
Prácticas y teorías físicas del Mundo Antiguo

FÍSICA 2º Bachillerato

El impreciso término de Mundo Antiguo. Culturas asentadas en la Mesopotamia y el Asia Menor. Progresos del Mundo Egipcio. Avances de la Sociedad China. Logros de las Culturas Precolombinas. Bibliografía

El impreciso término de Mundo Antiguo

Al emplear aquí el término de “Mundo Antiguo” estamos considerando ese extenso período histórico que se inicia, según los datos arqueológicos disponibles, en Oriente Próximo y en Egipto hacia finales del IV milenio a.C., y termina con el proceso de disolución del imperio romano hacia la mitad del siglo V. En otras palabras estamos intentando resumir los logros en el conocimiento físico y otros hitos relacionados con este ámbito, durante el colosal intervalo de cuatro mil quinientos años, unas tres cuartas partes de los tiempos históricos.

Lo que reconocemos como egipcios, sumerios, chinos o mayas es un producto cultural, con su repertorio de realizaciones materiales y espirituales, cuya identidad se alcanza en un escenario territorial a partir de un momento determinado. A pesar de lo irrepetible y singular de la construcción de cada cultura del llamado mundo antiguo se torna claro que ciertas regularidades presidieron esa compleja edificación histórica. El proceso de transformación de la aldea en ciudad se combina con la producción de espectaculares descubrimientos o inventos, que coinciden cronológicamente en cada región porque se dan las condiciones oportunas, pero que al mismo tiempo contribuyen decisivamente a la transformación de la realidad.

El progresivo incremento del excedente agrícola y el correspondiente aumento de la actividad comercial abren la posibilidad de una especialización o división social del trabajo. Resultado de esta división social aparecen diferentes ocupaciones entre las que se encuentran los encargados de desarrollar e imponer una ideología, como paradigma cultural al servicio del grupo dominante. El aparato estatal está entonces en el orden del día histórico para garantizar los intereses de esta clase y supuestamente regular las normas y relaciones en beneficio de la colectividad.

Con los estados surge una mecánica de la violencia en las relaciones intercomunitarias, basada en la solución del litigio mediante la confrontación bélica. La filosofía de la guerra, alentada por el botín como fuente de adquisición de riqueza, que en un momento determinado alcanza al propio hombre esclavizado, conduce al ciclo de vida de los imperios esclavistas: la expansión, el esplendor, la crisis de las contradicciones internas y, a la larga, la decadencia y desaparición.



*La memoria social atrapada en la escritura aparece soportada por diferentes materiales. La propia piedra, una tablilla, fueron los primeros materiales sobre los cuales el hombre inscribiría sus memorias. El papiro vendría a representar una revolución en los procedimientos para perpetuar una escritura. El papiro (*Scirpus lacustris*) crecía en extensas zonas pantanosas del Nilo, y de su caña fabricaban, por un ingenioso procedimiento que utilizaba el propio jugo del tallo como pegamento, los rollos del papiro.*

Gracias a los papiros que se conservan conocemos el nivel alcanzado por la ciencia y la técnica del Antiguo Egipto.

Las primeras grandes civilizaciones tenían ante sí diversos problemas de supervivencia que los sabios de la época debieron abordar y contribuir a resolver desde la luz que ofrece la teoría. Investidos generalmente de atributos religiosos, en las primitivas formas que adoptó la división

social del trabajo, sus conocimientos eran mantenidos y transmitidos en comunidades cerradas, como un instrumento más de poder.

Los conocimientos en el área de las transformaciones físico - químicas de las sustancias que constituyeron conquistas de las civilizaciones del mundo antiguo no estuvieron acompañadas de una reflexión teórica, sino más bien de una práctica iluminada por el ensayo-error y no pocas veces asistidas por la casualidad. Esto no niega la existencia de una práctica intencional dirigida a aprovechar todos los elementos naturales o sus modificaciones para bien de la comunidad.

Culturas asentadas en la Mesopotamia y el Asia Menor

Los primeros asentamientos humanos se establecieron en los valles de los grandes ríos. Mesopotamia, una de las cunas de la civilización, debe su nombre a su ubicación geográfica "entre dos ríos". En la llanura que se extiende entre el Tigris y el Eufrates, región fértil que ofrecía potencial capacidad para el desarrollo de la agricultura, surgió la civilización sumeria hacia el 3250 a.C., y con ella las primeras ciudades. Sumerios, asirios y babilonios fueron tres culturas que se sucedieron a lo largo de tres milenios, teniendo como escenario este territorio, y que sobresalieron por sus logros en el campo de la vida material y espiritual de sus ciudades.

La inauguración hace unos diez mil años de la cultura de la cerámica, supuso el dominio de la arcilla, mineral complejo formado por un silicato de aluminio que posee una cierta naturaleza plástica y que al secar o ser sometido a calentamiento endurece.

Al aprender el hombre a trabajar el barro, se inicia la producción de ladrillos y el desarrollo del arte alfarero, que coincide en ciertas civilizaciones con el desarrollo de la agricultura y la edificación de los primeros asentamientos humanos. La ciudad antigua de Jericó, una de las primeras comunidades agrícolas, muestra en su segundo nivel de ocupación, que data del milenio VIII a.C., un gran número de casas redondas de ladrillo de adobe.



Descubrimientos arqueológicos demuestran que fue la cultura sumeria, con su dominio del torno alfarero, la que produjo entre el año 3500 a.C. y el 3000 a.C. uno de los más revolucionarios inventos de la humanidad: la rueda. La rueda hizo aparecer una nueva generación de vehículos de transporte terrestre, modificó así la noción del tiempo y del espacio a recorrer por el hombre, amplió la escala del intercambio comercial, permitió la mejora de la cultura de la tierra y la práctica de la caza, facilitó el progreso de las construcciones y finalmente transfiguró el escenario bélico.

El suelo de Mesopotamia proporcionaba la arcilla que aprendieron a cocer sus artesanos para obtener la terracota con la que realizaron cerámica, esculturas y tablillas para la escritura. Sobre tales tablillas, los sumerios desarrollaron un sistema de escritura que se ha dado en llamar cuneiforme (por adoptar un sistema de símbolos en forma de cuñas).

También nos legan los sumerios, sobre doce tablillas o cantos de arcilla, el primer poema de la antigüedad, el Poema de Gilgamesh, escrito alrededor del año 2000 a.C. Este poema heroico recibe el nombre de su héroe, Gilgamesh, y narra la epopeya tejida por dos personajes que forjan una admirable amistad.

En materia de tecnología y construcciones se atribuye a la cultura sumeria: la invención de la fundición del bronce por el método de la cera perdida; la construcción de carretas y furgones; la fabricación de ladrillos empleados en la elevación de murallas defensivas en ciudades como Uruk (2800 a.C.); la erección de palacios como el de Sargón el Grande (2335-2279 a.C), el primer creador de un gran imperio que conquista toda Mesopotamia, parte de la actual Siria, Asia Menor, y buena parte del territorio que más tarde fuera Persia; el levantamiento de diques y la apertura de canales en evitación de las inundaciones (hacia el 2630 a.C.); la edificación de templos de adobe

decorados con fina metalurgia y una ornamentación de ladrillos vidriados como el gran zigurat de Ur erigido en el segundo milenio a.C. y dedicado a la deidad lunar de la religión sumeria; la utilización del alabastro y el trabajo con algunos metales como el oro, la plata y el cobre en la escultura.

En el primer período de la dinastía babilónica, uno de cuyos gobernantes fue el célebre Hammurabi (1790 a.C.), se desarrollan las aportaciones de los babilonios a la naciente Matemática. Como lo demuestra la existencia de una tablilla de arcilla datada entre los años 1900 y 1600 a.C. (llamada Pimton 322) los babilonios dominaban unas matemáticas más avanzadas que los egipcios. Sobresale en esta obra la revelación del método para obtener las raíces positivas de ecuaciones de segundo grado, y la compilación de una gran cantidad de tablas matemáticas que incluyeron las operaciones de multiplicación y división.

Los babilonios inventaron el sistema de numeración en base 60 que todavía está presente en nuestro sistema de medida del tiempo y de los ángulos. Tal sistema de numeración babilónico, venía representado por un sistema de cuñas. El número 1 se representó por una cuña sencilla y el número 10 por una especie de flecha. Así los números hasta el 59 eran simbolizados por un procedimiento aditivo, cinco flechas sucesivas y nueve cuñas. Pero el 60 mereció el mismo símbolo del uno. Se generó así el llamado sistema sexagesimal, que tiene como base el 60. La ventaja de este sistema radica en el hecho de que el 60 es divisible por 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 y 30, lo que elimina el frecuente trabajo con fracciones que causaba problemas para los antiguos. Implícitamente aún hoy lo seguimos utilizando ya que dividimos la hora en 60 minutos y este en 60 segundos; además el círculo tiene 360° (60×6).

1	∟	11	∟∟	21	∟∟∟	31	∟∟∟∟	41	∟∟∟∟∟	51	∟∟∟∟∟∟
2	∟∟	12	∟∟∟	22	∟∟∟∟	32	∟∟∟∟∟	42	∟∟∟∟∟∟	52	∟∟∟∟∟∟∟
3	∟∟∟	13	∟∟∟∟	23	∟∟∟∟∟	33	∟∟∟∟∟∟	43	∟∟∟∟∟∟∟	53	∟∟∟∟∟∟∟∟
4	∟∟∟∟	14	∟∟∟∟∟	24	∟∟∟∟∟∟	34	∟∟∟∟∟∟∟	44	∟∟∟∟∟∟∟∟	54	∟∟∟∟∟∟∟∟∟
5	∟∟∟∟∟	15	∟∟∟∟∟∟	25	∟∟∟∟∟∟∟	35	∟∟∟∟∟∟∟∟	45	∟∟∟∟∟∟∟∟∟	55	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟
6	∟∟∟∟∟∟	16	∟∟∟∟∟∟∟	26	∟∟∟∟∟∟∟∟	36	∟∟∟∟∟∟∟∟∟	46	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	56	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟
7	∟∟∟∟∟∟∟	17	∟∟∟∟∟∟∟∟	27	∟∟∟∟∟∟∟∟∟	37	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	47	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	57	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟
8	∟∟∟∟∟∟∟∟	18	∟∟∟∟∟∟∟∟∟	28	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	38	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	48	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	58	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟
9	∟∟∟∟∟∟∟∟∟	19	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	29	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	39	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	49	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟	59	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟
10	∟∟	20	∟∟∟∟	30	∟∟∟∟∟∟	40	∟∟∟∟∟∟∟∟	50	∟∟∟∟∟∟∟∟∟∟		

Los babilonios inventaron el sistema de numeración de base 60 que todavía esta presente en nuestro sistema de medida del tiempo y de los ángulos. Tal sistema de numeración babilónico, venía representado por un sistema de cuñas. El número 1 se representó por una cuña sencilla y el número 10 por una especie de flecha. Así los números hasta el 59 eran simbolizados por un procedimiento aditivo, cinco flechas sucesivas y nueve cuñas.

Este sistema sexagesimal, en opinión de los especialistas fue el resultado de la fusión cultural de dos pueblos, uno de los cuales usaba un sistema de numeración de base 5 (los dedos de las manos) y otro de base 12 (el número

total de falanges de los cuatro dedos de una mano, excepto el pulgar)

Los asirios, otra de las grandes culturas desarrolladas en Mesopotamia, fundaron su primer imperio en la parte media de la cuenca del Tigris entre 1800 - 1600 a.C. teniendo por capitales las grandes ciudades de Assur, Kalach y Nínive. Luego del dominio durante varios siglos del imperio de Mitani, reino del este del Eúfrates que tuvo su apogeo en los siglos XVI - XIV a.C., fueron liberadas sus ciudades y ampliado la extensión de sus territorios hacia el Mediterráneo hasta Tarso, y hacia la cuenca inferior del Eúfrates hasta Babilonia (1244 - 1208). Pero el gran esplendor de Asiria y sus notables hallazgos nos llegan con el resurgimiento del Nuevo Imperio (911 - 800 a.C.) que se extendió por todo el territorio de Mesopotamia hasta Siria y Palestina. En este período reina Assurnasirpal II (883 - 859 a. C.) que mandó a construir uno de los más suntuosos palacios de todo el Medio Oriente y se le atribuye haber sido el primero en incorporar la caballería como cuerpo militar.

Tras la dominación asiria hubo otra época de predominio político de los babilonios, el imperio neobabilónico (625 - 539 a.C.), a la cabeza del cual nos encontramos con Nabucodonosor II que extiende las fronteras hasta las costas del Mediterráneo. Bajo su imperio Babilonia se convierte en una de las legendarias ciudades del Mundo Antiguo. La famosa torre templo de Etemenanki, monumental estructura piramidal de siete plantas, restaurada por Nabucodonosor, fue acaso obra arquitectónica emblemática de todo este período de esplendor económico. Su primera destrucción se ha relacionado con la leyenda bíblica acerca de la Torre de Babel del Antiguo Testamento.



asegurado la vida de los imperios.

Asiria tuvo un momento de gran esplendor bajo la conducción del emperador, Asurbanipal (669 - 625 a.C.), protector de las ciencias y las artes. Al mismo tiempo que extiende las fronteras del imperio hasta las ciudades de Menfis y Tebas en el Egipto, funda la gran biblioteca de Nínive (680 a.C.); desarrolla novedosos sistemas de riego y construye las murallas (en la imagen) que en fin de cuentas no logran impedir que, ante la alianza de babilonios y medos (persas), caigan sus muros y desaparezca el imperio. La Historia demuestra que los muros nunca han



Una de las siete maravillas del mundo antiguo, los jardines colgantes de Babilonia, se cree que datan de la época de Nabucodonosor II. La leyenda afirma que fueron construidos por el Rey para consolar a su esposa meda Amitis quien extrañaba el verdor de su montañosa tierra natal. Estrabón (c 63 a.C.- 24 d.C.), célebre historiador y geógrafo griego los describe como una serie de terrazas ajirdanadas construidas sobre el nivel principal muy cerca del Eúfrates. Para su riego los babilonios empleaban bombas que sacaban el agua del Eúfrates y la elevaban hacia las terrazas.

Acompaña al brillo imperial el esplendor del arte babilónico dentro del cual sobresalen las obras en la cerámica vidriada que si bien comenzó a fabricarse 1500 años a.C., encuentra en este momento en la llamada Puerta de Istar (575 a.C.), construida por ladrillos vidriados, un exponente del nivel alcanzado por el artesano babilónico y da fe de la justeza del nombre que lleva la ciudad pues en Acadio, Babilonia significa "Puerta de Dios".

En el siglo V a.C., un siglo después de la invasión persa, cuando los griegos alcanzaban el brillo de la época de Pericles, los babilonios realizaban conquistas sobresalientes en el campo de la Astronomía. Comprobaron que los movimientos aparentes del Sol y la Luna de oeste a este alrededor del zodiaco no tienen una velocidad constante. La tarea de describir matemáticamente el carácter cíclico del movimiento de la Luna con su fase de velocidad creciente durante la primera mitad de su revolución y la reducción de la misma hasta el mínimo originario permitió a los astrónomos babilonios predecir la luna nueva y el día en que comenzaría el nuevo mes. Como consecuencia, conocían las posiciones de la Luna y del Sol todos los días del mes.

Las técnicas involucradas en el reconocimiento de los minerales, el proceso de reducción a metales y su fundición, la forja y el templado de los metales han tenido tal repercusión en el progreso social que los historiadores han periodizado etapas de desarrollo como Edad del Cobre, del Bronce y del Hierro. No obstante, el desarrollo desigual que experimentaron las civilizaciones antiguas, erigidas en distintos escenarios naturales, hace que el dominio de un material y el arte o técnica de elaboración de objetos con él aparezca en fechas bien distintas.

Precisamente la génesis de la metalurgia se presenta cuando los hombres aprendieron que un calentamiento energético de una mena azulada con fuego de leña, producía un nuevo material rojizo, resistente, y que poseía una propiedad no exhibida por la piedra, su carácter maleable. El cobre, elemento 25 en abundancia relativa en la corteza terrestre, puede encontrarse en estado nativo y se reduce de sus óxidos con relativa facilidad. Este material permitía la fabricación de instrumentos más efectivos y duraderos. Asistimos al inicio de la Edad del Cobre en dos regiones tan distantes como el Medio Oriente y la actual Serbia, unos 4 000 años a.C.

