir del siglo XVIII, con un fuerte influjo de la ciencia. Pero esa descripción es sólo un punto de partida para el ingeniero, ya que a partir de él empieza a aportar lo que le es genuino.*

La tendencia científicista estaba llamada a consolidarse a lo largo del siglo XIX, en el que se acentúa la enseñanza de la ingeniería sobre sólidas bases científicas y teóricas, sacrificando ciertos rasgos del pragmatismo ilustrado que formaron parte del acervo de la ingeniería en la segunda mitad del siglo XVIII. *La “ingeniería ilustrada” se gesta al calor de la nueva concepción científica del mundo.*

En Francia, con independencia de la experiencia de 1805, por iniciativa de los medios industriales, se crea en 1829 la *École Centrale des Arts et Manufactures*, en la que se trata de formar profesionales para la industria. Este tipo de ingenieros es cercano a lo que en España se conoce como ingenieros industriales. *Esta École Centrale nace con la pretensión de distanciarse de la École Polytechnique.* Con ello se trata de compensar la deficiencia de ingenieros en la industria privada y a la vez contrarrestar el poder que le confiere al Estado el monopolio de los cuerpos de ingenieros. Además, se sientan las bases para una confluencia entre ingenieros y ciertas labores hasta entonces encomendadas a artesanos.

El sistema francés de Escuelas de Ingenieros fue adoptado, con variantes más o menos acusadas, prácticamente por el resto de Europa continental, en particular por España. La excepción a esta tendencia se produce en Inglaterra, donde el ingeniero permanece más apegado a la práctica que el francés y, en general, los ingenieros continentales sufren un sesgo considerable hacia la teoría. Inglaterra adopta una vía propia para la formación de ingenieros, y esto también sucede con el resto de su enseñanza universitaria. Thomas Telford, primer presidente de la Institution of Civil Engineers de Inglaterra, que afirmaba, a principios del siglo XIX, que “los *polytechniciens* franceses sabían demasiada matemática para ser buenos ingenieros”.

En la historia de la ingeniería, desde la Antigüedad hasta el siglo XVIII, la ingeniería aparece dominada por *realizaciones de tipo mecánico*, en las que *la máquina trata de suplir al músculo*. Los ingenieros de toda esta época tenían una formación en la que dominaba la mecánica, tanto en sus vertientes de la ingeniería civil como de las máquinas. También tenían conocimientos de metalurgia y de química. A principios del siglo XIX aparecen la electricidad y la química. Ambas comparten la característica de ser *técnicas no evidentes*. A lo largo del siglo XIX se incorporan al patrimonio de la ingeniería las actividades industriales ligadas a la *electricidad*. La electricidad permite la transmisión de energía y de información (*). Esto produce un vuelco en las posibilidades del mundo artificial que estaba propiciando la ingeniería.

(*) Información: Contenido de lo que es objeto de intercambio con el mundo exterior, mientras nos ajustamos a él y hacemos que él se acomode a nosotros. La unidad de información es el BIT. La información es transmitida por medio de *mensajes*.

En el mismo momento en que se estaba asentando la *Revolución Industrial* de la mano de la *máquina a vapor* (década de 1830) aparece la *telegrafía*, que posibilita la *transmisión de información a distancia*.

En el siglo XX, *Claude Shannon* (1916-2001) *estableció la equivalencia entre las conmutaciones elementales en circuitos eléctricos y las leyes de la lógica*. Ello abrió la puerta hacia las modernas máquinas de procesamiento de información -*los ordenadores* (posiblemente la mayor innovación del siglo XX).

(La ENIAC fue una de las primeras computadoras digitales de propósitos generales (la primera fue la computadora alemana Z1). Era susceptible de ser reprogramada para resolver “una extensa clase de problemas numéricos. Fue inicialmente diseñada para calcular tablas de tiro de artillería para el Laboratorio de Investigación Balística del Ejército de los Estados Unidos. Fue desarrollada por John Presper Eckert y John William Mauchly, fabricada en la Universidad de Pensilvania, instalada el 15 de febrero de 1946 y desactivada el 2 de octubre de 1955. Ocupaba una superficie de 167 m² y podía realizar cerca de 5000 sumas y 300 multiplicaciones por segundo. Tenía 17.468 tubos de vacío, 7.200 diodos de cristal, 1.500 relés, 70.000 resistencias, 10.000 condensadores y 5 millones de soldaduras. Pesaba 27 Toneladas, medía 2,4 m x 0,9 m x 30 m; utilizaba 1.500 conmutadores electromagnéticos y relés; requería la operación manual de unos 6.000 interruptores. Cuando su software requería modificaciones, demoraba semanas de instalación manual).

Colateralmente el concepto de información irrumpe también en el ámbito de las ciencias básicas. *Los seres vivos no se pueden comprender sin el concurso de la información, ya que no sólo intercambian materia y energía con su medio externo, sino también información*. Incluso la vida puede definirse como la capacidad de utilizar energía para mantener estructuras codificadas mediante la información. El código genético ilustra la relación entre la información y la misma esencia de la vida. Según Norbert Wiener (1961), es gracias a la información como los seres vivos se comportan como *enclaves antientrópicos* (*).

(*) Entropía: Concepto opuesto al de información. Medida de la frecuencia o probabilidad con la que un suceso se produce en un sistema cerrado o aislado. Grado de semejanza, similitud, homogeneidad, uniformidad o falta de rasgos distintivos. Medida del estado de desorganización de un sistema (aumento de entropía resultante en una mayor desorganización. Tendencia natural del Universo a aumentar su entropía.