Sorprende que descubrimientos arqueológicos demuestren la entrada en escena de un nuevo material más duro que el cobre, unos 500 años antes del inicio de la Edad del Cobre. En el sudeste asiático, en la tierra de los Thai, debieron practicar la reducción de una mezcla de minerales que diera origen a la primera aleación trabajada por el hombre: el bronce. El bronce, una aleación constituida por cobre y estaño (y en menor proporción otros metales), es más duro y

resistente que cualquier otra aleación común, excepto el acero, y presenta un punto de fusión relativamente bajo.



Uno de los más interesantes bajorrelieves de la cultura hitita muestra a guerreros en marcha con la espada curva de hierro apoyada en el hombro derecho. Los hititas, pueblo que se instala en el Asia Menor durante siglos, debieron vencer las dificultades prácticas que supone aislar el hierro de sus óxidos minerales. Se necesita ahora el fuego del carbón vegetal y una buena ventilación.

Estos obstáculos fueron superados porque el dominio del hierro suponía herramientas y armas más fuertes y duraderas y además porque el hierro aventajaba al cobre en algo muy importante: los yacimientos de sus minerales eran más abundantes.

Los territorios del Asia Menor, que se extendían en la península de lo que hoy ocupa la Turquía asiática, sirvió de asentamiento de diversas culturas que conocieron del brillo y del declive. Hacia el 1900 a.C. se extendieron por estos dominios, los hititas. A ellos correspondió el mérito histórico de vencer las dificultades prácticas que supone aislar el hierro de sus óxidos minerales e inaugurar la edad del hierro.

El dominio del hierro trajo considerables ventajas: se lograban producir herramientas y armas más fuertes y duraderas, y además el hierro aventajaba al cobre en la abundancia de sus yacimientos. De cualquier forma, Europa no implanta la tecnología del hierro hasta el siglo VII a.C., en China se inicia un siglo después, y en el África subsahariana hacia el siglo V a. C.

Al desarrollar la técnica de la fundición de este metal, los hititas se convirtieron en poderosos guerreros que conquistaron toda la Anatolia central hasta el Mediterráneo creando un gran imperio que rivalizó con Egipto, Babilonia y Asiria. El esplendor de su imperio termina hacia el 1200 a.C. cuando son derrotados por las invasiones de los pueblos del mar.



La guerra de Troya narrada por Homero en la Iliada se desarrolló hacia el siglo XII a.C. y contó con la participación de los micénicos gobernados por el legendario Agamenón. La máscara de Agamenón representa una joya de la cultura del bronce, perteneciente a la civilización egea. El dominio de un material por una sociedad en cada época ha encontrado reflejo en actividades tan contradictorias como las manifestaciones del supremo arte y el "arte" militar.

Se admite que las armas de bronce de la cultura micénica no pudieron resistir el empuje de los dorios a los cuales llegó el secreto de los hititas, asentados a unos 1 200 km al este de Grecia. Esto selló el fin de la Edad Micénica. , y así fueron reducidas e incendiadas las ciudades del Peloponeso, Esparta, Meneas, Tirinto y Argos hacia el siglo XII a. C.



La maleabilidad del oro es aprovechada acaso de manera insuperable por los orfebres de la civilización minoica. Los vasos de Vafió encontrados en la cercanía de Esparta y fabricados unos 3500 años atrás, con las típicas escenas taurinas de esta cultura son un exponente relevante de esta civilización.

El apogeo del imperio lidio en el Asia Menor transcurre hacia el siglo VII a.C. Su famosa capital de Sardes es tomada por el rey persa Ciro II el Grande en el 546 a.C. con lo cual anexiona sus dominios y riquezas al pujante imperio persa. El territorio que ocupa Lidia poseía vastos yacimientos de oro y plata y según los griegos, fueron los lidios los primeros en acuñar monedas. Siglos más tarde, la Roma imperial estableció el monopolio estatal en la acuñación de monedas para darle un valor de cambio único en todo el mundo romano.

La arqueología ha demostrado que durante un largo período histórico, desde el 3000 hasta el 1200 a.C., perteneciente a la llamada Edad del Bronce se desarrollaron dos culturas, la minoica, que tuvo como centro la isla de Creta y la micénica que hacia el 1450 a.C. pasó a convertirse en el eje de la civilización del Egeo.

Progresos del Mundo Egipcio

A los pies de otro gran río, el Nilo, creció una de las culturas más brillantes de la Antigüedad. Se distinguen tres imperios en un período histórico que abarca unos 18 siglos desde la primera dinastía fundada hacia el 3 000 a.C. que los historiadores han llamado el Antiguo Egipto, el Imperio Medio y el Nuevo Imperio cada uno con una vida de aproximadamente cinco siglos, y un total de unas treinta dinastías. Egipto se destacó especialmente por su esplendor cultural a partir de la III dinastía, radicada en Menfis.

Tras su conquista y conversión en provincia asiria por el Rey Assurbanipal (669 – 627 a.C.) hacia el 650 a. C. jamás volvería Egipto a recobrar su grandeza. En el año 525 a.C. Darío I (c. 558- 486 a.C.) lo sometió al imperio persa. El macedonio Alejandro Magno (356 – 323 a.C.) lo conquistó en el año 332 a.C. y a su muerte, Egipto fue regido por una dinastía de griegos hasta el 30 a.C. en que fue anexionado por Roma.

En su larga existencia, la cultura egipcia legó a la humanidad un sinnúmero de inventos y descubrimientos que trascenderían a su época y aun hoy resulten sorprendentes sus avances en la Astronomía, Geometría, Arquitectura, e incluso el origen de la Química.

Paradójicamente, ciertos ritos y creencias sobrenaturales, reflejos de diversas enajenaciones terrenales y del misterio de la muerte, impulsaron el desarrollo del conocimiento en diferentes áreas. Las colosales pirámides egipcias, una de las maravillas del mundo antiguo, comenzadas a construirse hace más de 2 500 años a.C. indican la necesidad del dominio de un saber matemático que según se recoge en el papiro de Rhind, escrito unos 3 600 años atrás, llegó a abarcar desde mediciones de superficies y volúmenes hasta las reglas para cálculos aritméticos con fracciones, el cálculo de áreas, y la resolución de ecuaciones simples de primer grado. Se afirma que los egipcios debieron dominar el llamado teorema de Pitágoras para el trazado de líneas perpendiculares.



En la construcción de las colosales pirámides y en el propósito de vida eterna para sus moradores se integrarían los saberes y habilidades egipcios desde la Geometría, la Astronomía hasta las prácticas de la Khemeia. Imhotep constructor de la primera pirámide egipcia, de carácter escalonado, unos 2700 años a.C., se considera también el primer médico y un precursor de la khemeia egipcia.

En su afán de momificar los cadáveres, los egipcios desarrollaron métodos de conservación que exigió el estudio de las sustancias con propiedades balsámicas y antisépticas. Sus resultados sorprendieron milenios después al

mundo occidental.

Se ha podido establecer que la antigua sociedad egipcia en su división social del trabajo separó al médico del sacerdote y al hacerlo ponía en manos del médico el desarrollo de las terapias terrenales para la salvación del cuerpo, mediante el análisis empírico-racional de las enfermedades y su tratamiento. Algunos elementos de la farmacopea como el desarrollo de los laxantes y el conocido empleo que le dieron al ácido tánico en el tratamiento de las quemaduras llegan hasta nuestros días.

Cuando recordamos que tanto Babilonia como Egipto crecieron en los valles de grandes ríos y que el éxito en la programación de plantaciones y colectas de sus productos agrícolas constituía una necesidad social básica, comprendemos mejor que los hombres encargados de la reflexión

especulativa (originalmente mística pero preteórica en fin) pronto asociaran ambos problemas con el estado de la cúpula celeste y del movimiento de los astros sobre sus cabezas.

No constituye pues mera veleidad del pensar los esfuerzos por penetrar en la descripción primitiva de mapas estelares, registrar el movimiento de los astros, construir el concepto del tiempo. Ello no significa que los hombres que debieron abordar estos aspectos, luego de emprendida la empresa, tuvieran conciencia plena de la necesidad social a la cual respondía el trabajo que desplegaban. No es difícil imaginar que inmersos en la tarea por resolver, el pensamiento reflexivo de los sabios volara en una u otra dirección sin aparente conexión con necesidades inmediatas, y a menudo rodeado por una aureola mística.

El año nuevo egipcio se celebraba cuando Sirio, la estrella más brillante del cielo, aparecía en el horizonte por el oriente, un momento antes de la aurora. Sirio indicaba que la primavera había terminado y que muy pronto se produciría la anhelada inundación de tierras por la crecida de las aguas del Nilo. Posteriormente, a fin de ajustar el año lunar con la aparición de Sirio en el horizonte, los astrónomos agregaron cinco días a cada año. Asimismo propusieron, sin éxito, la adición de un día cada cuatro años para que el año concordara aún más con el ciclo solar.

Por esta época, hacia el 400 a.C. los babilonios comprobaron que los movimientos aparentes del Sol y la Luna de oeste a este alrededor del zodiaco no tienen una velocidad constante. La tarea de describir matemáticamente el carácter cíclico del movimiento de la Luna con su fase de velocidad creciente durante la primera mitad de su revolución y la reducción de la misma hasta el mínimo originario permitió a los astrónomos babilonios predecir la luna nueva y el día en que comenzaría el nuevo mes. Como consecuencia, conocían las posiciones de la Luna y del Sol todos los días del mes.



La Gran Pirámide de Giza es la más vieja y la única "maravilla" que ha desafiado el paso del tiempo y llegado hasta nosotros. Fue levantada en 2560 a.C. por el Faraón del Antiguo Egipto Keops. Es parte de un complejo de tres pirámides. De acuerdo con Herodoto su edificación se extendió durante 20 años y en ella participaron más de cien mil trabajadores. Esta es la más grande de las maravillas con 138 metros de altura.

Originalmente tenía 147 metros pero ha perdido nueve metros debido a la erosión y a la pérdida de la capa de caliza. La Gran Pirámide tiene algo más de 2,3 millones de bloques de piedra caliza, con un peso medio cada uno de 2,5 toneladas. Hasta el siglo XIX fue la más alta edificación hecha por el hombre sobre la tierra, y para superarla fue necesario dominar las técnicas de construcción en hierro forjado aplicadas en la monumental Torre parisina de Eiffel.

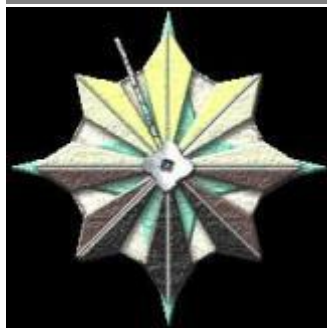
El calendario solar egipcio de 365 días, una de las aportaciones fundamentales de esta civilización nació de las observaciones al pie del Nilo cuando determinaron las estaciones del año a partir de los cambios que mostraba el río con el paso del tiempo.

Sus tres estaciones: la "inundación" o época de la crecida, que duraba aproximadamente tres meses; la "aparición de los campos al retirarse el agua", con su duración de cinco meses; y la "sequía", con sus cuatro meses, para volver a repetirse el ciclo, indicaba la periodicidad buscada. Este calendario, que era bastante certero, se usó desde el tercer milenio a. C. y tuvo una finalidad práctica: el control de los ciclos agrícolas. Además, partiendo de la observación de la Luna, los egipcios dividieron su año en 12 meses, con 30 días cada uno.

En la dirección de la conquista de los materiales, los egipcios no sólo conocieron y trabajaron los metales más importantes de cada época: el oro, la plata, el cobre, el hierro, el plomo y otros, sino que aprendieron a preparar pigmentos naturales, jugos e infusiones vegetales, tinturas y colorantes. El algodón egipcio (*Gossypium hirsutum*), creció en el valle del Nilo, y sus rendimientos propiciaron el inicial desarrollo del telar en el 2500 a.C. unos 4400 años antes del

telar mecánico de Arkwright. Sus telas teñidas resultaron especialmente apreciadas y ello propició, el desarrollo de tintes y colorantes.

Hacia el 3 500 a.C., los egipcios que disponían de minas de cobre en el desierto oriental entre el Nilo y el Mar Rojo, fabricaban el bronce según lo demuestran hallazgos encontrados en la tumba del faraón Itetis. Resulta de interés apuntar que a partir de la IV dinastía egipcia iniciada con el Faraón Snefru, es decir hace unos 4 900 años, la extracción de minerales valiosos y la fabricación de metales fueron operaciones encargadas a los más altos oficiales egipcios. El monopolio imperial de estas actividades revela la importancia que le concedía el estado al dominio y secreto de las prácticas metalúrgicas. Cabe conjeturar dada la alianza entre la familia real y la clase sacerdotal que fueran los laboratorios de sacerdotes dónde se guardaran tales prácticas.



En el campo de la medición del tiempo, los primeros instrumentos que persiguen cumplir este propósito son atribuidos a los egipcios. En verdad se reportan fechas de invención muy dispares para el reloj solar y la clepsidra. Las versiones más coincidentes sitúan la fabricación de estos artefactos en el inicio del Nuevo Imperio hacia el 1 500 a.C., es decir unos treinta siglos antes de que aparecieran los relojes mecánicos en el siglo de Newton.



La fermentación constituye el proceso biotecnológico que primero dominó el hombre. En particular la fermentación alcohólica se reconoce por la mención que se hace en unas tablas de arcilla escritas en lenguaje sumerio sobre la preparación de una bebida estimulante que llaman siraku y cuya antigüedad se remonta a unos 4.000 años. Los egipcios, recogiendo los métodos sumerios, elaboran una cerveza que bautizan con el nombre de "zythum", descubren la malta y añaden azafrán, miel, jengibre y comino con el propósito de proporcionarle aroma y color. La industria del alcohol para bien y para mal se abriría paso en la historia del hombre.

Avances de la Sociedad China

China es uno de los países del mundo con más antiguo desarrollo económico. Hace cinco o seis mil años, la gente que vivía en la cuenca del río Amarillo ya se dedicaba a la agricultura y a la cría de ganado. Hacia el siglo XXI a.C., aparece la primera dinastía China, la Xia, con su peculiar forma de sociedad esclavista, terminando así el largo período de sociedad primitiva. Las siguientes dinastías Shang (siglo XVII-XI a.C. aprox.) y Zhou del Oeste (siglo XI-770 a.C. aprox.), representan momentos del desarrollo de las relaciones de producción esclavista. Los sucesivos Período de la Primavera y del Otoño (770 - 476 a.C.) y el Período de los Reinos Combatientes (475 - 221 a.C.) son considerados como etapas de transición hacia formas de producción feudales.

Hace más de 3.500 años, al inicio de la dinastía Shang, ya se conocía la técnica de fundir el bronce, utilizaban instrumentos de hierro, y producían utensilios de alfarería blanca y esmaltada. La producción de seda y su tejeduría también estaban bastante desarrolladas en esa época.

En el Período de Primavera y Otoño (770 - 476 a.C.), apareció la técnica de producción artesanal de acero. En el Período de los Reinos Combatientes (475 - 221 a.C.) la famosa obra hidráulica de Dujiangyan fue construida en las cercanías de la actual ciudad suroccidental de Chengdu, y ha venido desempeñando, durante más de dos mil años, un papel importante en el regadío, desviación de inundaciones y la evacuación de arena.

En el año 221 a.C. Qin Shi Huang, primer emperador chino, puso fin a las posesiones de feudos por los dignatarios del Período de los Reinos Combatientes, y fundó un estado feudal, pluriétnico unificado, y de poder centralizado. El primer emperador unificó las letras, la unidad de medida y la moneda.

Qin Shi Guang ordenó construir la Gran Muralla China, la obra más extensa construida por el hombre. El objetivo era defender su país contra las invasiones de los mongoles. Se afirma que casi medio millón de trabajadores participaron en la construcción de esta muralla que empieza en el mar y continúa durante 2 450 kilómetros, atravesando valles y montañas, torrentes y ríos.



Al tiempo que se desarrollan las primeras escuelas de la filosofía griega, en Egipto, 500 años a.C., era empleado el ábaco en el cálculo numérico. Pero existen referencias de que la historia del ábaco, se remonta unos 3 000 años atrás a la China, en el período de la dinastía esclavista de Zhou. El ábaco es considerado como el primer instrumento de cálculo realmente importante, ya que brinda la posibilidad de realizar multiplicaciones y divisiones o el trabajo en distintas bases. Aún antes, hacia el 1500 a.C. en el marco de la necesidad de cuantificar las variables que determinó la adopción en cada cultura de su propio sistema de numeración, en China se conoció el sistema binario o en base dos. Este tiene la ventaja de utilizar solo dos símbolos: uno (1) y cero (0)

La invención del papel es una de las grandes aportaciones de los chinos a la cultura universal. Aunque se registran enormes discrepancias en la fecha en que aparece aplicada esta invención lo cierto es que la técnica de producción del papel a partir de celulosa fue dominada por los chinos casi mil años antes de ser introducida en Europa por los árabes a través de España (1150). Existen fuentes que admiten como restos del papel chino más antiguo el hallazgo arqueológico encontrado en el pueblo de Lou - Lan en el Turquestán chino, de fecha cercana al siglo II, otras lo sitúan tres siglos antes durante la dinastía de los Han de Occidente.

La impresión de dibujos e imágenes en tejidos en la China precedió en más de un siglo a la técnica de impresión de textos. La invención del papel constituyó un importante antecedente para el asalto a esta técnica. El papiro, una verdadera revolución en su época, era demasiado frágil como superficie de impresión y el pergamino, que sustituiría poco a poco al papiro empleado por griegos y romanos hasta el siglo IV d.C. resultaba un material caro y de difícil producción masiva (se obtenía por un tratamiento de la piel de ovejas, terneros o cabras, con cal y posterior largo proceso con polvo de piedra pómez para devastarla convenientemente). El papel por su parte es bastante resistente y económico, se obtenía inicialmente de la corteza del árbol llamado morera. Se ha señalado como otro factor que empujara la invención de la imprenta de tipos móviles por los chinos, la difusión de la religión budista por sus extensos dominios que arribó al Asia Central en el siglo I d.C, siguiendo las rutas del comercio y que a pesar de las persecuciones que sufrieron sus adeptos se fue consolidando y adaptando a las costumbres de este inmenso país. En verdad es práctica de toda religión la reproducción de copias de sus textos sagrados y de sus oraciones.

La navegación marina tuvo también en un invento chino, la brújula, importante condicionante para su desarrollo. Dos tipos de sustancias: la resina fósil conocida como ámbar y la magnetita demostraron que las fuerzas de acción a distancia no sólo se observaba en la naturaleza en la caída de los objetos hacia la tierra.

A China debe el mundo en materia de medicina tradicional el desarrollo como terapia alternativa, mucho antes de la fabricación de agujas imantadas, de la técnica conocida como acupuntura, consistente en la penetración de agujas en determinados puntos del cuerpo humano, para el tratamiento de enfermedades reumáticas y otras dolencias; del masaje para la armonía del cuerpo.



Más de 1500 años antes de que Europa conociera de los trabajos en terracota de la Florencia de los Médicis, la cultura del entonces naciente imperio feudal chino de la dinastía C'hin legaría a la humanidad lo que hoy comienza a considerarse por algunos como la octava maravilla del mundo antiguo. Más de seis mil figuras de guerreros de rostros irrepetibles, carruajes y caballos de tamaño natural fueron construidas por artesanos en el complejo funerario erigido al emperador que unificara los feudos chinos e iniciara la construcción de esa otra maravilla que es la Muralla.

El trabajo con altas temperaturas de fraguado, con pigmentos naturales que recubren las figuras, y con extrañas aleaciones que aún hoy conservan increíblemente su filo, es muestra del magnífico matrimonio de arte, técnica y conocimiento de las propiedades de las sustancias...



Fueron los chinos, los primeros que, con mayor sentido práctico que los griegos, intentaron describir, explicar y aplicar la acción del imán. En el diccionario "Sho-veñ" elaborado cerca del año 120 por el sabio Jiu Chin, se define la palabra tseu (imán) como nombre "de una piedra por medio de la cual se da orientación a una aguja". Otras denominaciones chinas llaman al imán "piedra que orienta. Por lo visto, los chinos empezaron a usar la brújula desde tiempos remotos, primero para orientarse en las expediciones por tierra y para el trazado de planos en los terrenos de construcción, sólo después en la navegación marina.



Ts'ai Lun es el personaje chino al que se atribuye la fabricación masiva del papel. En el 105 a. C. Lun estaba al frente de los suministros de la Casa Real. Desde este puesto se dio a la tarea de organizar la producción del papel a gran escala. China en ese tiempo era ya una sociedad burocrática que requería documentos en abundancia para llevar sus registros por escrito. Se iniciaban las bases para el desarrollo de un material más ligero, fácil de almacenar y transportar que las tablillas de madera, los papiros, los pergaminos o las telas de seda.

Logros de las Culturas Precolombinas

Las culturas precolombinas se desarrollaron según tres períodos históricos: el período formativo o preclásico que presenta sus contornos difusos desde el 1500 a.C. hasta el 250 d.C., el período clásico entre el 250 – 900 de la era cristiana, y el postclásico desde el 900 – 1500, cuando se produce el encontronazo cultural que significó la conquista europea.

Dos áreas geográficas representaron las civilizaciones de mayor desarrollo: Mesoamérica y el área andina. En las páginas que siguen apenas rozaremos los logros más significativos de dos culturas del período formativo: la cultura olmeca y maya en Mesoamérica, y la cultura paracas del área andina. Más adelante, cuando abordemos el medioevo y renacimiento, nos detendremos en los avances de las culturas mayas, aztecas y andinas en los períodos clásico y postclásico.

La cultura más antigua de la Mesoamérica precolombina fue la olmeca cuyo período de mayor florecimiento se desarrolla entre el 1200 – 900 a.C. Llama la atención que el propio término olmeca signifique "la gente del país del hule o del caucho", lo que supone que estos dominaran la técnica de recolección del látex de las plantaciones y su posterior aplicación en diversos fines. Esto ocurría siglos antes de que llegara a la Francia del siglo XVIII, desde las selvas Amazónicas, los rollos del caucho que casi un siglo después el inventor y químico escocés Charles Macintosh (1766-1843), lograra emplearlo en la manufactura de tejidos impermeables.

La civilización maya, uno de los imperios más poderosos de Mesoamérica, llegó a ocupar un territorio equivalente a tres veces la superficie del archipiélago cubano, extendiéndose desde la

península de Yucatán por las tierras bajas de México, Belice y Guatemala hasta Honduras. El período formativo o preclásico de esta cultura se fija entre 2000 a.C. hasta 250 d.C.

La dimensión cultural alcanzada por la civilización maya se evidencia en su elaborado sistema de escritura jeroglífica, su impresionante capacidad arquitectónica y el notable desarrollo científico y artístico que alcanzaron. Los conocimientos mayas en el campo de las matemáticas y la astronomía constituyen ejemplos elocuentes del talento creativo de este pueblo.

El logro más importante del sistema de numeración maya es la utilización del cero matemático. A diferencia del sistema que Occidente adoptó basado en las diez cifras que nosotros usamos, los números mayas eran sólo tres, el punto con el valor de una unidad, la barra horizontal para representar el cinco y el cero que se representa con una concha o caracol o una flor calendárica, símbolo del calendario sagrado, emblema de la eternidad, del tiempo y de la regularidad cósmica.

Según los estudios realizados en las escrituras de los monumentos y estelas que han quedado de la devastación realizada a partir del siglo XVI por la conquista europea, la antigüedad de este sistema se remonta al año 35 a.C., es decir, 911 años más antigua que la más antigua inscripción encontrada en la India que contenga el cero matemático, que corresponde al año 876 d.C.; en 639 años antecede a la más antigua de las encontradas en Cambodia con esa misma característica.



Recientes investigaciones arqueológicas fechan entre el 1400 y el 1250 a.C. la construcción de escenarios para la práctica del tlachtli, la pelota de los pueblos mesoamericanos precolombinos. El terreno de juego consistía en una superficie en forma de I mayúscula, limitada por muros verticales y en cuyo centro se situaba un anillo de piedra. La pelota, una bola maciza de caucho, se fabricaba a partir del látex de diferentes especies vegetales, tenía un diámetro de unos 12 cm y se producía de forma masiva.

Las reglamentaciones establecían el golpe de la bola no con bate sino con el área del cuerpo por encima de la rodilla hasta las caderas. Los jugadores usaban protectores para los genitales, y las zonas de contacto con la pelota. Una analogía con el jonrón acaso se presentaba con el punteo obtenido cuando se lograba rebotar la pelota por encima de los muros laterales, aunque el máximo gol se alcanzaba cuando se lograba introducir la pelota por el anillo central del terreno que representaba la victoria y el fin del juego. El contenido religioso del espectáculo deportivo fue apreciado por la Inquisición como un paganismo incompatible con la evangelización cristiana y en consecuencia le fue aplicado el bando de la prohibición. En enero de 2006 arqueólogos mexicanos anunciaron el hallazgo de un campo para disputar el juego de pelota de 25 siglos de antigüedad, en una zona cercana a Mérida, capital del estado de Yucatán.

Tanto en el sistema decimal como en el vigesimal el cero es necesario para que funcione la estructura posicional. Sólo que la representación del cero matemático tal y como aparece en la escritura asiática (representada con un punto) asombra por su simplicidad, y la del sistema mesoamericano en forma de concha o de flor, expresa una madurez y una implicación cosmológica y filosófica que asombra por la belleza de su diseño.

El uso del cero en estas culturas, es sin dudas un prodigioso logro en el pensamiento, pues muchas culturas de la antigüedad no lo conocieron y la misma Europa lo conoció a través de los árabes, de modo que la numeración posicional y el uso del cero que ella conlleva, sólo fue conocida por el mundo occidental a partir del siglo X, y su propagación fue muy lenta debido al uso del sistema de numeración romana, llegando a generalizarse solo a partir del siglo XVI.

Además de la notación de barras y puntos, los números tienen una expresión jeroglífica en forma de caras. En el caso del cero la cara que se usa para expresarla con frecuencia lleva una mano cruzada bajo la mandíbula, a la que se atribuye un significado de muerte o término, por eso se ha insistido por algunos autores en el significado de fin de una cuenta que el cero tiene en las inscripciones calendáricas.

El calendario solar maya o haab (de 365 días), una de las conquistas más brillantes de esta cultura se remonta probablemente al siglo I a.C. Asentado sobre un sistema vigesimal constaba normalmente de cinco períodos, que se correspondían con las divisiones de tiempo relativas a día, mes, año y ciclos superiores de veinte y cuatrocientos años civiles que se elevaban a períodos progresivos de veinte en veinte, de la siguiente forma: el Kin, representaba el día; el Uinal comprendía 20 kines; el Tun incluía 18 Uinales, es decir 360 días; el Katun abarcaba 20 Tunes, 7200 días; y el Baktun a su vez 20 Katunes, 144 000 días.

La progresión perfecta se veía interrumpida por la segunda potencia del veinte, ya que el año no consta de 400 días, por ello, se vieron obligados a introducir el número 360 como valor del año vigesimal. Los dieciocho meses de veinte días dan el año vigesimal (tun) de 360 días. Los cinco días que completan la duración del año solar para dar los 365, eran considerados días aciagos, días sin nombre, se denominaban Uayeb, fin o muerte del año.



El sitio arqueológico de la Venta (1100 – 900 a.C.), uno de los más antiguos de México, muestra la habilidad alcanzada por los artistas olmecas en el labrado de la roca volcánica basáltica para esculpir las enormes obras líticas conocidas como las cabezas olmecas, que llegan a alcanzar los 3 metros de altura por tres de diámetro y hasta 65 toneladas de peso. El traslado de estas rocas desde canteras distantes supone el dominio de mecanismos de tracción, cuerdas firmes, rodillos de madera y palancas, sin haber aprendido a fabricar útiles de hierro.

El mes de 20 días es una invención vigesimal de gran originalidad y, cada uno de ellos, así como cada uno de los días del mes recibe un nombre de acuerdo a su dios patrono o idea que se relaciona con ellos. Lo mismo sucede con cada uno de los 18 meses del año. En la tabla de abajo se relacionan los nombres de los días (fila superior) y de los meses mayas.

Imix	Ik	Akbal	Kan	Chichán	Cimi	Manik	Lamat	Mulue	Oc	Chuen	Eb	Ben	Ix	Men	Cib	Caban	Eznab	Cauac	Ahau
Pop	Uo	Zip	Zotz	Zec	Xul	Yaxkin	Mol	Chen	Yax	Zac	Ceh	Mac	Kankin	Muan	Pax	Kayab	Cumhu		

El sistema vigesimal maya queda perfectamente representado por la cuenta larga o serie inicial, método para fijar fechas a lo largo de la corriente del tiempo, a partir de un día base con el que se inicia la era, a esta podríamos llamarla fecha cero.

El problema de correlacionar las fechas del Calendario maya con el nuestro, que surgió tan pronto se comenzó a descifrar la cuenta larga, es un problema complejo en el que entran a jugar factores tanto de computación calendárica como astronómica. Los investigadores para descifrar la correspondencia entre las fechas mayas y las del calendario gregoriano contaron con el registro en el calendario maya de acontecimientos históricos ocurridos en Yucatán durante el período de la conquista.

Así pudieron determinar que la fecha inicial del calendario maya fue fijada como el 7 de septiembre de 3113 a.C. Todos los cálculos y dataciones inscriptas en estelas, altares, tablero y códices mayas parten de esta fecha cero.

A miles de kilómetros de Mesoamérica, contemporánea con la cultura olmeca, se desarrolla entre 1200 a.C. y el 200 a.C., en una extensa zona de la costa y la Sierra peruana la cultura matriz de la civilización andina: el movimiento unificador Chavín. Es curioso advertir que en la iconografía religiosa de ambas culturas aparece ocupando una posición especial la figura felina.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

A diferencia del sistema que Occidente adoptó basado en las diez cifras que nosotros usamos, los números mayas eran sólo tres, el punto con el valor de una unidad, la barra horizontal para

representar el cinco y el cero que se representa con una concha o caracol o una flor calendárica, símbolo del calendario sagrado, emblema de la eternidad, del tiempo y de la regularidad cósmica. La representación del cero matemático tal y como aparece en la escritura asiática (representada con un punto) asombra por su simplicidad, mientras que el cero maya sorprende por la belleza de su diseño al tiempo que conmueve por la implicación cosmológica y filosófica que le es dada.



Desde épocas tan tempranas como el 600 a.C comenzó a erigirse la ciudad maya de Tikal, que con el paso del tiempo llegaría a convertirse en la ciudad dominante del período clásico (300 – 900 a.C.). Centro ceremonial, religioso, político y comercial tiene inscrita en su estela 29 una de las primeras dataciones conservadas, 8.12.14.8.15 13 Men 3 Zec, que se lee como 18 Baktunes, 12 Katunes, 14 tunes, 8 Uinales, 15 Kines, es decir 1 243 615 días o 3 405,289 años, lo que significa -3 113 (fecha 0 = 3113 a.C.) + 3 405,289 = 292,289 d.C. Es decir la inscripción se produce en el 292 d.C., y de acuerdo con la fracción, un 14 de marzo.

El nombre que recibe esta cultura se debe a que uno de sus grandes centros ceremoniales, cuyas ruinas constituyen los monumentos arqueológicos más importantes del Perú, fue levantado en el territorio que hoy ocupa la población Chavín de Huantar, situada a 3117 m. sobre el nivel del mar, a 300 km al norte de Lima. El centro ceremonial en “U” de Chavín de Huantar es un conjunto de edificios piramidales con galerías en su interior; plazas hundidas flanqueadas por estructuras menores que se proyectan de las construcciones nucleares o templos; terrazas de distintos niveles que van unidas por monumentales graderías líticas; portadas y escalinatas que fueron hechos como parte de dos grandes proyectos, cada uno con sus modificaciones y ampliaciones respectivas, que se habrían ejecutado entre el 1.200 a.C. y 200 a 300 a.C

La cultura Chavín trabajó el oro, la plata, el cobre y posiblemente algunas aleaciones. Para fundir los metales debieron emplear hornos de arcilla y carbón vegetal; las técnicas empleadas fueron: la cera perdida, el labrado, el repujado y la incisión. Los objetos metálicos hallados actualmente son herramientas, adornos corporales, objetos rituales y armas.