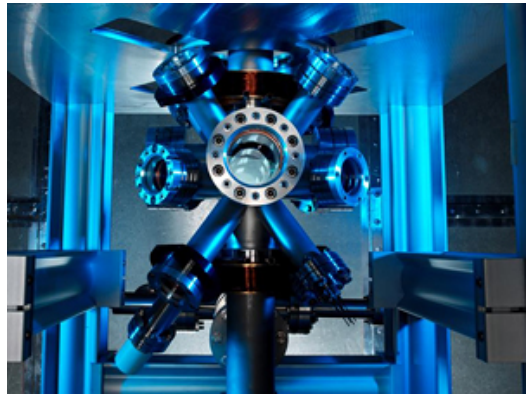
La máquina y el organismo viviente son dispositivos que local y temporalmente parecen resistir la tendencia general de aumento de entropía. Los seres vivientes resistimos la corriente general de corrupción y decaimiento de nuestro organismo a través de un proceso conocido con el nombre de *homeostasis*. En Termodinámica: Entropía es una cantidad, expresada en función de la temperatura, la presión y la densidad de masa, que constituye una medida de la cantidad de energía que no se transforma en trabajo útil en la evolución de un sistema o en un proceso natural. Magnitud igual al cociente entre el calor que absorbe un sistema y la temperatura a la que lo absorbe.



Imágenes holográficas tridimensionales



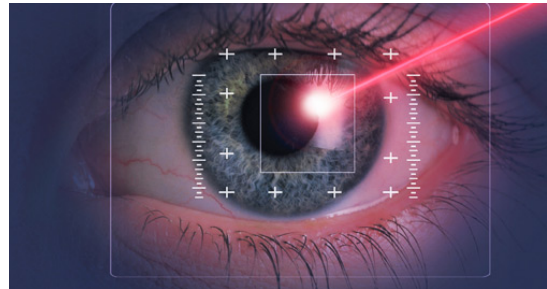
Reloj atómico de Rubidio



Reloj atómico de cesio



Rayos laser



Cirugía ocular laser



Máquina para corte de metales por rayo laser



Corte de metal por rayo laser



Pieza cortada por rayo laser



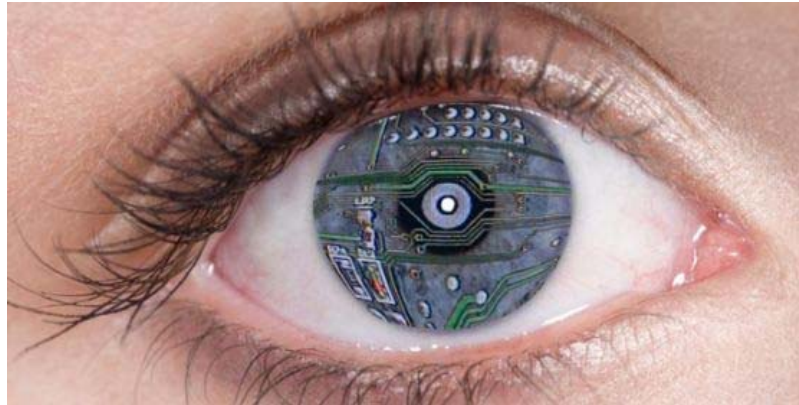
Mano biónica



Antebrazo y mano biónicos



Brazo biónico

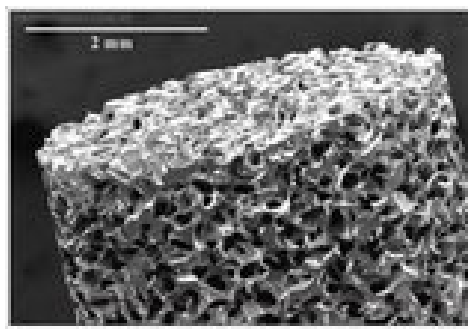


Restitución de la visión mediante un implante ocular biónico



Ferrofluidos

Líquidos que se polarizan en presencia de un campo magnético, creando figuras notables. Se componen de partículas ferromagnéticas suspendidas en un fluido portador (un solvente orgánico o agua). Las nanopartículas ferromagnéticas están recubiertas de un surfactante para prevenir su aglomeración a causa de las fuerzas magnéticas y de van der Waals. Los ferrofluidos no muestran ferromagnetismo, pues no retienen su magnetización en ausencia de un campo aplicado de manera externa. Muestran paramagnetismo y normalmente se identifican como "superparamagnéticos" por su gran susceptibilidad magnética. Tienen una gran cantidad de aplicaciones en la ingeniería.

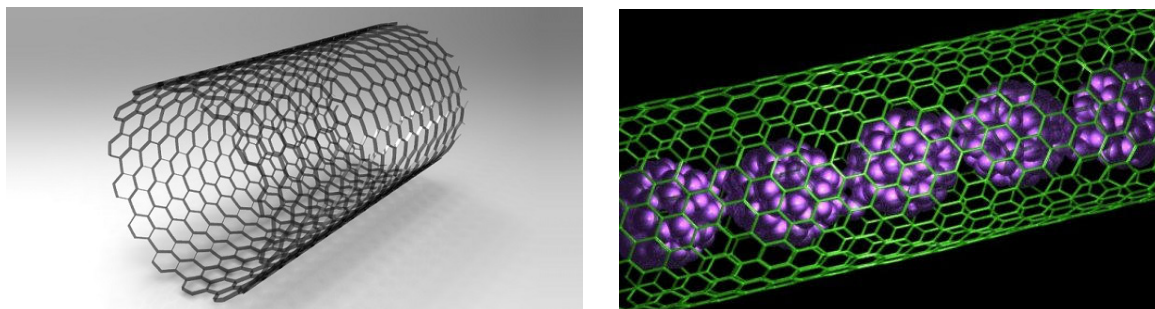


Espumas metálicas

Producidas por la mezcla de aluminio y ciertos gases, formando una especie de esponja metálica muy resistente y liviana (flota en el agua). Se proyecta usarlas en la construcción de colonias espaciales.