Las vasijas de la cerámica paracas caverna presentan forma globular, con doble pico y asa puente. A veces, como en la imagen, uno de los picos aparece sustituido por una cabeza zoomorfa o antropomorfa. Esta cerámica inicia la tradición de policromía exhibida por la cerámica del Perú precolombino. A pesar del dominio de la pintura policroma (rojo profundo, amarillo oscuro predominante y verde oliváceo o azulado) los colores son poco brillantes porque se trata de una pintura a base de pigmentos mezclados con resina vegetal que se aplicaba tras la cocción. Con el tiempo los colores se perdían porque no estaban fijados por el calor del horno.



El arte de la momificación es uno de los aspectos culturales paraquenses, que se desarrolla especialmente durante la fase Paracas Necrópolis. El fardo funerario es el paquete, de forma cónica, en el que se halla envuelto el cadáver con objeto de su inhumación. Los cadáveres antes de ser enfardelados pasaban por un proceso de momificación que recuerda al egipcio. Luego del vaciamiento de órganos y vísceras, el cuerpo era rociado con distintas sustancias químicas y expuesto al fuego o los rayos de sol. A continuación la momia era entonces depositada desnuda en una canasta, envuelta primeramente con telas

rústicas de algodón y después con una serie de mantos bordados. Finalmente todo el conjunto era protegido por una capa larga de hasta 20 m. de largo...

En una inhóspita zona de la costa sur peruana se desarrolló una cultura que recibió el nombre del vendaval de arena que asola esta región desértica como resultado del viento marino que durante varios meses la castiga: el Paracas. En realidad dos movimientos culturales se sucedieron en la región durante casi un milenio: la cultura Paracas Caverna (700 a.C. - 200 a.C) y la Paracas

Necrópolis (200 a.C. – 200 d.C.). Las diferencias encontradas en los hallazgos arqueológicos en la forma y contenido de las sepulturas fundamentan la clasificación propuesta por los expertos. En común, se advierte la aplicación de técnicas de trepanación y la deformación artificial del cráneo en sus cadáveres momificados. En el capítulo de las diferencias aparecen sus tumbas características, los fardos funerarios presentes en la cultura necrópolis, y las particularidades de sus mantos y objetos artesanales de cerámica.

Gracias a su clima seco, enterrados en tumbas comunitarias del desierto, se han burlado del paso del tiempo excelentes tejidos que tienen una antigüedad de 2.500 años. Las fibras del algodón o de la lana de la llama sirvieron para tejer vestidos que presentaban diseños e imágenes que se incorporaban al tejerlas o se pintaban o bordaban posteriormente. La cultura de Paracas se destaca también por sus excelentes cerámicas que ponen en evidencia una sociedad compleja, con división en las actividades y en el trabajo.



La “Ciudad de los Dioses”, Tiabuanaco, representa la ciudad levantada a mayor altura, a unos 3,8 km del nivel del mar, de todo el mundo antiguo. Localizada en los Andes, a orillas del lago Titicaca en territorio de la actual Bolivia, la antigua ciudad preincaica, representó un populoso centro urbano sustentado por un sofisticado sistema de agricultura en terrazas, bien adaptado para producir grano a gran altitud.

En la imagen, la Puerta del Sol, monolito de tres metros de altura por cuatro de ancho decorado con relieves de espléndida ejecución. La más grande construcción de la ciudad es el Acapana, vestigio de una pirámide con terrazas de 15 metros de altura y 152 metros por cada lado. Las pirámides precolombinas a diferencia de las egipcias no tuvieron fines funerarios sino que se dedicaban a las divinidades de sus religiones politeístas.



A unos 45 km de la actual ciudad de México se levantó entre los siglos II y I a.C. la ciudad más antigua de América, la ciudad estado de Teotihuacan. Luego de cuatro siglos se había convertido en una imponente ciudad que llegaría a ser el principal núcleo de poder centralizado en el interior del valle de México. Se extendía sobre una superficie de más de 20 km² y llegó a contar con una población de más de 125 mil habitantes. Las técnicas constructivas aplicadas en sus edificaciones se difundieron por el área de Centroamérica.

Los propios yacimientos de rocas volcánicas del valle ofrecían la materia prima esencial que triturada y mezclada con tierra y cal producían una especie de hormigón utilizada en las cimentaciones.

Conviene recordar que el Madrid del siglo XVII, casi mil años después, apenas superaba los ochenta mil habitantes.

Los conocimientos del Mundo Antiguo por lo visto eran recibidos y transmitidos por artesanos y técnicos mediante la tradición, pero ignoramos las reflexiones que acompañaban a sus prácticas de instrucción. Esto significa que si entendemos la ciencia no sólo como el saber hacer (arte y técnica), sino además como el conocer y poder explicar las razones por las cuales se hace así y no de otra manera, debemos admitir que ella comienza cuando ya la técnica en la cual se apoya y a la cual soporta, hace mucho tiempo ha sido establecida.

El momento en que puede considerarse se inicia la evolución de un pensamiento teórico precientífico data del siglo VI a.C. y tiene como escenario “clásico”, en la Historia de la cultura occidental, la sociedad esclavista de la Grecia Antigua. La definición de este momento se avala por ser entonces cuando se inicia una reflexión teórica, metódica y productiva sobre la naturaleza. Es significativo que en la base de los sistemas filosóficos aparecidos por entonces en muy distantes escenarios culturales, con Confucio y Lao Tse en China; Buda, en la India; y Zoroastro en Persia; se aprecian ideas generales que evidencian una cierta unidad en la concepción del mundo de los pueblos de aquella época. De cualquier modo, se hace obligado la referencia específica al mundo greco- romano en el cual se alcanza la expresión más completa de la doctrina acerca de la sustancia y sus componentes.

De Aristóteles al Renacimiento

FÍSICA 2º Bachillerato

La escuela jónica y los pitagóricos. La filosofía ateniense. Progresos durante el florecimiento de Alejandría. Capacidad creativa en las construcciones romanas. Contexto medieval europeo y escolástica. Florecimiento del feudalismo y vasos comunicantes con la cultura árabe. Esplendor de la ciencia árabe y logros del Oriente. Período clásico de las culturas precolombinas. Los progresos en la Física y otros ámbitos relacionados en la época del Renacimiento.

La escuela jónica y los pitagóricos

En el seno de la sociedad esclavista griega se desarrollaron los dos grandes sistemas filosóficos que en su contrapunteo histórico nutrieron las bases de la cultura occidental. La visión materialista del mundo y el método dialéctico de interpretar los fenómenos naturales representaron aliados permanentes del conocimiento científico. La tradición idealista griega, iniciada por los pitagóricos, alentó importantes estudios matemáticos y astronómicos, y luego tuvo la más alta expresión en los diálogos platónicos.

Por el sendero de la construcción de la filosofía, los pensadores griegos legaron sus hipótesis sobre la naturaleza de las sustancias y los orígenes de sus propiedades más sobresalientes, y desarrollaron las teorías atomísticas que retoñaran siempre al lado del pensamiento científico a lo largo de los siglos hasta cristalizar en la primera teoría atómica de Dalton ya en el XIX. Pero el fecundo laboratorio de los griegos estuvo en la mente humana. Factores históricos adversos imposibilitaron la productiva fusión que hubiera podido darse en la Alejandría entre cultura greco-latina y conocimientos empíricos egipcios. Sobre este derrotero histórico en sus hitos principales y sus más destacados protagonistas trataremos en las páginas siguientes.

Fueron los sabios de la región del Asia Menor conocida como Jonia, los primeros filósofos que intentaron, abandonando el mito y la leyenda, explicarse la diversidad del mundo material y su unidad a partir del reconocimiento de una o varias sustancias fundamentales y sus transformaciones. La confederación jónica configurada por las ciudades griegas fundadas en la costa oeste del Asia Menor, representó un próspero vínculo comercial donde floreció la producción artesanal y cultural que trascendió su época. Sus poderosos vecinos a lo largo de siglos desearon su dominio y por consiguiente fue escenario de guerras que modificaron una y otra vez el mapa político de la región.

En la ciudad de Mileto, Tales (625 – 546 a.C.) elabora la tesis de que la diversidad de las cosas encuentran la unidad en un elemento primario. En términos de interrogante su indagación puede resumirse de la siguiente forma: ¿Puede cualquier sustancia transformarse en otra de tal manera que todas las sustancias no serían sino diferentes aspectos de una materia básica? La respuesta de Tales a esta cuestión es afirmativa, e implica la introducción de un orden en el universo y una simplicidad básica.



Este florecimiento del pensamiento teórico en el período helénico de Grecia estuvo impulsado por importantes factores económicos como el crecimiento demográfico y el desarrollo del comercio que condujeron a su vez a la colonización y expansión del mundo griego hacia regiones tan distantes como la costa oriental del Mar Negro, Sicilia y la parte meridional de la península itálica (La Magna Grecia). Mucho antes, los griegos habían ocupado el archipiélago que se extiende por el Mar Egeo, fundando importantes ciudades a lo largo del litoral occidental del Asia Menor.

Quedaba por decidir cuál era esa materia básica o “elemento”. Tales propuso que este elemento primigenio era el agua. El postulado de Tales no parece original si recordamos que en la épica de los babilonios y en los salmos hebreos se refrenda la idea de que el mar era el principio. Sin embargo, allí donde babilónicos y judíos apelan a la intervención de un creador, el filósofo griego no reclama la intervención de una entidad sobrenatural. Al formular una explicación racional de la multiplicidad de las cosas, sobre la base de la unidad material del mundo, Tales abrió una nueva perspectiva que fuera seguida por otros filósofos que le sucedieron.

Si Tales creyó ver en el agua el origen de todas las cosas, su amigo y discípulo, el matemático y astrónomo Anaximandro (611 – 547 a.C.) apela a un ente conceptual de máxima generalización, el apeirón para definir lo indeterminado o infinito que puede asumir la forma de cualquiera de los elementos vitales para el hombre, sea el fuego, el aire, el agua, la tierra. Anaximandro es además considerado fundador del arte–ciencia de trazar mapas, y de la cosmología al postular la formación del universo a partir de la separación de los contrarios.

Para Anaxímenes (570 – 500 a.C.), considerado el último de los grandes filósofos jonios el elemento básico era el aire. Las transformaciones del aire posibilita cambios cuantitativos que se traducen en lo cualitativo: si el aire se rarifica da lugar al fuego; si por el contrario se condensa, dará lugar progresivamente a las nubes, el agua, la tierra y las rocas.

En resumen, la llamada Escuela de Mileto no solo implica el trascendental paso de la descripción mitológica a la explicación racional del mundo sino que combina una aguda observación de los fenómenos naturales con una rica reflexión imaginativa.

Por los tiempos en que se desarrolla la línea filosófica jónica aparece el pensamiento especulativo enraizado en la abstracción del conocimiento matemático que desdeña el conocimiento dado por los sentidos y absolutiza la actividad racional como única fuente legítima del conocimiento. Divorciado de la búsqueda de los principios de sus maestros jónicos, Pitágoras (582 – 500 a.C) de Samos (isla situada al sureste del Egeo frente a las costas del Asia Menor) funda una escuela hacia el polo occidental del mundo griego, en la colonia de Crotona al sur de la península itálica, que realiza valiosas contribuciones al desarrollo de la Geometría y la Astronomía, al tiempo que propone una imagen del universo presidida por concepciones matemáticas ofreciendo una visión mística del ser.



Éfeso, famosa ciudad del Asia Menor donde se erige el Templo de Diana una de las siete maravillas del Mundo Antiguo, fue cuna de Heráclito (540 – 475 a.C.). Este filósofo, en la línea del pensamiento jónico, es célebre por considerar el fuego como principio material, concebir el mundo en permanente transformación, y proponer que la mayoría de los objetos se producen por la unión de principios opuestos. La dialéctica ocupa el centro de su obra, la estabilidad de las cosas es temporal y refleja la armonía de los contrarios, el cambio eterno viene dado por la ruptura de esta armonía. En la metáfora del fuego se advierte la genial anticipación al mundo de la energía, como expresión del movimiento, forma universal de existencia de la materia.

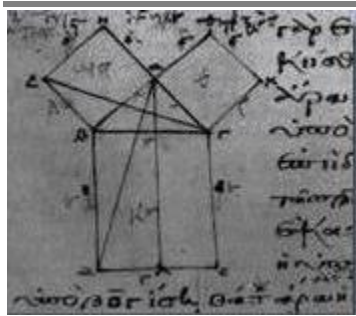
Según el juicio de Aristóteles, los pitagóricos se dedicaron a las Matemáticas, fueron los primeros que hicieron progresar este estudio y, habiéndose formado en él, pensaron que sus principios eran los de todas las cosas.

De cualquier modo en el marco de la tradición pitagórica se destacan diferentes trabajos sobre Geometría y Astronomía. Hacia el año 450 a.C., los griegos comenzaron un fructífero estudio de los movimientos planetarios.

Filolao (siglo V a.C.), discípulo de Pitágoras, creía que la Tierra, el Sol, la Luna y los planetas giraban todos alrededor de un fuego central oculto por una ‘contratierra’ interpuesta. De acuerdo

con su teoría, la revolución de la Tierra alrededor del fuego cada 24 horas explicaba los movimientos diarios del Sol y de las estrellas. El modelo de Filolao más tarde encontraría contraposición en las ideas de Eudoxio de Cnido (¿406 – 355 a.C.) quien hacia el 370 a.C., explicaba los movimientos observados mediante la hipótesis de que una enorme esfera que transportaba las estrellas sobre su superficie interna, girando diariamente, se desplazaba alrededor de la Tierra. Además, describía los movimientos solares, lunares y planetarios diciendo que dentro de la esfera de estrellas había otras muchas esferas transparentes interconectadas que giran de forma diferente. Es la teoría conocida como sistema geocéntrico que retomada siglos más tarde por astrónomos de la Escuela de Alejandría permanece inalterada durante más de un milenio.

No lejos de Crotona, en la colonia focense de la Magna Grecia llamada Elea, surge la escuela eleática representada por dos grandes pensadores: Parménides (515 – 440 a.C.) y su discípulo Zenón (485 – ? a.C.). Aliados al ideario pitagórico pero con rasgos propios los preceptos de estos filósofos encuentran en la argumentación lógica de contenido matemático las ideas que absolutizan la razón como fuente del conocimiento verdadero y desacreditan los sentidos como vía engañosa para lograr el conocimiento de la naturaleza, en particular para adquirir la falsa creencia en la realidad del cambio. Las paradojas de Zenón constituyen los primeros peldaños en la construcción de la lógica, como una ciencia. Zenón es reconocido no sólo por sus paradojas, sino por establecer los debates filosóficos que favorecen la discusión razonada. Por todo ello, Aristóteles le consideró el creador del razonamiento dialéctico.



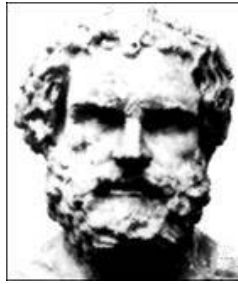
Pitágoras fue el primero que aglutinó en torno a sí un círculo cerrado de discípulos que participaban de su vida y su doctrina. Como dice Aristóteles los pitagóricos se dedicaron a las Matemáticas, fueron los primeros que hicieron progresar este estudio y, habiéndose formado en él, pensaron que sus principios eran los de todas las cosas. De entonces parte el debate acerca del método conducente al conocimiento verdadero. Mientras la ciencia jónica se asentaba en la observación de la naturaleza (y la razón que la explica), los pitagóricos desdeñan el papel de los sentidos en el conocimiento y declaran el imperio de la razón.

En el siglo del apogeo ateniense, la región de la Magna Grecia conoce de nuevas figuras cuyas ideas amplían el repertorio conceptual filosófico. Así, en el importante enclave cultural y comercial griego levantado al sur de la isla de Sicilia, llamado Agrigento, Empédocles (490–430 a.C.), discípulo de Pitágoras y Parménides, se alinea hacia la visión jónica, retomándola, a un nuevo nivel, al rechazar la idea de buscar un único principio de todo lo existente, y proponer que en varios se resume de forma más completa la multiplicidad de las cosas. De acuerdo con este planteamiento integra como principios universales el agua de Tales, el fuego de Heráclito, el aire de Anaxímenes, y a ellos suma la tierra. A la materialidad de estos principios le incorpora la cualidad de los contrarios expresada en términos de “amor” para indicar la afinidad, y “odio” para señalar la repulsión. A Empédocles se le atribuye también una visión evolucionista de los animales y las personas que según considera provienen de formas precedentes.

La filosofía ateniense

Conviene destacar que el florecimiento del emporio cultural jónico se debate desde mediados del siglo VI a.C. entre la anexión al vecino reinado de Lidia en el 560 a.C. y la conquista feroz en el 546 a.C. por parte del imperio persa. Conoce en el 500 a.C. la sublevación, apoyada por Atenas, la derrota y el saqueo orquestado por los persas que más tarde desencadena en el 493 a.C. las guerras médicas cuyos últimos capítulos en el 479 a.C. da la victoria a las armas atenienses, y crea la dependencia de las ciudades jónicas ahora a la gran triunfadora. Ha comenzado la hegemonía de Atenas.

Anaxágoras (500–428), representa al filósofo de origen jonio, asentado en Atenas en el esplendor asociado al gobierno de Pericles (c.495–429 a.C.). Maestro del célebre estadista y mecenas griego, Anaxágoras introduce la noción del átomo, como partícula infinitamente pequeña de la cual se componen todas las sustancias, y concibe la materia primaria sometida a un enorme caos de tales partículas a la cual le fuera impuesto el orden por una inteligencia eterna (el nous). Sus nociones sobre la naturaleza física del sol y la luna, levantaron las protestas de los oponentes de Pericles, quienes exigían la aplicación de la ley que condenaba a aquellos que no practicaran la religión y enseñaran teorías extrañas sobre los astros sagrados. Finalmente Anaxágoras tuvo que salir de Atenas y marchar a una colonia de Mileto en donde reside y funda una escuela hasta su muerte.



La filosofía de Demócrito contiene una formulación primitiva del principio de conservación de la energía. En su teoría los átomos son eternos y lo es también su movimiento. La explicación del origen del universo se asocia precisamente con el movimiento caótico de los átomos que en sus continuas colisiones forman cuerpos y mundos mayores. No hay lugar en esta teoría para la intervención divina. La ciencia tendría una permanente alianza con la teoría atómica de la materia, faltaban 20 siglos para la aparición de la visión atomística del siglo XVII.

La hipótesis sobre la naturaleza atómica de la sustancia, y la noción que de ella se deriva acerca de su composición como mezclas de diferentes átomos que se diferencian entre sí por sus tamaños y formas, resulta una integración en la polémica entre la razón y los sentidos que se desarrolla en la ciudad de Abdera a orillas del mar Egeo, enclavada en la región de Tracia, en el siglo V a.C. Leucipo (? – 370) y su discípulo Demócrito (460 – 370 a.C.), son los más altos representantes de la Escuela Atomística, que precedió en más de 20 siglos a la visión atomística del siglo XVII y luego a la teoría atómica de las sustancias postulada por el científico británico John Dalton (1766 –1844).

En una isla del Dodecaneso griego de poco más de 250 km² y a unos 350 km de la Atenas de Pericles, la isla de Cos, se desarrolló la escuela de Medicina que introduce una metodología científica en la práctica médica. Hipócrates (c. 460–c. 377 a.C.) fue el maestro que esclareció además el papel del médico en la sociedad. El pensamiento hipocrático contribuyó a separar la superstición de la práctica de la medicina y orientarla hacia el estudio de las causales asociadas a las condiciones de vida de la población, en particular la calidad de las aguas y aires que le rodean. Se han atribuido a Hipócrates 53 libros, que reunidos forman lo que se conoce como el Corpus Hippocraticum. Con certeza buena parte de la monumental obra asociada al padre de la medicina fue escrita por sus discípulos. En el "Tratado de los aires, las aguas y los lugares" y luego en "Régimen en enfermedades agudas", adelanta la idea revolucionaria de que en el estado de salud y convalecencia del paciente influye la dieta y su estilo de vida. La medicina hipocrática se difundió por todo el mundo griego, y, posteriormente, se funde con la cultura médica del imperio romano. Los tratados quirúrgicos de Hipócrates, sobre todo en lo referente a fracturas y luxaciones, fueron la técnica más avanzada por más de veinte siglos.

Contemporáneo con las ideas de los atomistas, surge en Atenas la escuela socrática, cuyo fundador Sócrates (c. 470–c. 399 a.C.), eleva el recurso de la discusión razonada propuesto por Zenón, al nivel de método universal (denominado mayeutica) para alcanzar la verdad. No sólo alcanza celebridad por la productividad de su método dialéctico en la enseñanza y en la ciencia, sino que es considerado uno de los fundadores de una filosofía sobre la moral y el valor en la conducta humana. Es también el maestro de Platón (428 – 347 a.C.) y se consideran los preceptos socráticos, junto al arsenal de ideas de los pitagóricos y eleáticos los fundamentos del ideario platónico sobre la existencia y el conocimiento del hombre.



La creación de una escuela en torno a la cual se agrupara una comunidad de "sabios" con sus discípulos para alimentar el debate y propiciar la transmisión y enriquecimiento de los conocimientos, nació en Atenas con instituciones como la Academia. Fundada en el 387 a.C. por Platón (428 – 347 a.C.), sobrevive hasta la primera etapa del Medioevo, cuando el emperador Justiniano I (482 – 565) ordena en el siglo VI su definitivo cierre al considerarla un establecimiento pagano. Había subsistido durante nueve siglos, constituyendo así el recinto universitario de más larga vida.

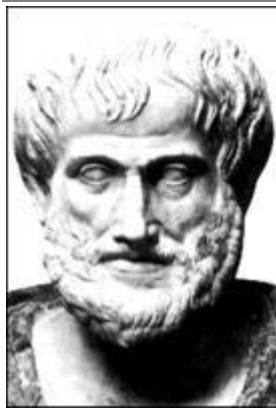
Con Platón (428 – 347 a.C.) se funda la Academia y la filosofía griega gira hacia la tradición pitagórica. La primacía de las ideas sobre “el mundo exterior” y la imposibilidad de alcanzar un conocimiento a través de la experiencia es una constante de los diálogos platónicos. En otras palabras, Platón niega el uso de la observación y la experiencia sensible como método de investigación de la realidad. A través de estos diálogos, sin embargo, la cultura occidental recibió un legado inestimable sobre la teoría del arte. Se ha especulado que la fundación de la Academia por Platón tiene como objetivo desplegar una carrera política. Se afirma también que estas ambiciones fueron frustradas por el profundo efecto que sobre él tuvo la ejecución de Sócrates en el 399 a.C.

La rivalidad tradicional entre la liga ateniense y la alianza espartana por el dominio de los territorios griegos se convirtió en enfrentamiento directo en el 431 a.C., y pasó a la historia como la Guerra del Peloponeso. Las operaciones bélicas se extendieron hasta el 404 a.C. decidiéndose a favor de las armas espartanas.

Luego de esta guerra, ya en el periodo de la declinación del arte ateniense, la colonia griega del Asia Menor llamada Halicarnaso, capital de la región de Caria, vio levantarse una de las siete maravillas del mundo antiguo, el Mausoleo. La colosal obra funeraria, dedicada al rey Mausolo (376– 353 a.C.), fue diseñada por el arquitecto Pytheus de Halicarnaso (s IV a.C.) y decorada por famosos escultores griegos entre los que se encontraron Praxiteles (390 – 330 a.C.) y Escopas (c. 420 a.C.–350 a.C.). La altura total del Mausoleo fue de 45 metros, compuesto de una base de 32 metros, la pirámide de 24 pasos se elevaba 7 metros y por último en la cima, la estatua de un carruaje de 6 metros. Cada lado del Mausoleo fue decorado con frisos de las escenas de las batallas griegas con los Titanes, Centauros y Amazonas. Su destrucción probablemente se deba a un terremoto ocurrido entre 1000 y 1400.

El mundo griego conoció entonces un período de rebeliones, alianzas y contiendas que encuentran su fin en el 371 a.C. con la victoria de Tebas sobre Esparta. Entretanto la vecina Macedonia, bajo el reinado de Filipo II, logra la unidad política, crea un poderoso ejército que inicia la anexión de las ciudades griegas y Filipo logra convertirse en el 338 a.C. en el comandante en jefe de las fuerzas griegas. Dos años más tarde ante la muerte de Filipo, lo sucede en el trono su hijo Alejandro III el Magno (356–323 a.C.), quien en sólo siete años cristalizaría el sueño secular griego de derrotar al Imperio Persa, conquistar sus vastos territorios, y extender la influencia de la civilización griega.

El más influyente de los filósofos griegos, el macedonio Aristóteles de Estagira (384 – 322 a.C.) ingresó a los 17 años en la Academia fundada por Platón y solo la abandonó veinte años después, cuando a la muerte de su fundador, advirtió una tendencia a desviar la filosofía hacia la formalización matemática. Años más tarde ingresa en el Liceo, institución en la que enseñaría durante 13 años. En el Liceo, los discípulos no solo cultivaban la observación, sino que coleccionaban algunos materiales para apoyar el método inductivo que desarrollaban en sus investigaciones. Está claro entonces que Aristóteles rompe con el universo ideal platónico y admite la cognoscibilidad del mundo sobre la base de la experiencia y de la razón. Su obra penetra diversos ámbitos como la Lógica, Ética y Política, Física y Biología.



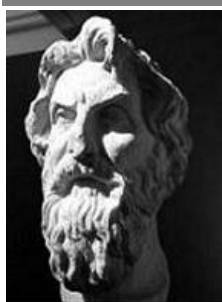
Aristóteles, hijo de su tiempo, nace en Macedonia, se traslada a Atenas para estudiar en la Academia, luego de 20 años se desplaza en búsqueda de una buena posición a una ciudad del Asia Menor, desde donde se ve forzado a partir, por la invasión persa, hacia la capital de su país natal. Allí es preceptor de quien se convertiría en el fundador del imperio greco-macedonio Alejandro Magno (356 – 323 a.C.). Con el ascenso de Alejandro al trono, regresa a Atenas, funda el Liceo y trece años después, tras la muerte de Alejandro, ante el odio que se desencadena en Atenas contra los macedonios, vuelve a emigrar. Muere, cuando se iniciaba el período alejandrino... Pero había fundado la Escuela de los Peripatéticos y sus discípulos se encargaron de reproducir su monumental obra que nos legaba un pensamiento filosófico opuesto al universo ideal platónico y aliado a las ideas sobre la cognoscibilidad del mundo sobre la base de la experiencia y de la razón. Su "Metafísica" siembra en el terreno filosófico las categorías más generales del cuadro físico del Mundo: el movimiento, el espacio y el tiempo.

Con relación a la naturaleza de lo existente, la doctrina aristotélica reconoce los cuatro elementos propuestos por Empédocles pero a ellos le integra cuatro atributos que considera de máxima universalidad y que se dan como parejas contrarias: el calor y el frío, la humedad y la sequedad. Llama la atención como en la noción de Aristóteles el cambio cuantitativo en un atributo puede traer el cambio de cualidad. El agua fría y húmeda al calentarse, llega el momento que se convierte en aire caliente y húmedo.

En el caso de la Física planteó tres principios básicos para explicar el movimiento de los cuerpos, a saber: no hay movimiento sin un ser que se mueva en el tiempo y el espacio; no existe movimiento sin motor y la acción del motor sobre el móvil solo es posible por contacto.

Al intentar explicar el movimiento mecánico, Aristóteles introdujo las ideas del movimiento natural como aquel en el que el objeto tendía a ocupar su lugar natural, en función de su masa, en una escala de posiciones de arriba hacia abajo; y el movimiento repentino o violento debido a un agente motor, antinatural, y que no podía, en fin de cuentas, predominar sobre la tendencia natural. De esta suerte, introdujo, las ideas de movimiento y reposo.

La visión astronómica de Aristóteles propone la delimitación de dos regiones: la región terrestre, que ocupa el espacio sublunar, es sede del elemento más pesado (la tierra) y de los elementos responsables de la naturaleza mutable de las cosas; y la región supralunar que la considera eterna, inmóvil y constituida por una sustancia diferente, totalmente inerte, a la que denomina éter.



Aristarco de Samos (310 – 230 a.C.), al defender la hipótesis de que la Tierra gira sobre su eje y que junto con los demás planetas gira en torno al Sol, está iniciando la polémica filosófica acerca de la fiabilidad de los sentidos, y la contraposición entre la contemplación y el intelecto, la observación y el razonamiento. La original hipótesis de Aristarco fue desestimada por la comunidad de los filósofos griegos que se atuvieron a lo contemplado: el sol gira mientras la Tierra debe comportarse como el propio centro del sistema estelar conocido. Debieron pasar siglos antes que Copérnico retomara estas ideas, pero otra vez y en un escenario bien distinto, encontrarían un rechazo oficial.

Aristóteles aporta también una doctrina general de “las simpatías” y las “antipatías” de las cosas, en el marco de la cual pretende explicar la atracción específica del imán sobre el hierro. Antes Tales había recurrido a un criterio animista al atribuirle “alma” al imán. Empédocles esbozó una teoría mecanicista de la atracción magnética que fuera desarrollada por los atomistas, especialmente por Lucrecio al considerar la acción del imán sobre el hierro como resultado de emanaciones atómicas.

Epicuro (341 –270 a.C.) recibe en su isla natal de Samos la influencia educativa combinada de seguidores de Demócrito y Platón. Ello explica los fundamentos de su filosofía natural y de su

pensamiento ético. A casi un siglo de las ideas atomísticas forjadas en Abdera, funda en el 306 a.C. una comunidad filosófica en Atenas, la cual sobresalió no solo por el numeroso grupo de sucesores sino por la asistencia de mujeres y hombres interesados en las atractivas ideas de la filosofía y la física epicúrea. El epicureísmo va a desarrollar la cosmovisión, contraria a la perspectiva aristotélica, de un universo eterno e infinito cuyos cuerpos están constituidos por átomos que se diferencian por su forma, tamaño y peso. La muerte es, según su concepción mecanicista, la aniquilación de los átomos que constituyen la mente y por consiguiente la ansiedad que se desarrolla en el hombre por una trágica segunda vida carece de todo fundamento.

Si los sabios griegos sobresalen por el desarrollo del pensamiento hipotético – deductivo y obtienen resultados destacados en las Matemáticas y la Astronomía que exigieron mediciones y comprobaciones de las hipótesis formuladas se puede advertir que no se desarrollan ni siquiera las primeras tentativas de estudio experimental. El desarrollo de un pensamiento teórico reflexivo y creativo no condujo a un primitivo trabajo experimental.

Progresos durante el florecimiento de Alejandría

A la muerte en el 323 a.C. de Alejandro Magno en Babilonia, sobrevino el florecimiento de lo que se llamó los “reinos helenísticos” y el gran desarrollo de Alejandría, ciudad fundada por el gran conquistador en Egipto. Bajo los reinados de Ptolomeo I (305 – 285 a.C.) y Ptolomeo II (285 – 246 a.C.) nació y se desarrolló el “Museo” (dedicado a cultivar las musas y que es considerado como una relevante universidad), adjunto al cual se creó la más importante biblioteca de la antigüedad. En este Museo se fueron congregando los pensadores más significativos de la época dando lugar a lo que se llamó La Escuela de Alejandría.



La población de Alejandría tenía una maravillosa diversidad. Macedonios y más tarde romanos, sacerdotes egipcios, aristócratas griegos, marineros fenicios, mercaderes judíos, visitantes de la India y del África subsahariana – todos ellos, excepto la vasta población de esclavos– vivían juntos en armonía y respeto mutuo durante la mayor parte del período que marca la grandeza de esta ciudad. Pero la mayor maravilla de Alejandría era su biblioteca y su museo en sentido literal, una institución dedicada a las especialidades de las Nueve Musas.