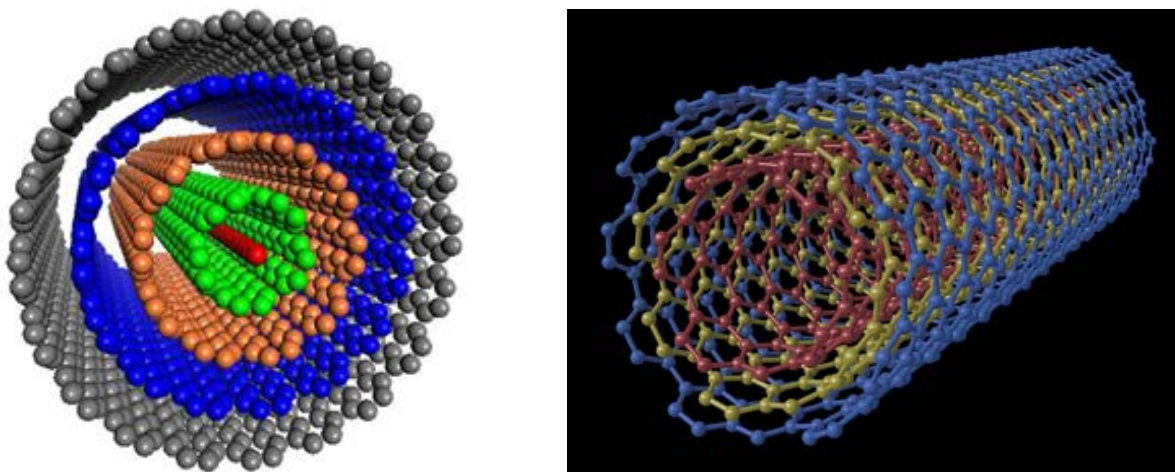
Metamateriales: Materiales que deben sus propiedades físicas no a su composición química sino al diseño de su estructura. Su mayor aplicación se da en la óptica, porque poseen índices de refracción negativos: no curvan de manera predecible los rayos de luz y las ondas electromagnéticas. La onda se propaga en el sentido inverso al de la energía que incide sobre ellos. Este fenómeno hace posible usarlos para construir lentes de aumento tan potentes y libres de distorsión que pueden amplificar a nivel visible el campo magnético de un objeto. También se los emplea para alinear rayos láser en la construcción de hologramas de muy alta resolución. También se los comienza a utilizar para la fabricación de *mantos de invisibilidad*. Algunos de estos materiales poseen índices de refracción negativa de ondas sonoras, haciendo que algo sea *inaudible*.

Fullereno o fulereno: Molécula compuesta por carbono que puede adoptar una forma geométrica que recuerda a una esfera, un elipsoide, un tubo (llamado nanotubo) o un anillo. Los fullerenos son similares al grafito, compuesto de hojas de anillos hexagonales enlazadas, pero conteniendo anillos pentagonales y a veces heptagonales, lo que impide que la hoja sea plana. Los fullerenos son la tercera forma molecular estable conocida de carbono, tras el grafito y el diamante.

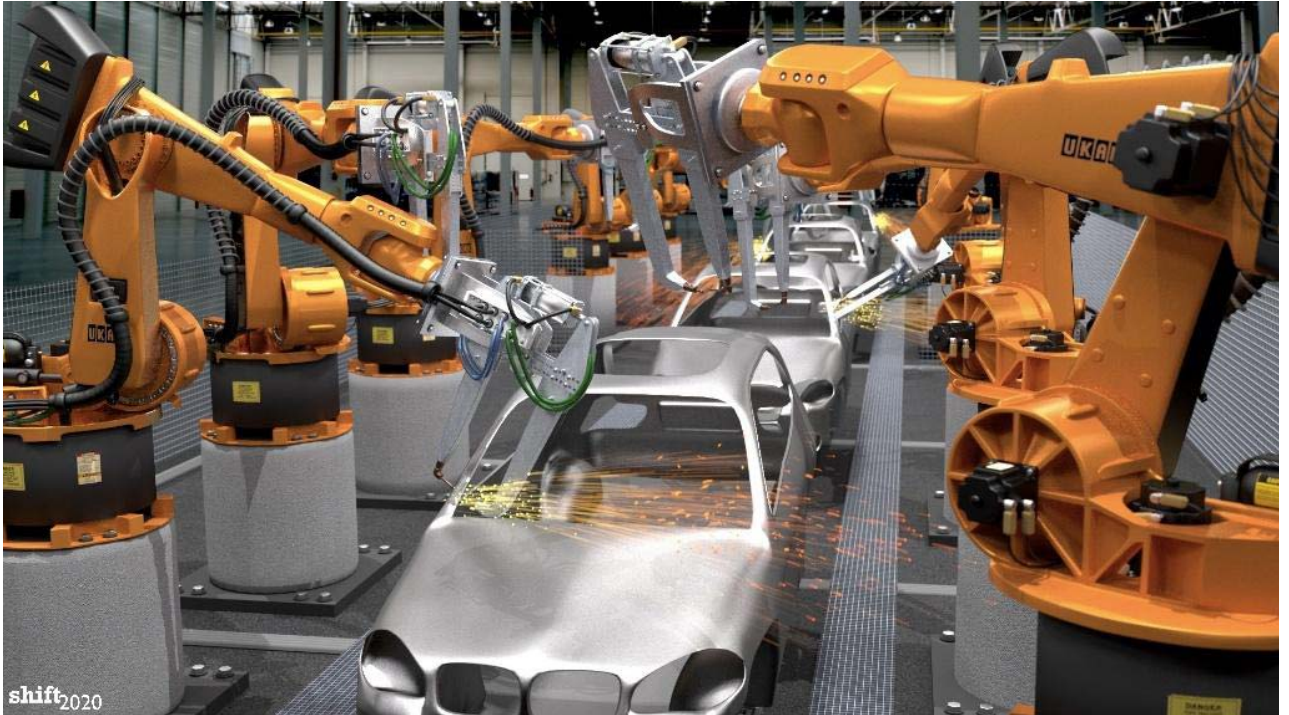


Nanotubos de carbono

Nanotubos: Moléculas con forma de cilindro, cuerpo geométrico que les garantiza ser la microestructura más resistente del mundo, muy superior a la del acero. Los nanotubos pueden conducir por su interior flujos de otros átomos o de electrones. En química, se denominan nanotubos a estructuras tubulares cuyo diámetro es del tamaño del nanómetro. Existen nanotubos de muchos materiales, tales como silicio o nitruro de boro pero, generalmente, el término se aplica a los nanotubos de carbono. Los nanotubos de carbono son una forma alotrópica del carbono, como el diamante, el grafito o los fullerenos. Su estructura puede considerarse procedente de una lámina de grafito enrollada sobre sí misma. Dependiendo del grado de enrollamiento, y la manera como se conforma la lámina original, el resultado puede llevar a nanotubos de distinto diámetro y geometría interna. Estos están conformados como si los extremos de un folio se uniesen por sus extremos formando un tubo, se denominan *nanotubos monocapa* o de pared simple. Existen, también, nanotubos cuya estructura se asemeja a la de una serie de tubos concéntricos, incluidos unos dentro de otros y de diámetros crecientes desde el centro a la periferia. Estos son los *nanotubos multicapa*. Se conocen derivados en los que el tubo está cerrado por media esfera de fullereno, y otros que no están cerrados. Están siendo estudiados activamente, como los fullerenos, por su interés fundamental para la química y por sus aplicaciones tecnológicas. Es, por ejemplo, el primer material conocido por la humanidad capaz, en teoría, de sustentar indefinidamente su propio peso suspendido sobre nuestro planeta. Teóricamente permitiría construir un ascensor espacial, debido a que para ello se necesita un material con una fuerza tracción de 100 GPa y se calcula que los nanotubos de carbono soportan 200 GPa.