Este lugar fue en su época el cerebro y la gloria de la mayor ciudad del planeta, el primer auténtico instituto de investigación de la historia del mundo.

Dentro de las principales aportaciones de esta Escuela se halla la recopilación realizada por Euclides, matemático y profesor (cerca del 300 a.C.) en su libro “Elementos”. En este libro, considerado como un clásico de todos los tiempos, realizó una formulación axiomática de la Geometría que permitió la construcción sobre bases sólidas de esta rama de las Matemáticas. Esta obra junto a los trabajos de los sabios del Oriente Medio a orillas del Egeo, como Eudoxo de Cnido (408 – 355 a.C.), y Apolonio de Perge (siglo III a.C – siglo II a.C), constituyeron el corpus de conocimientos que posibilitó el desarrollo de la Astronomía desde Ptolomeo hasta Kepler en el siglo XVII. En círculos matemáticos se afirma que "Los Elementos" se encuentra entre los libros que, al lado de la Biblia, han sido más traducidos, publicados y estudiados en el mundo occidental. No es entonces exagerado afirmar que Euclides clasifica como el más influyente profesor de matemáticas de la Antigüedad y quizás de todos los tiempos.

En este período se destaca la obra de Arquímedes (287–212 a.C.), notable matemático e inventor griego, que hiciera sobresalientes aportaciones a la Geometría Plana y del Espacio, Aritmética y Mecánica.

Considerado el fundador de la Escuela de Matemática e Ingeniería de Alejandría y probablemente el primer director del Museo de Alejandría, Ctesibius (c285 – 222a.C.), como inventor del mundo antiguo es solo superado por Arquímedes. Su trabajo sobre la elasticidad del aire fue muy

importante ganándole el título de padre de la Pneumática. A pesar de que su tratado "De Pneumatica" y la mayor parte de sus trabajos se perdieron, otros ingenieros como Filon de Bizancio (260 –180 a.C.), y más tarde el arquitecto romano Vitruvio (c. 70 a.C.–c. 25 a.C.) describen en sus crónicas las invenciones de Ctesibius. A él le atribuyen el diseño de la bomba de impelente, el reloj de agua (clepsidra) de caudal constante acoplado a un sistema de engranajes que en un cilindro tenía inscrita la duración del día y de la noche, cañones operados por aire comprimido, y un árbol hidráulico capaz de elevar grandes pesos. Al pie del Monte de Olimpia, en 1992 fueron hallados los restos del primer instrumento musical de tablero, antecesor del órgano de tubos de la iglesia medieval, el hydraulis. Conservado por bizantinos y árabes la invención musical de Ctesibius, reaparece en Europa hacia el siglo VIII.



Ante el asedio durante tres años del general romano Marcelo a su natal Siracusa, el genio de Arquímedes (287–212 a.C.), el inventor de la polea combinada, la ley de la palanca, y el tornillo sin fin, fue consagrado a la defensa de su ciudad. A este período se le atribuyen la invención de las catapultas, la polea compuesta y el espejo generador del fuego en las naves enemigas. Conquistada finalmente, la leyenda cuenta que es asesinado por un soldado romano al sentirse ofendido por el sabio que es molestado cuando trabajaba absorto sobre la arena de la costa.

En su famosa obra "La medida del círculo" determina el valor exacto de π . Con Arquímedes se asienta la primera piedra en el edificio del cálculo integral y las bases de la

Hidroestática, con el descubrimiento del principio que lleva su nombre. Una y otra vez la humanidad pierde con la guerra y la conquista a sus hijos, en ocasiones genios, y en cualquier caso vidas irrepetibles.

Hacia el 240 a.C., Eratóstenes (¿284 – 192 a.C.) nacido en Cirene (actual Libia) llegó a ser el director de la Biblioteca de Alejandría. Un siglo después de la obra aristotélica, Eratóstenes desarrolla los cálculos matemáticos necesarios para medir la circunferencia terrestre obteniendo como resultado 40 222 Km, valor muy aproximado al real. Matemático, astrónomo, geógrafo, filósofo y poeta era Eratóstenes un auténtico enciclopédico de la Antigüedad. Tras quedarse ciego, murió en Alejandría por inanición voluntaria.

La línea de conexión entre Ctesibio y Heron aparece representada por el ingeniero alejandrino Filon de Bizancio. Gracias a sus discípulos fue conservada la mayor parte de su obra "Colección de Mecánica", un tratado que no solo ofrece una imagen total de sus trabajos sino que resume los problemas mecánicos que ocuparon a sus contemporáneos y a sus antecesores. Esta herencia cultural fue preservada por las traducciones al árabe y de ahí las conoció la Europa del Renacimiento en su encontronazo cultural ibérico con los árabes. Su Tratado "De Pneumatica" describe 78 construcciones mecánicas operadas por aire caliente o vapor. Algunas de sus invenciones más importantes incluyeron la bomba de cadena, la bomba de aire (fuelle), la bomba de pistón y una sirena para los faros que funcionaba con la fuerza del vapor.

La Medicina de Alejandría también legó importantes avances sobre todo en el campo de la anatomía. Herófilo de Calcedonia (c. 335–280 a.C.) es considerado el padre de la anatomía científica ya que fue el primero en practicar sistemáticamente la disección del cuerpo humano, en criminales, para arribar a descripciones anatómicas y fundamentar sus deducciones fisiológicas. Así, reconoció el cerebro como director del sistema nervioso, y sus estudios se extendieron a los ojos, el hígado, el páncreas y los órganos genitales. Fue el primero en comprobar que las arterias contenían sangre y no aire, pero este descubrimiento no trasciende y la teoría de los humores y el pneuma de la vida se extienden durante siglos. Erasistratos (c. 304 – 250 a.C.), rival profesional de Herófilo en Alejandría, describió el cerebro con más precisión que Herófilo. Distinguió el cerebro del cerebelo y determinó que el cerebro era el origen de todos los nervios, clasificándolos en nervios motores y sensoriales. Fue el primero en rechazar la noción de que los nervios estaban llenos y fijados con pneuma (aire), por el contrario afirmó que eran sólidos constituidos por material de la médula espinal.



El faro de Alejandría (c. 280 a.C.) fue la última de las siete maravillas del Mundo Antiguo en desaparecer. Levantada sobre la isla "Pharos" que descansa a la entrada oriental del puerto, durante la dinastía de los Ptolomeo, la construcción del faro consistía en una amplia base cuadrada y una torre octogonal de unos 100 metros de altura. En la parte superior ardía presumiblemente estiércol animal seco ya que los egipcios no disponían de madera para leña.

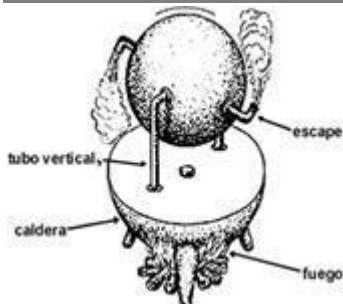
Para los arquitectos, significó aún más: era el más alto edificio sobre la tierra y para los científicos poseía un fascinante sistema de espejos metálicos. El espejo daba un reflejo que podría ser visto a más de 35 millas) fuera de la costa. La obra que funcionó durante más de un milenio hasta que el poder devastador de dos terremotos, uno en 1303 y otro 20 años después, la destruyeran se debe al arquitecto de origen cario (región del Asia Menor) Sostrato de Cnido (siglo III a.C.), quien siguió el camino profesional de su padre Dexiphanes, arquitecto del Teatro "Tetra" de Alejandría. El faro destruido fue abandonado hasta que en el 1480 un fuerte islámico fuera edificado en su sitio. Hasta nuestros días han llegado grabaciones del faro en distintas monedas romanas. Recientemente se han encontrado sumergidas en las aguas de la bahía estatuas y bloques pertenecientes al faro.

Si los sabios griegos obtienen resultados sobresalientes en las Matemáticas y la Astronomía que exigieron mediciones y comprobaciones de las hipótesis formuladas se puede advertir que no se desarrollan ni siquiera las primeras tentativas de estudio experimental de las transformaciones. El laboratorio de los sabios griegos era fundamentalmente la mente humana. El desarrollo de un pensamiento teórico reflexivo y creativo no condujo a un primitivo trabajo experimental.

En Alejandría aparece el escenario histórico propicio para un contacto y posible fusión de la maestría egipcia con la teoría griega pero tal posibilidad no se convirtió en realidad. Al parecer el vínculo estrecho del arte de la experimentación con la religión egipcia actuó como muralla impenetrable para el necesario intercambio. Muchas vueltas daría la Historia para que se diera una integración fructífera de ambos conocimientos teóricos y prácticos.

No obstante, surge como un exponente de la khemeia griega, a inicios del siglo III a.C., un egipcio helenizado, Bolos de Mende. A su pluma se atribuye el primer libro, *Physica et Mystica* que aborda como objetivo los estudios experimentales para lograr la transmutación de un metal en otro, particularmente de plomo o hierro en oro. Semejante propósito, que alienta tentativas posteriores a lo largo de más de un milenio, encuentra fundamento en la doctrina aristotélica de que todo tiende a la perfección. Puesto que el oro se consideraba el metal perfecto era razonable suponer que otros metales menos 'perfectos' podrían ser convertidos en oro mediante la habilidad y diligencia de un artesano en un taller. Y este supuesto, junto al interés económico que concita, soporta el campo de acción principal de los antecesores de la Química.

Con la desaparición del gran imperio consolidado por Alejandro, y el posterior sometimiento de los pueblos greco – parlantes al poder de los romanos (Grecia es convertida en provincia romana en el 146 a.C.), quedó seriamente comprometido el avance del saber científico.



Herón (126 a.C.– 50 a.C.) fundó y dirigió la Escuela Superior Técnica de Alejandría que llegó a convertirse en un genuino Politécnico. A menudo se refieren a él como "el enciclopedista". Sus trabajos "Máquinas de Guerra", "Tornos", "Balística", "Pneumática", "Autómata" y "Mecánica" lo colocan entre las más grandes figuras de la ingeniería mecánica del mundo antiguo. Aunque existen evidencias de que Arquímedes y Filón hicieron algunos usos simples del vapor, el descubrimiento de la máquina de vapor pertenece definitivamente a Heron.

La eolípila, considerada el ingenio precursor de la turbina de vapor fue diseñada y construida por este inventor adelantándose así en más de 1 500 años a la olla de presión de Denis Papin (1647 – 1714) y al invento de la máquina de vapor de James Watt (1736 – 1819). La transformación de la energía térmica en trabajo mecánico constituyó un descomunal paso de avance del hombre que comenzó a producir máquinas con la potencia mostrada por 100 o más caballos, pero la sociedad esclavista del imperio greco-romano no contenía en el orden del día la necesidad de aprovechar ventajosamente la energía del vapor. La eolípila de Herón fue olvidada en el baúl de las curiosidades.

No obstante, la Alejandría de los Tolomeos que no pasará a manos de los romanos hasta la toma de la ciudad por Octavio más de un siglo después, mantiene viva la tradición de la Astronomía griega por la labor, entre otros, de Hiparco de Nicea (s. II a.C.) que, considerándose el creador de la Trigonometría, fue el primero en elaborar tablas que relacionaban las longitudes de los lados en un triángulo las que usa para estimar la distancia tierra – luna en 386 100 Km valor muy cercano al real y para elaborar sus mapas estelares en los que traslada sus observaciones a planos.

Las ideas geocéntricas de Hiparco sobre el movimiento de los astros, influyen en Claudio Ptolomeo, astrónomo griego nacido en Egipto (s. II), que convierte tales hipótesis en un sistema coherente de amplio poder explicativo y predictivo. La compleja técnica utilizada para describir los movimientos de la Luna y el Sol, sobre la base de las posiciones de unas mil estrellas brillantes constituyentes de un mapa estelar, aparece descrita en su gran obra el Almagesto.



El éxito durante 13 siglos de la teoría ptolomeica se basó en la concordancia de los resultados de las mediciones que se realizaban en esa época, de limitada exactitud, con los movimientos observados de los cuerpos celestes; la capacidad de predicción de esos movimientos; la correspondencia de esas ideas con las observaciones del sentido común; y la legitimación de las ideas religiosas – filosóficas que se abrieron paso en la época y que perduraron durante el largo periodo de la Edad Media. Pero si por longevidad es el "Almagesto" (obra cumbre de la Astronomía Ptolomeica) émulo de la Geometría de Euclides, por mérito histórico queda bien lejos de esta última.

No han faltado quienes, entre los que se encuentran la autoridad de Isaac Newton, han calificado muy duramente la manipulación selectiva de los datos astronómicos disponibles en la época para hacerlos concordar con su teoría geocéntrica, privando a la humanidad de una información veraz en un área tan importante de la astronomía y la historia.

Capacidad creativa en las construcciones romanas

El aletargamiento de las ciencias en este período se ha relacionado con la falta de interés de la cultura romana por los saberes científicos – filosóficos. No obstante, los romanos acopiaron con gran interés las fuentes de los conocimientos griegos. En este esfuerzo sobresale la monumental obra enciclopédica de Plinio el Viejo (c. 23 d.C. – 79) “Historia Natural” que en 37 libros contiene el estado del arte de la época en disciplinas tan distantes como la Anatomía y la Mineralogía. La obra de Plinio se convierte en un clásico que flotará siglos después en la atmósfera atemporal del medioevo europeo hasta despertar en el renacimiento como referencia para los estudiosos que redescubren entonces los saberes del mundo greco-latino.

Descendiente de griegos de la ciudad del Asia Menor llamada Pérgamo, dominada entonces por el imperio romano, Galeno (129–c. 199) se establece en Roma donde alcanza celebridad por su ejercicio de la Medicina y sus conferencias públicas, siendo designado como médico del hijo del emperador Marco Aurelio. Sus obras traducidas por los árabes en el siglo IX pasaron a través de España a la Europa del Renacimiento. Siguiendo estos vasos comunicantes su legado perdura durante más de mil años. Con el propósito de investigar la anatomía y fisiología de los seres vivos elevó la disección de cadáveres de animales a práctica profesional del médico. Las primeras descripciones del corazón, las arterias, las venas, el hígado y la vejiga y las primeras hipótesis sobre su funcionamiento se encuentran en sus obras. Es considerado Galeno uno de los primeros en la descripción sistemática de los cuadros clínicos asociados a las enfermedades infecciosas y un pionero en la farmacología.

Los romanos demostraron pericia y conocimientos teórico-prácticos con sus admirables construcciones. El acueducto fue una de esas obras legadas por la Roma Republicana. Construido en el 312 a.C., por Appius Claudius Caecus, el Aqua Appia es el acueducto más viejo de Roma. El Appia, que se extiende dieciséis kilómetros corre principalmente por el subsuelo, emergiendo en su término, en el Foro Boarium, en una arcada que ponteaba el valle entre las

Colinas de Aventina. El sistema de agua sigue este curso subterráneo, por consideraciones de seguridad. Durante el tiempo de la construcción del Appia, Roma se enfrentaba frecuentemente con los Samnitas y era necesario evitar que en un esfuerzo por sitiar la ciudad el enemigo cortara los suministros del líquido vital.

El único libro sobre la Arquitectura de la Antigüedad que llegó hasta la Europa del Renacimiento fue "De Architectura" escrito en latín por el ingeniero romano Marco Vitruvio Polión (c. 70 a.C.–c. 25 a.C.). Vitruvio se considera fue un ingeniero al servicio de las legiones romanas del primer emperador, Augusto (63 a.C. – 14 d.C.). Su obra resume en diez libros los conocimientos en esta disciplina del arte – técnica, legados por el mundo griego y las innovaciones propias de la arquitectura clásica romana. Es pues un compendio de diversos ámbitos de la ingeniería desde el diseño y planeación de la obra, la selección de los materiales constructivos, hasta la aplicación de los principios de la acústica y la hidráulica en las edificaciones. Sus tres principios: la durabilidad, utilidad y belleza fueron inscritos en la práctica de las monumentales construcciones romanas: las calzadas, los puentes y los acueductos.