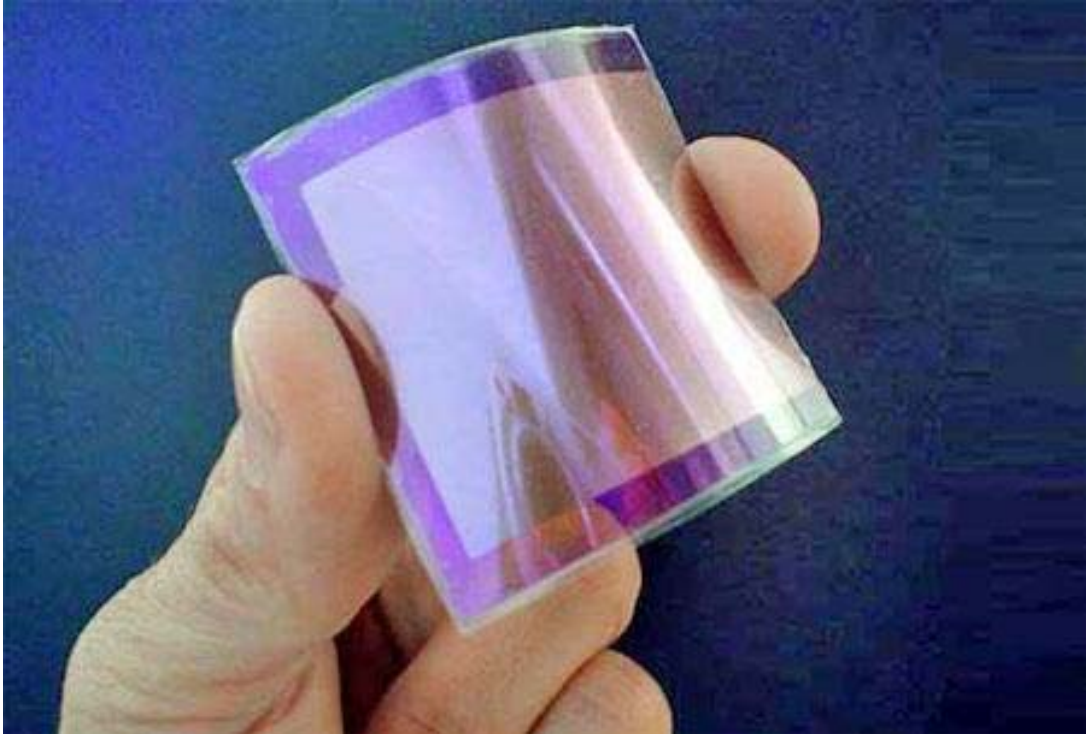
Nanotubos de carbono multicapa



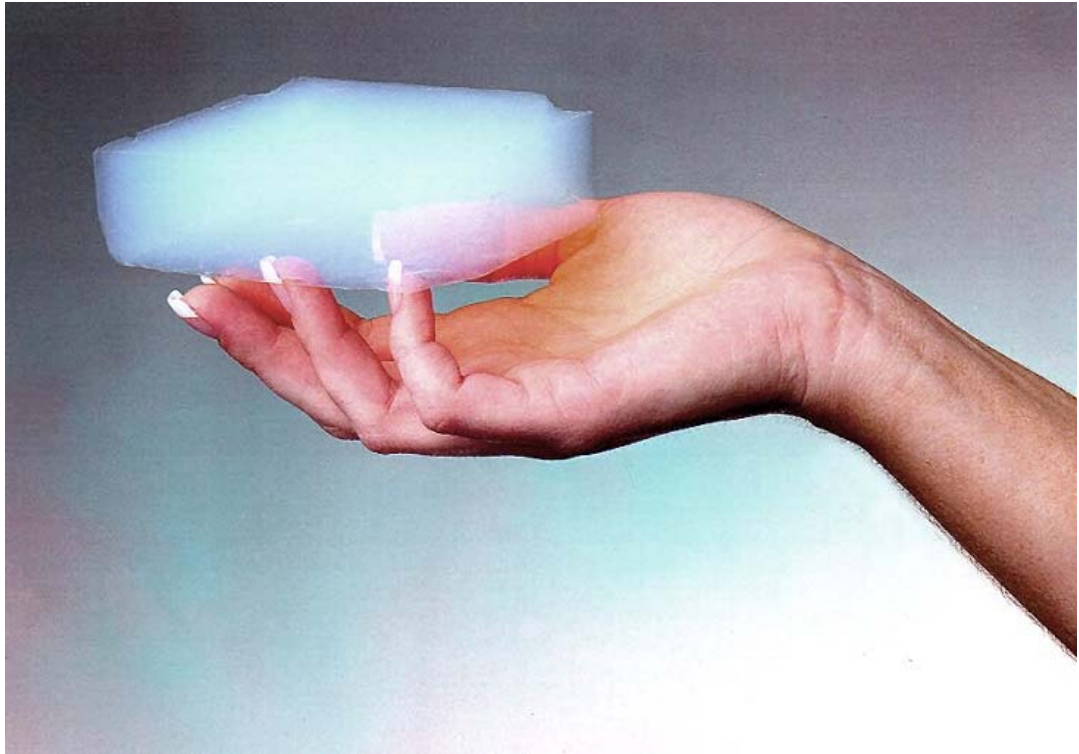
Robotización de la industria



Robotización del agro



Nuevos materiales con propiedades reológicas diferentes



Aerogeles

Aerogel: Material coloidal similar al gel, en el cual el componente líquido es cambiado por un gas, obteniendo como resultado un sólido de muy baja densidad (3 mg/cm^3 ó 3 kg/m^3) y altamente poroso, con ciertas propiedades sorprendentes, como su enorme capacidad de aislante térmico. Está generalmente compuesto por un 90,5% a un 99,8% de aire, es mil veces menos denso que el vidrio y unas tres veces más denso que el aire. Familiarmente es denominado *humo helado*, *humo sólido* o *humo azul* debido a su naturaleza semitransparente, sin embargo, tiene al tacto una consistencia similar a la espuma de poliestireno. Su índice de refracción es 1,0, muy bajo para un sólido. La velocidad del sonido a través de él es muy baja, 100 m/s.

12. LA UNIVERSIDAD.

12.1 Origen y significado del término.

La palabra “Universidad” procede del latín *universitas*, nombre abstracto formado sobre el adjetivo *universus*-a-um (“todo”, “entero”, “universal”), derivado a la vez de *unus*-a-um (“uno”). En el latín medieval *universitas* se empleó originariamente para designar “cualquier comunidad o corporación considerada en su aspecto colectivo”.

Cuando se usaba en su “sentido moderno”, denotando “un cuerpo dedicado a la enseñanza y a la educación”, requería la adición de un complemento para redondear su significado:

“UNIVERSITAS MAGISTRORUM ET SCHOLARIUM”

Hacia fines del siglo XIV la palabra latina *universitas* empezó a usarse con el significado que tiene en la actualidad”. Sin embargo, *el término más antiguo* y que continuó usándose durante mucho tiempo fue el de *STUDIUM* o *STUDIUM GENERALE*. El empleo de la palabra “*universitas*”, con su significado actual, no llegó hasta el Renacimiento.

La palabra *universitas*, formada por los elementos *unus*, *una unum*, y *verto*, *vertere*, *versum*, expresa “una visión globalizadora de toda la realidad”. En esa época el término *universitas* se empleaba en latín para denominar “cualquier conjunto de unidades o la totalidad de una cosa”:

- *universitas navis* era la totalidad del barco;
- *universitas orationis* era la totalidad del discurso;
- *universitas generis humani* era el conjunto del género humano.

12.2 La “*universitas*” entendida como ALMA MATER.

La humanidad, a través de los siglos, ha ido elaborando un universo de conocimientos con cuya transmisión se busca dar nacimiento a un nuevo tipo de hombre. Es válido pensar como consecuencia de esto, que entendida la “*universitas*” como generadora del saber, se atribuyó el carácter de “*Alma mater*” (“*madre nutricia*”) en el sentido de engendrar y transformar al hombre por obra de la ciencia y del saber (“*alma*” es un adjetivo derivado de *alo/alere*, que significa alimentar, hacer crecer).

12.3 La Universidad y la investigación tecnológica en la Argentina.

La investigación tecnológica no es producto de organismos burocráticos sino que debe serlo de las universidades y dentro de ella de las facultades de ingeniería. Éstas son los centros de investigación tecnológica por excelencia y en ellas deben volcarse los recursos para realizar esas investigaciones.