Así se ve hoy la vía Apia, a unos kilómetros de Roma. Solo unos metros conservan su pavimento original. Fue la más famosa de las avenidas romanas. Construida en el 312 a.C. por el Censor Appius Claudius constituye un símbolo de lo alcanzado en materia de construcciones por los romanos. 560 km unían la ciudad, en un trayecto admirablemente rectilíneo, con Capua. Siglos más tarde, las calzadas romanas llegaron a representar unos 90 mil kilómetros de caminos que garantizaban ante todo las comunicaciones militares en el imperio, pero que al mismo tiempo constituirían lazos para el intercambio comercial.

Ya al final de la Roma Republicana, en el período histórico en que se viene forjando la creación del imperio que toma expresión en la figura de Cayo Julio César (100 – 44 a.C.), surge el poeta y filósofo romano Lucrecio (99–55 a.C.) cuya obra "De Rerum Natura" demuestra la recurrencia de las ideas atomísticas en la filosofía del mundo greco-latino. Su visión materialista ingenua del alma lo lleva a considerar esta como la combinación aleatoria de átomos que no sobreviven al cuerpo. No hay en Lucrecio una renuncia expresa a la existencia de los dioses pero sí una defensa de que los problemas terrestres tienen causas naturales.

Discípulo de Epicuro, Asclepiades (siglo I a.C.) es considerado fundador de la Escuela Metódica de la Medicina que trasladó el pensamiento atomístico a la medicina relacionando las enfermedades a trastornos ocasionados en el movimiento de los átomos constituyentes del organismo, y propugnando las terapias del masaje, la dieta, los ejercicios y los baños. Lo que hoy llamaríamos terapias alternativas.

Es indiscutible que los instrumentos de cálculo han jugado un papel protagónico en el desarrollo de la Matemática y de la ciencia en general. En Roma se aprendía a contar con pequeños guijarros, de cuyo nombre latino *calculus*, proviene la palabra cálculo y sus derivados (calcular, calculadora, etc.). Los romanos utilizaron en su sistema de numeración siete letras del abecedario latino (I, V, D, X, L, C, M) y algunas reglas para la formación de los números. Este sistema se usó en Europa hasta el siglo XIII.



Marco Vipsanio Agrippa (63 a.C. – 12 a.C.) no solo pasa a la historia como uno de los más victoriosos generales de Augusto (heredero de Julio César) sino como fundador de muchas de las nuevas colonias romanas y arquitecto de las obras clásicas levantadas en Roma, entre las cuales el Pantheon, su obra cumbre, es uno de los más grandes logros de la ingeniería romana. Destruído por el fuego en el 80 d.C. es reconstruido por el emperador Adriano (76 – 138 d.C.), alcanzando una nueva monumentalidad.

Poco después del esplendor del imperio romano liderado por Trajano (98–110 d.C.) se escriben cerca de Tebas los más viejos manuscritos sobre recetas para el taller y el laboratorio que se conserven íntegramente. Conforme a la tendencia histórica de todos los tiempos, los papiros de Leyden y Estocolmo revelan que los estudios de las sustancias aparecen relacionadas con dos necesidades permanentes de la sociedad humana: el dominio de los materiales en este periodo, fundamentalmente de los metales, y el conocimiento de las sustancias para el tratamiento de las enfermedades en la lucha contra los padecimientos y la muerte. Los llamados papiros de Leiden y de Estocolmo, acusan las ciudades europeas dónde finalmente se conservan: la primera en la famosa Universidad holandesa de Leiden, y la otra en la capital sueca de reconocida tradición química.

El hallazgo se produjo a principios del siglo XIX en las tumbas de personajes momificados junto a los papiros, en región próxima a la legendaria ciudad egipcia de Tebas, finalmente destruida por los romanos. Los manuales a partir de los cuales fueron hechas estas copias se escribieron no para la información pública sino como una guía para la labor en talleres y laboratorios. Las recetas son a menudo muy detalladas en orientaciones pero a veces fueron solo sugerencias que no ofrecían una idea clara del proceso que pretendía describirse.

El papiro de Leiden contiene alrededor de setenta y cinco recetas relacionadas con la preparación de aleaciones, para soldar metales, para colorear la superficies de metales, para evaluar la calidad o pureza de los metales, y para imitar metales preciosos. Existen quince recetas para escribir en oro o plata en imitación de la escritura de oro o de plata. Son once las recetas para elaborar colorantes en púrpura u otros colores. Los últimos once párrafos son extractos de la obra del médico griego Pedáneo Dioscórides (c 40 – 90 d.C.), *De Materia Medica*, el primer tratado sobre Botánica y Farmacología, en la cual describe más de 600 plantas de uso medicinal.

Es de interés apreciar que el papiro de Estocolmo complementa las recetas de Leiden en esta dirección. El manuscrito de Estocolmo contiene alrededor de 150 recetas. De estas solo nueve se relacionan con metales y aleaciones mientras que más de 60 tratan de colorantes y como 70 sobre la producción artificial de gemas. Unas diez se refieren al blanqueo de perlas o a la fabricación de perlas artificiales.

Hacia el año 300, Diocleciano (245 – 313, emperador en el período entre 283 – 305) ordenó quemar todos los trabajos egipcios relacionados con el arte experimental que eventualmente permitiera fabricar oro barato y con ello hundir la tambaleante economía del Imperio y que, por otra parte, se vinculaba sospechosamente con el pensamiento pagano de la religión del antiguo Egipto. Este mismo emperador trató de eliminar el cristianismo, pero fracasó; el último gobernante de un imperio romano unido, Teodosio I el Grande (c.346 – 395) terminó por fundar un imperio cristiano.

Otra relevante aportación nacida en Alejandría, pero ya en el periodo del imperio romano, fue el Álgebra, atribuida mercedamente a De Diofante, matemático griego que vivió durante el siglo IV. Su libro principal "De arithmetica" contiene 13 libros de los cuales sobreviven 6 en el griego original y 4 en la traducción árabe. Esta obra representa una variada colección de problemas que implican ecuaciones polinomiales con una o mas variables. Sistematizó sus ideas con símbolos creados por él mismo, dando origen a las ecuaciones indeterminadas. La gran cantidad de problemas que propuso y sus hábiles soluciones, sirvieron de modelo a matemáticos de la talla de Riemann, Euler y Gauss. Demostró que las fracciones podían manipularse igual que los otros números, reduciendo la incomodidad que las otras formas de manipulación causaban.



A pesar de la prohibición de Diocleciano se conoce que Hypatia (370? – 415) sobresaliente filósofa y matemática alejandrina, realizó estudios experimentales y desarrolló, entre otros instrumentos, un equipo de destilación de agua, que debió ser uno de los primeros útiles del stock alquimista. Durante casi dos siglos, desde Nerón (37 – 68 d.C., emperador entre 54 y 68) hasta Diocleciano, los cristianos debieron enfrentar una cruel persecución. Ahora, una de las primeras mujeres de ciencia resultaría mártir de la intolerancia religiosa practicada por los cristianos.

Los condimentos de la caída del Imperio Romano fueron esencialmente los mismos que han conocido las potencias imperiales a lo largo de la historia: el desgaste económico interno asociado a los gastos de mantenimiento de un poderoso ejército y de la enorme burocracia que engendra, las contradicciones sociales que resultan de esta situación económica, las guerras civiles que se desatan como resultado de divisiones internas, y las invasiones de pueblos vecinos que se aprovechan de las debilidades del imperio.

El momento histórico en que se manifiesta el declive de Roma data de fines del siglo IV cuando los pueblos germanos emprendieron gradualmente la conquista de Occidente. De entonces al 476, ejércitos visigodos tomaron y arrasaron provincias romanas, pactaron con el imperio para enfrentar conjuntamente la invasión de los hunos, fueron cristianizados, y finalmente Odoacro (c.433–c.493), jefe de tropas germánicas, depuso al último emperador romano de Occidente.

Se inauguraba así un período de estancamiento relativo en el mapa europeo mientras la cultura árabe a partir del siglo VII se expande, bebe de otras fuentes y se enriquece hasta llegar al liderazgo de toda una época.

Contexto medieval europeo y escolástica

El período histórico que se pretende abarcar a continuación comprende los casi diez siglos de vida del régimen medieval europeo desde que se produce el proceso de disolución del imperio romano en Occidente a fines del siglo V hasta mediados del XV en que viene surgiendo, empujado por importantes transformaciones económicas, el llamado Renacimiento. En este recorrido se incluirán los principales hitos relacionados con el ámbito de la Física en el escenario europeo, los brillantes logros de la cultura islámica, los legados fundamentales del mundo oriental, y las sobresalientes realizaciones del período clásico de las culturas precolombinas de esta época.

En torno a la decadencia del imperio romano y al proceso de conversión de Roma al cristianismo, surge la figura de Agustín de Hipona (354 – 430), oriundo de la colonia romana de Numidia en el norte africano, santificado por la Iglesia Católica, que intenta ofrecer una primera visión filosófica del cristianismo. Las fuentes que nutren su doctrina son principalmente el escepticismo y el neoplatonismo. La influencia del cristianismo sobre el lento desarrollo del conocimiento científico europeo en esta etapa se explica atendiendo a los nuevos esquemas de pensamiento que esta religión portaba y a los intereses que defendía la nueva estructura del poder eclesiástico. Las principales preguntas y cuestionamientos que se hicieron los pensadores anteriores quedarían encadenadas por el dogma de la fe.

Hasta el cierre definitivo de la Academia en el siglo VI por el emperador Justiniano (482– 565), la pálida producción del conocimiento filosófico de la época se asocia a la traducción de clásicos y al replanteamiento de las ideas contenidas en los sistemas de Platón y Aristóteles.

No obstante se destaca en los primeros momentos del medioevo, el filósofo y estadista romano Boecio (47? – 525), quien no sólo escribe numerosas traducciones y comentarios de la obra aristotélica sino que aborda con notable originalidad en su tratado de lógica, el problema del grado de realidad o significación atribuible a “los géneros y las especies”, con lo cual inaugura el

examen de las dos corrientes epistemológicas, realismo y nominalismo, cuya controversia alimenta el pensamiento filosófico en siglos posteriores.



La doctrina de Agustín, cuando admite que el entendimiento filosófico no niega la fe religiosa sino puede fortalecerla, deja un espacio para el desarrollo de una filosofía natural, pero históricamente esta posibilidad no cristalizó. Por el contrario, poderosos intereses pretendieron que el hombre cristiano se preocupara más por su alma eterna que por sus relaciones con los fenómenos naturales y la posible penetración en la esencia de los mismos mediante el estudio y el razonamiento.

Agustín arriba a Roma con 29 años, recibe el bautismo a los 33 de manos del Obispo de Roma, Ambrosio (más tarde canonizado por la Iglesia), y ocho años después es designado Obispo de Hipona, convirtiéndose en uno de los doctores de la Iglesia, y desempeñando un importante papel en los primeros momentos de la edificación de la Iglesia Católica Romana.

Una extensa compilación del conocimiento de la época, que es ampliamente difundida a lo largo de siglos y tiene por tanto el mérito de al menos conservar, en forma latente, el pensamiento avanzado de la cultura greco-latina es acopiada en la obra “Etimologías” escrita en 623 por Isidoro de Sevilla (c. 560–636). Brillante exponente de estos tiempos, Isidoro (canonizado por la Iglesia Católica) como arzobispo de Sevilla, presidió el famoso IV Concilio de Toledo de 633 que decretó el establecimiento de escuelas en todas las catedrales. Se antecedió así casi en un par de siglos a la ordenanza de Carlomagno, pero antes el reino visigodo de Toledo debilitado por las disensiones internas que se oponían a la unificación arropada por la conversión al cristianismo, pereció ante el empuje árabe en 711.

Un momento de progreso cultural en el escenario europeo viene dado a fines del siglo VIII, por lo que algunos consideran como revolución educativa impulsada por el rey de los francos, coronado como emperador en el 800 por el papa León III (c.750 – 816), Carlomagno (742 – 814). Este emperador, ordenó en su vasto dominio, la creación de escuelas anexas a las catedrales e iglesias de las poblaciones más importantes destinadas a enseñar rudimentos de lectura, aritmética y gramática. Si embargo hasta bien entrado el siglo XI no existía una educación que pudiera salir de un nivel elemental. El imperio carolingio representó una etapa en la integración de las culturas germánica, romana y cristiana, que con el tiempo resultó una de las savias fundamentales de la civilización europea.

Otro proceso político que representa un hito en la configuración de un escenario cultural europeo fue la instauración del nuevo imperio de Occidente que cristaliza con la coronación del rey de Germania Otón I (912 – 973) por el Papa Juan XII, el papa niño, (937 – 964). Quedaba entonces constituida una entidad política, siglos más tarde llamada Sacro Imperio Romano Germánico, que con períodos de centralización y debilitamiento y contradicciones entre autoridad imperial y papal, sobreviviría poco más de un milenio.

FloreCIMIENTO del feudalismo y vasos comunicantes con la cultura árabe

En los siglos XI – XIV corre la época del florecimiento del feudalismo en Europa. Crecen las ciudades y se desarrollan las relaciones monetario-mercantiles. En particular el siglo XII marca un reencuentro con el saber antiguo. Se advierte una reactivación de los viajes y el auge de relaciones comerciales estrechas entre el occidente y el oriente. La naturaleza de los contactos con el Oriente tiene otra expresión en las Cruzadas que se iniciaran con la proclama lanzada por el papa Urbano II (1040 – 1099) en 1095 y en la reconquista que llevan a cabo los cristianos españoles de los territorios perdidos ante el Islam.



La obra de Pedro Abelardo trasciende por su avanzado contenido epistemológico, pero su vida, llena de poesía, se filtra por el camino de la inmortalidad, como un ejemplo de amor imposible, en sus Cartas a Eloísa. De otra parte, debió sufrir la condena en 1140 de un concilio católico por el peligro que representaba para los dogmas de la fe las enseñanzas racionalistas y el método dialéctico que preconizaban sus obras. Los restos de Abelardo y Eloísa yacen para siempre juntos en un cementerio de París.

La filosofía escolástica es hija de este período histórico y está signada por la esterilidad que deriva de fijar como objetivo último de su estudio armonizar la filosofía y la ciencia aristotélica con el contenido sobrenatural de la revelación cristiana, dejando poco espacio al conocimiento y la explicación de nuevos hechos.

De cualquier modo, el lado productivo del escolasticismo se advierte en la obra de figuras como Pedro Abelardo (1079 – c. 1142) cuya principal tesis dialéctica, presentada en *Sic et Non* (c. 1123), consiste en la consideración de la verdad como fruto del análisis riguroso de los diferentes aspectos de una cuestión. Abelardo se aparta de las posiciones extremas en el debate entre nominalismo y realismo, negando por una parte el legado platónico de los universales como categorías que existan antes y fuera de la mente y rechazando por otra la tesis reduccionista de que las abstracciones, conocidas como universales, carecen de una realidad esencial o sustantiva, pues tan sólo los objetos individuales tienen una existencia real. Su teoría es un paso definitivo hacia el realismo moderado que alcanza su visión más acabada en la posición epistemológica de Tomas de Aquino (1225 – 1274).

Aquino, la figura más importante de la filosofía escolástica, santificado por la Iglesia Católica, discípulo de Alberto Magno y profesor de la Universidad de París en 1252, acepta la verdad contenida en la experiencia sensible cuando se hace inteligible por la acción del intelecto, intenta justificar la aprehensión de las realidades inmateriales por parte del raciocinio, y rebate la existencia por sí misma de los universales con independencia del pensamiento humano. Al defender la teoría aristotélica que considera la percepción como el punto de partida y la lógica como el procedimiento intelectual para llegar a un conocimiento fiable de la naturaleza, deja abierta la puerta hacia el conocimiento científico.

En el área de las matemáticas una manifestación importante de transmisión cultural se da a inicios del siglo SXIII cuando el pisano Leonardo Fibonacci (1170 –1240) introduce el sistema arábigo en Europa, el cual solo pudo ser difundido con la posterior invención de la imprenta. Hijo de un comerciante se motivó por los estudios matemáticos en sus viajes comerciales con el Oriente.