Un horizonte temporal en el 2050 para la Argentina seguramente debería incluir investigaciones en las áreas siguientes:

- Inteligencia artificial.
- Robótica (con la robotización de la mayor parte de la industria).
- Ingeniería de alimentos.
- Sistemas y Redes de Comunicaciones.
- Redes informáticas para el sistema hospitalario.
- Procesos de tratamiento de efluentes cloacales e industriales en plantas cerradas (sin contacto del proceso con la atmósfera).
- Comportamiento reológico de nuevos materiales.
- Fusión nuclear.
- Sistemas no convencionales de conversión de energía.

- Aumento de la eficiencia de los procesos actuales de conversión de energía.
- Vehículos de transporte con propulsión eléctrica.
- Impresión en 3D en gran escala de piezas mecánicas y otras de diferentes tipos.
- Exoesqueletos
- Nanotecnología.
- Ingeniería Ambiental.

12.4 Política de incentivos para la investigación tecnológica.

Una política inteligente en la República Argentina debería establecer incentivos para la inversión en investigación tecnológica y desarrollo conjunto entre la empresa privada y la universidad. Esta posibilidad potencial está pobremente aprovechada y su implementación sobre bases sólidas podría resultar en importantes beneficios tanto para la nación, para la universidad y para las empresas. Esto también debería incluir a las facultades de ingeniería de las universidades privadas, en las que la estructura de investigación tecnológica es muy débil.

13. ¿HACIA DONDE VA LA CIVILIZACIÓN TECNOLÓGICA? (extracto del libro SISTEMAS TECNOLÓGICOS - Contribuciones a una Teoría General de la Artificialidad de Tomás Buch).

Lewis Mumford (*) hace una severa crítica a *la Tecnología como dominio de la naturaleza*. Sostiene que *ésta llegaría eventualmente a dominar al hombre mismo*. Hace una distinción, que aún se mantiene, entre una corriente que propugna *una tecnología a escala humana* y la *tendencia megatécnica* dominante y dominadora. También diferencia entre una *politécnica* – artesánías tradicionales, hechas en forma individual– y una *monotécnica*, de carácter hegemónico y sólo compatible con una organización de los seres humanos en gran escala, tal como lo estamos viviendo con preocupación en los años recientes. Destaca que la tendencia hacia la *monotécnica* o *megatécnica* está en marcha inexorablemente desde los albores de la civilización de los grandes imperios, hace por lo menos cinco mil años. Esta tendencia hizo necesaria y produjo una *organización jerárquica de la sociedad* y el *surgimiento del poder político coercitivo* como uno de los ejes estructurantes del quehacer humano. En esencia, los argumentos de Mumford y de otros pensadores, *son una crítica ética de todo el desarrollo social humano desde los comienzos de la civilización, más que de un análisis de la Tecnología o de lo artificial como fenómeno humano*.

(*) Lewis Mumford (1895 - 1990. Sociólogo, historiador, filósofo de la tecnociencia, filólogo y urbanista estadounidense)

Sin disminuir el peso de estos argumentos, es necesario también hacer justicia a la Civilización Tecnológica destacando sus éxitos indudables en muchos campos, liberando al ser humano de la realización de tareas penosas, aumentando la esperanza de vida al nacer y mejorando lo que se ha dado en llamar la *calidad de vida* (concepto bastante reciente).

Ante los temores, expresados por los que ven en la *megatécnica* una *amenaza para la supervivencia y aún para la vida*, los tecnófilos expresan fe en el progreso y en los intereses políticos y económicos, asegurando que *la Tecnología siempre ha sido capaz de resolver todos los problemas que se le plantearon*.

El pensamiento positivista y pragmático ve a la Tecnología como vehículo para el progreso material y a éste como precondition para el progreso moral de la humanidad, e incluso como protección del medio ambiente contra los excesos tecnológicos mismos.

La Tecnología no es una entidad abstracta, sino una creación humana, cuya evolución depende de las estructuras sociales y económicas dominantes. Por lo tanto, es necesario examinar la *relación entre la tecnología contemporánea y las estructuras de dominio* que existen en el interior de las sociedades “generadoras de” y “modeladas por” esa tecnología.

Para los filósofos clásicos y modernos, desde Santo Tomás hasta Kant, el concepto de *razón* estaba referido a *la armonía en la estructura general del mundo y la capacidad humana para comprender dicha estructura*.

La Civilización Tecnológica en cambio reconoce solamente *la racionalidad de los medios empleados para alcanzar ciertos fines* (*), *omitiendo pronunciarse acerca de los fines mismos*. Esta racionalidad equivale a *eficacia instrumental: dado un fin, es racional la acción que permite alcanzarlo con eficacia y eficiencia*.

La racionalidad de la Civilización Tecnológica es exclusivamente una racionalidad referida a fines pero al no existir fines trascendentes, los fines mismos terminan transformándose en medios. Al desaparecer los fines, son los medios los que ocupan su lugar, transformándose en fines mediatos

En este contexto, la posibilidad de una acción desinteresada se hace incomprensible.

(*) Según Marcuse, esta *racionalidad de los medios* no es abstracta, sino que obedece a una determinada estructura de la sociedad y del poder político y económico, a una concreta relación de dominio. Es la necesidad de legitimación de ese dominio la que apela a la *productividad del trabajo humano* y al *dominio de la naturaleza* a cambio de ofrecer una vida más confortable a las grandes masas. Sólo que esa lógica del dominio ha desaparecido de las conciencias. Los ciudadanos disfrutaban de una mayor libertad de elección entre múltiples bienes de consumo pero, a la vez, la Tecnología legitima un poder político que limita la libertad real y que plantea una imposibilidad técnica de realizar una autonomía que le ofrece, en teoría, la democracia política.

Herbert Marcuse (Berlín, 19 de julio de 1898 – Starnberg, Alemania, 29 de julio de 1979). Filósofo y sociólogo judío de nacionalidad alemana y estadounidense. Fue una de las principales figuras de la primera generación de la Escuela de Frankfurt.

Dentro de este esquema de racionalización de los medios se produce *la irrupción de la Ciencia en la Tecnología*, y de ésta en los ámbitos institucionales.

A esto se agrega la manera en que se ejerce el poder económico en la sociedad capitalista tardía, donde:

- Por un lado, la *concentración y transnacionalización* crecientes del capital son facilitadas por la informática,
- Por otro, buena parte de *la iniciativa para la innovación tecnológica* se encuentra en *estructuras empresarias más pequeñas y dinámicas*.

En qué medida predominan unas u otras en la determinación del ritmo de avance está por verse, pero lo que sí se sabe es que una de las características de este contexto es su *inestabilidad*, y ella hace necesaria la *constante innovación tecnológica*.

- Esta *inestabilidad* está causada e impulsada por la *competencia de los mercados* y escapa a la racionalidad basada únicamente en la satisfacción de las necesidades humanas.
- Asimismo, parece que la sociedad, basada en medida creciente en la sola *racionalidad económica*, no puede encontrar en ésta las *respuestas adecuadas* ante el reemplazo del trabajo humano por el de las máquinas y su consecuente desempleo y exclusión social (fenómeno de desocupación tecnológica).
- Por otra parte, *se desconfía que el sistema global se estabilice a largo plazo*. Una evidencia de esto son las políticas deliberadamente seguidas por los gobiernos, que oscilan pendularmente entre el *liberalismo* (que se basa en la hipótesis de que el mercado se ocupará de regular el sistema a largo plazo) y un mayor *control estatal* sobre el movimiento de capitales.

Queda la esperanza de que la sociedad humana desarrolle una *mayor responsabilidad* acerca de la capacidad de desarrollo tecnológico y del empleo de la Tecnología. Este es un *requerimiento ético con lo humano y con lo no humano*, ya que, a pesar del dominio de lo artificial, los seres humanos somos parte de la naturaleza.

Es imperioso reconocer esto antes de que la destrucción de los ecosistemas alcance límites que hagan imposible la vida en la Tierra. Esto ha dado nacimiento hace pocas décadas a un movimiento denominado *ambientalismo* o *ecologismo* que ha originado una corriente de pensamiento, pero a su vez ha generado grupos *que están lejos de ser unánimes en el debate ético, filosófico y político sobre la conflictiva relación entre lo natural y lo artificial*.

Todos los grupos ecologistas *comparten el rechazo por la megatécnica* (*) y a veces toman posiciones extremadamente militantes frente a algunas manifestaciones de la tecnología, como por ejemplo la utilización de la energía nuclear.

(*) Megatécnica: Concepto originado en el movimiento anti-megatécnica que tuvo cierto auge en el contexto de las rebeliones estudiantiles de fines de la década de 1960.

Frente a la evidencia de que *la expansión humana produce impactos ambientales* de alcance global, se está imponiendo desde hace algunos años el concepto de *desarrollo sustentable*.

También relacionada con este tema, ha surgido la idea de *tecnología apropiada, conveniente o alternativa*, un tipo de *tecnología suave*, intermedia entre la de los pueblos subdesarrollados y la *megatécnica* asociada a los países más desarrollados. Esto se refiere a la posibilidad de resolver numerosos problemas inmediatos de las comunidades aún no alcanzadas por la universalización del aparato tecnológico moderno, *empleando tecnologías de pequeña escala y evitando la alta tecnología*.

Sin lugar a dudas *existen pequeñas comunidades que temporalmente se pueden beneficiar con este enfoque*, pero debe reconocerse también que *este enfoque tiene un trasfondo romántico que no puede satisfacer las necesidades de una humanidad en continua expansión*. Esto no quiere decir que no sea ventajoso en muchos casos emplear tecnologías alternativas como las *microturbinas hidráulicas* o los *generadores eólicos de baja potencia*, “mientras la microturbina no sea una rueda hidráulica de la antigüedad o el generador eólico no sea un primitivo molino de viento como los originados en Persia cinco o seis mil años antes de Cristo”. Estos elementos deben ser diseñados según los criterios de la *hidrodinámica* o de la *aerodinámica* contemporáneas respectivamente y deben ser construidos con materiales y técnicas de fabricación adecuados.

Por otra parte, una *condición de aplicabilidad de las tecnologías alternativas* es que previamente *se estudie como un todo el sistema sociocultural* en el que se proyecta su implantación. La tecnología contemporánea ha obligado a un replanteo de la relación entre:

- *La sociedad humana y su megatécnica con la naturaleza,*
- *La naturaleza y el futuro del trabajo humano* (el reemplazo de nuevas categorías de trabajadores por máquinas, efecto denominado *desocupación tecnológica*, es motivo de seria preocupación en los países desarrollados).

Hasta la Revolución Industrial, la mayor parte de la población era *rural* y trabajaba en diversos tipos de relación de sumisión con los señores, produciendo alimentos para todos. Los demás trabajadores eran *artesanos*, generalmente agrupados en *gremios*. Estas dos formas de trabajo, *el labrador* y *el artesano*, han quedado en el imaginario popular como *las figuras paradigmáticas del trabajo noble y digno*, mucho más que las formas posteriores aún vigentes, *el trabajador industrial, el proletario*. Esta última es asociada con *el trabajo alienado*.

El proletariado se rebeló contra su condición siguiendo primero a los ideólogos del iluminismo y luego a los propulsores del socialismo y de la justicia social. Como consecuencia de ello, a mediados del siglo XX surgió el *movimiento obrero*, del cual surgió el *movimiento marxista*, que

tomó el poder efectivo en una gran potencia y llegó a dominar un tercio de la población del mundo. Pero,

- por un lado, el marxismo en el poder se desvirtuó por completo y degeneró, *de un movimiento en pos de la libertad de la clase trabajadora, en una dictadura totalitaria* que no cumplió ninguna de sus promesas;
- por otro, el desarrollo tecnológico y la creciente automatización de la industria desplazaron al proletariado industrial de su protagonismo numérico.

Ahora se plantea la problemática de la posibilidad cierta de que el trabajo humano desaparezca como necesidad vital, porque casi todo el trabajo que tradicionalmente hacen los humanos, en algunas décadas más podrá ser realizado por máquinas. Este problema presenta tres aspectos fundamentales:

- *El primero es de carácter social:* el futuro de la humanidad dependerá de que se encuentre una manera efectiva y relativamente uniforme de distribuir la abundante riqueza producida por las máquinas, asegurando un ingreso mínimo a todos, aunque no tengan acceso a un mercado laboral cada vez más restringido. Ésta es además *una condición para que el sistema mismo pueda seguir funcionando*, porque de lo contrario, *no habrá mercado solvente* para adquirir los productos abundantes de una industria cada vez más robotizada.
- *El segundo es de carácter existencial:* ¿qué harán los humanos cuando ya no deban ocupar la mayor parte de su tiempo en trabajar por su sustento?
- *El tercero es en parte una combinación de los dos anteriores:* *aquellas formas de trabajo que subsistan serán las más creativas e interesantes*, que exigirán de los humanos el desarrollo de todas sus facultades intelectuales; formas que actualmente realizan aquellos que están en la punta del desarrollo científico, tecnológico y artístico.

14. CONCLUSIONES.

Este documento no contiene propuestas de nuevos planes de estudio, porque se considera que cada Universidad debe realizar su propia definición, pero la Academia Nacional de Ingeniería sugiere que las Facultades de Ingeniería

- Promuevan cursos sobre ***Historia de la Ingeniería e Introducción a la Ingeniería***, en los que los estudiantes de grado sean vinculados con la ***esencia misma de la ingeniería***.
- Fomenten la ***investigación*** y la ***innovación tecnológica*** mediante la realización de proyectos interesantes y útiles, en los que los estudiantes puedan ***aplicar, ampliar y potenciar sus capacidades cognitivas***, tomando en consideración que la ***creatividad*** es un componente esencial de la ***innovación***.
- Promuevan y establezcan en forma efectiva la vinculación con ***Centros de Prospectiva Tecnológica y Observatorios Tecnológicos*** (“Technology foresight”).
- Asignen mayor importancia a la incorporación de los desarrollos tecnológicos orientados a la innovación tecnológica, destinando para este fin recursos de mayor magnitud,
- Establezcan vínculos mucho más estrechos con el ***medio industrial***.
- No solo formen ingenieros que definan y resuelvan problemas, sino que enseñen a los estudiantes a continuar aprendiendo durante su vida profesional en programas de ***Educación Continua***.

- Introduzcan la *enseñanza multidisciplinaria* en las carreras de grado y se utilicen como elementos de aprendizaje ejemplos de *casos reales de éxitos y fracasos*.
- Participen de un modo mucho más activo en la mejora del *status de la profesión* y del *conocimiento que la sociedad tiene sobre la Ingeniería*.
- Tengan presente que el Ingeniero debe ser un *hombre de realizaciones y un hombre de bien*, en consecuencia no solamente es importante el *saber*, sino también el *hacer* y más aún el *saber hacer* y mucho más aún el *saber hacer bien para el bien común*.
- Promuevan los principios de la *Ética en el ejercicio profesional*, poniendo especial énfasis en la *Responsabilidad Social de la Ingeniería*, la *Responsabilidad Ambiental* y la *Responsabilidad Social Empresaria*, confrontando a los estudiantes con casos reales de *claudicaciones éticas*.
- Tengan en cuenta que todo esto es parte de la *Responsabilidad Social Universitaria*.

15. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.

The Millennium Project - Increasingly Significant Technologies for 2050. For the EC KT 2050 Scenarios Project, USA.

Frontiers of Engineering - Reports on Leading-Edge Engineering from the 2016 Symposium, The National Academies Press, USA.

Prospectiva Tecnológica - Centro de Prospectiva Tecnológica Mosconi, Escuela Superior Técnica del Ejército Argentino.

Estrategia Española sobre Ciencia, Tecnología e Innovación 2013-2020, Gobierno de España, Ministerio de Economía y Competitividad.

Educating Engineers: Preparing 21st Century Leaders in the Context of New Modes of Learning: Summary of a Forum, Steve Olson, Editor; National Academy of Engineering, USA.

La transferencia de I+D, la innovación y el emprendimiento en las universidades - Educación Superior en Iberoamérica, Informe 2015.

Documentos 1, 2, 3, 4 y 5 de la Academia Nacional de Ingeniería Argentina preparados por el Académico de Número Arístides Bryan Domínguez.

Curso de “Historia de la Ingeniería” del Ingeniero Arístides Bryan Domínguez, Académico de Número de la Academia Nacional de Ingeniería.