Las primeras universidades europeas se fundan en el siglo XII. Su misión, acorde con los aires de la época, fue servir de marco institucional para la expansión de los conocimientos. De cualquier modo el curriculum universitario nace dominado por la subordinación de la filosofía a la teología y por el Trivium de la Teología, el Derecho y la Medicina. Entre ellas la medicina sería durante siglos la aliada natural del desarrollo de las ciencias naturales. En particular representó la cantera de célebres "doctores" que iniciarían el desarrollo de la alquimia europea. La Facultad de Artes nace en París en el siglo XIII y en Bolonia, la primogénita, se forman Dante, Petrarca y Tasso...

Los constantes intercambios de Fibonacci con gente del Maghreb y de Constantinopla le relacionaron con el sistema numérico indoarábigo y descubrió sus enormes ventajas prácticas sobre los números romanos que aún se empleaban comúnmente en Europa Occidental. Su libro *Liber Abaci*, publicado en 1202, fue una especie de manual de álgebra para usos comerciales. La mayoría de sus técnicas de resolución están basadas en los trabajos algebraicos de al-Khwarizmi.

Fibonacci ha sido considerado un iniciador de los maestros del ábaco, expertos en Álgebra práctica y aritmética, que se difundieron en Italia durante el siglo XIV y precursor del renacimiento en las Matemáticas representado por las obras de Niccolo Fontana (ca. 1500–1557), alias Tartaglia, y Gerolamo Cardano (1501–1576).

Es en este contexto histórico que se fundan las primeras universidades europeas con el propósito de servir de instrumento para la expansión de los nuevos conocimientos y transmitir la herencia cultural a las nuevas generaciones. En el trivium de Teología, Derecho y Medicina que dominara el currículo universitario, la Medicina se erigía como la disciplina que demandaba el desarrollo de estudios experimentales. Pronto, célebres "Doctores" serían los impulsores del nuevo naturalismo europeo.

En el campo de las innovaciones prácticas el escenario europeo va a ser testigo en el siglo XII de la difusión de los molinos de viento. Estas maquinarias representaron un logro de la cultura persa hacia el siglo VI dC y pronto se extendieron a China y el Oriente Próximo. El aprovechamiento de la energía de los vientos se remonta al Egipto Antiguo cuando se inicia la navegación marina a vela. Pero estos artefactos con el movimiento circular de sus aspas, que ha impresionado siempre los sentidos humanos, se encargaban de cumplir dos importantes funciones: bombear agua para el riego o moler granos. Miguel de Cervantes inmortalizó su imagen con el duelo sostenido entre el enfebrecido Don Quijote y los enemigos gigantes en su fundacional obra del siglo XVII.

Un exponente de esta fecunda época en que los vasos comunicantes con la cultura árabe propician el desarrollo del conocimiento científico lo es Alberto Magno (1200 – 1280), santificado por la Iglesia Católica y titulado patrón de todos los que estudian ciencias naturales. Reconocido como uno de los naturalistas más importantes del siglo XIII, estudia en Padua y ejerce el profesorado en la Universidad de París, recorre toda Europa en sus misiones sacerdotales y así traba conocimiento de la producción científica árabe y de los clásicos griegos.



Roger Bacon representa uno de los primeros científicos que defiende el método experimental como base auténtica del conocimiento. Su rechazo a la autoridad de lo ya escrito y a favor de la observación rigurosa le confiere a sus ideas un contenido revolucionario que le hacen correr una suerte bien distinta a la de su contemporáneo Alberto Magno. En 1278, el que fuera más tarde Papa Nicolás IV (1227 – 1292) prohibió la lectura de sus libros y ordenó su encarcelamiento que se extendió durante 10 años. Su obra mayor Opus Malus se editó y publicó sólo en el siglo XVIII.

En el terreno filosófico se distingue Alberto Magno como uno de los artífices de la doctrina de "la doble verdad". La solución al debate entre la razón y la fe debió pasar por el filtro ideológico que admitiera al hombre la posibilidad y capacidad de estudiar el escenario natural creado por Dios, abriendo un espacio a la "filosofía de la naturaleza". De cualquier manera, no cesaría la censura del poder eclesiástico que obstaculizó el desarrollo y en ocasiones condujo a sanciones de prisión y horribles crímenes. Alberto se identifica con la decantación en el estudio inicial de la Zoología de los elementos de superstición y prejuicios religiosos que empañaban su conocimiento.

Uno de los iniciadores del trabajo científico y de las producciones teóricas a partir de traducciones de fuentes griegas y árabes en la Universidad de Oxford, fue Robert Grosseteste (c.1175 –1253). Grosseteste trabajó en Geometría, Óptica y Astronomía, campos en los cuales escribió numerosos tratados. Entre sus geniales atisbos se reconocen su comprensión de que el espacio hipotético en el que Euclides imaginó sus figuras era el mismo dondequiera y en cualquier dirección; su noción sobre la refracción de la luz por una esfera llena de agua; y su predicción de que la Vía Láctea era el resultado de la fusión de la luz de muchas pequeñas estrellas cercanas. Especial relevancia tienen sus trabajos en Óptica con lentes y espejos, donde vislumbra la

posibilidad de los inventos que debieron esperar varios siglos como el telescopio y el microscopio. Contó entre sus discípulos a Roger Bacon (1212 – 1294) quién heredó de su maestro la concepción de que la experimentación debe usarse para verificar la teoría mediante la comprobación de sus consecuencias.

El monje franciscano Roger Bacon constituye un segundo representante sobresaliente del despegue de la ciencia “natural” en Oxford. Estudia primero en Oxford y luego en la Universidad de París donde llega a ser profesor. Sus escritos incluyen temas sobre óptica (entonces llamada “perspectiva”), matemáticas, química, astronomía, las mareas y la reformulación el calendario. Su habilidad en el uso de instrumentos ópticos y mecánicos hizo que algunos de sus contemporáneos lo consideraran un hechicero. Bacon estaba familiarizado con las propiedades de los espejos, conoció los poderes del vapor y de la pólvora, fabricó un instrumento muy parecido al telescopio moderno y utilizó lentes de aumento para la ampliación de la imagen. En 1278 Bacon fue hecho prisionero en el Convento de Ancona en Italia, bajo el cargo de enseñar novedades sospechosas. Sus últimos escritos, compilados en 1293 en *Compendium studii theologiae*, demuestran que hasta el último momento, aún después de sufrir 12 años de prisión y aislamiento, defendió sus puntos de vista sobre la importancia de la experiencia en la construcción del conocimiento científico.



*El enigma del arco iris sobre la bóveda celeste atrajo la atención de los sabios desde Aristóteles en “*Meteorologica*” hasta Robert Grosseteste (c.1175 –1253) en su “*De Natura Locorum*”. Pero corresponde al monje dominico alemán Teodorico de Freibourg (c. 1250–1310) en su trabajo “*De Iride*” (Sobre el Arcoiris, 1304 – 1310) el mérito de desarrollar un escrupuloso trabajo experimental así como un reconocimiento a cuáles fueron los antecedentes en esta materia y cuáles sus ideas propias en el intento de explicar el problema del origen del color, su muy particular geometría y el orden en que se disponen los colores durante la aparición del arco iris primario. Aunque su interpretación teórica de los hechos experimentales es básicamente errónea, el prototipo de experimento controlado que desarrolla se anticipa a los modelos de simulación que caracterizan a la metodología de investigación moderna. Más de tres siglos después, Descartes (sin hacer referencias al trabajo de Teodorico, a pesar de que las copias de sus trabajos trascendieron hasta esta época según testimonios existentes) retoma el problema del arco iris en *Les Météores* (1637) haciendo una contribución original a la teoría del fenómeno.*

Una de las predicciones de Bacon en el campo de la Óptica, el empleo de lentes de aumento para la fabricación de gafas, se materializa hacia la segunda mitad del siglo XIII. Fueron artesanos italianos los primeros en fabricar espejuelos al lograr, trabajando lentes convexas, un correcto ajuste en la visión de los ojos. La invención se la disputan Salvino D’Armate de Pisa y Alessandro Spina de Florencia. Las lentes cóncavas para el ajuste de ver de cerca (miopía) no fueron inventadas hasta el siglo XV. Otra notable sugerencia de Bacon relacionada con poner la alquimia al servicio de la preparación de medicinas representaba fortalecer la función de las boticas galénicas del Medioevo.

La mecánica de la palanca y la composición del movimiento de un cuerpo aparecen desarrolladas en sus fundamentos básicos por el físico–matemático germano Jordanus de Nemore (1225 – 1260). Jordanus fue considerado como uno de los filósofos naturales más prestigiosos del siglo XIII. Es considerado el fundador de la estática medieval (rama de la física que estudia los cuerpos en reposo o en movimiento no acelerado). Jordanus fue el primero en formular correctamente la ley del plano inclinado. Si en el campo de las matemáticas su obra *De numeris datis* representa el primer libro de álgebra avanzado escrito en Europa después de Diofantus, en el ámbito de la Estática sienta cátedra con su libro *De ratione ponderis*. Su vida se abrevia al morir prematuramente de regreso de un viaje a Tierra Santa en plena mar.

En el siglo XIII, el científico polaco Witelo de Silesia (1230 – 1275), escribió un exhaustivo tratado de 10 volúmenes sobre Óptica que sirvió como texto clásico sobre esta materia hasta el

siglo XVII. Se piensa que debe haberse completado alrededor de 1270 y conforme a la época este texto fue copiado y circulado en forma manuscrita. El manuscrito original no se ha preservado pero una edición del texto publicado por Regiomontanus (1436 – 1476) fue impresa como un libro a mediados del siglo XVI. Muchos estudiosos defienden que "Perspectiva" está basada, por lo menos en parte, en la traducción griega de los trabajos del estudioso árabe Alhazen (965–1040) pero este es un punto controvertido.



En 1269 Pierre de Maricourt, más conocido por Petrus Peregrinus o Pedro el Peregrino, formaba parte del ejército francés que sitiara a la ciudad italiana de Lucerna. Encargado de fortificar las posiciones, minar el campo, y construir maquinas para lanzar piedras y artefactos incendiarios, en el tiempo libre se ocupaba de intentar resolver el problema del movimiento perpetuo y con este propósito diseñó un diagrama para mostrar como una esfera podría moverse sin detenerse bajo la acción permanente de un intenso campo magnético. Condenado finalmente al fracaso en su empeño de producir la máquina del movimiento perpetuo, mostró una notable previsión anticipándose a los principios del funcionamiento de un motor eléctrico.

Su "Epístola de Magnete", trabajo pionero en el estudio experimental del comportamiento de los imanes mereció de Roger Bacon la consideración de Petrus como el científico experimental más grande de su tiempo y un verdadero maestro de todas las artes técnicas conocidas en aquel momento. Sin embargo, su obra más tarde pasó inadvertida hasta que llamó la atención tres siglos después del investigador inglés William Gilbert.

No hay dudas de que muchas de las ideas propuestas por ambos fueron similares. Por ejemplo tanto Witelo como Alhazen rechazaron la común percepción de estos tiempos de que los rayos luminosos eran emitidos desde los ojos, en su lugar sugirieron que los ojos eran pasivos receptores de la luz reflejada desde otros objetos. Sin embargo tal paralelismo no significa necesariamente que uno copiara del otro, y el debate alrededor de la cuestión llega hasta nuestros días. Entre otros tópicos tratados en Perspectiva, Witelo considera cuidadosamente la refracción a través de sus observaciones, notando que el ángulo de refracción (ángulo desviado) no es proporcional al ángulo incidente, aunque el no fuera consciente del fenómeno conocido hoy como reflexión total interna. También explicó un método para producir espejos parabólicos a partir de hierro. El trabajo de Witelo sobre Óptica fue tan extenso que la tarea de ampliarlo solo fue emprendida más de tres siglos después cuando Kepler publicó en 1604 "Suplemento al trabajo de Vitelo en la parte óptica de la Astronomía".

Las ideas aristotélicas sobre la simpatía de los cuerpos cargados eléctricamente y entre los atraídos por un imán y este, vigentes a través de los siglos, reciben una primera corrección, en el camino de la problematización de este campo, por el ingeniero militar Pierre de Maricourt.

Atraído por la utópica posibilidad de producir la añorada máquina del movimiento perpetuo a partir de una esfera sin rozamiento sobre la cual actuara permanentemente un imán, Peregrinus (como también se conoce) escribe su "Epístola de Magnete" (1269) en la que identifica las propiedades de los imanes, sus polos, la atracción de polos diferentes, la repulsión entre polos de igual naturaleza, y describe una nueva brújula que opera sobre un mecanismo de pivote. La Epístola es reconocida como una de las obras de la investigación experimental medieval y como precursora de la metodología científica moderna.

La teoría de Aristóteles sobre el movimiento de los cuerpos es revisada también y se tiene como pionero de los estudios de la física terrestre que seguirán más tarde los físicos de la "balística" al filósofo francés Jean Buridan (1300? – 1358). En esencia la teoría de los ímpetus de Buridan afirma que el impulso dado por el agente que provoca el movimiento de otro cuerpo es proporcional a la velocidad y la masa del primero. Estamos a dos siglos de los trabajos del maestro de Galileo, Giambattista Benedetti (1530 –1590), con el cual se inicia el adiós definitivo a la dinámica de los ímpetus de Aristóteles.



Dante Alighieri (1265 – 1321) supone la última integración de la cultura medieval con la nueva era renacentista. La Divina Comedia constituye un inventario del pensamiento político, científico y filosófico de su tiempo. Beatriz Portinari, representó el símbolo supremo del amor que inspiró su obra maestra. Dante no fue ajeno a los vientos políticos de la Florencia de la época. Combatió para la causa de los güelfos, conoció del destierro de su ciudad, y se convirtió al partido de los guibelinos que deseaban la unificación de Europa bajo el gobierno de un emperador culto y competente.

La Escuela de Medicina de Bolonia que se desarrolla en el siglo XIII, es antesala de revolucionarios cambios en la práctica de la Medicina y entre los representantes de esta época sobresale Teodorico Borgognoni (1206–1298). En su obra "Chirurgia" describe nuevas técnicas en la cirugía como la limpieza de las heridas con vino, la aplicación de anestesia mediante una esponja somnífera empapada en una mezcla de extracto de opio, beleño, mandrágora y otras drogas, y el empleo de la sutura de las heridas tras una limpieza cuidadosa, con lo cual invierte la práctica habitual de la época de aplicar sustancias que estimulaban la formación de pus. Utiliza para la sutura hilos preparados con intestinos de animales. Esta Escuela rompe con la tradición de la Escuela de Galeno y comienza a escribir las nuevas experiencias que se acumulan en el terreno de la mesa de operaciones.

Un punto de transición en el camino que convirtió la Alquimia en Farmacia viene representado por "El Libro de la Quintaesencia" atribuido a la figura pionera en la formación de la literatura catalana Ramón Llull (1232–1316), y a Johannes Rupescissa. Ellos tienen el mérito de aportar una nueva visión en la preparación de los medicamentos.

El más importante de los alquimistas europeos que firmaba sus documentos como Geber (el famoso alquimista árabe que viviera dos siglos antes) fue el primero en describir, hacia el año 1300, la forma de preparar dos ácidos fuertes minerales: el ácido sulfúrico y el ácido nítrico. Poco tiempo después de Geber el estudio de la alquimia, por segunda vez en la historia, sería prohibido. En esta ocasión corresponde al Papa Juan XXII (Papa de 1316 al 1334) declararlo anatema. Sobrevendrían largos años de silencio o acaso de clandestinidad de la Alquimia que impidiera llegar hasta nosotros cualquier conocimiento producido.

Un gran vacío en la producción de los conocimientos científicos se advierte en el período de la gran epidemia de la peste (1340) que motivó la muerte de una cuarta parte de la población europea, y de la Guerra de los Cien Años (1337 – 1453) conjunto de episodios bélicos que asoló a Europa.

En una ojeada hacia el Oriente, resulta de interés pasar revista primeramente al contexto bizantino que al heredar el legado cultural romano podría haber representado el escenario donde se conservaran y desarrollaran las tradiciones intelectuales del mundo clásico mediterráneo. Sin embargo, los bizantinos cristianos tampoco se dedicaron al enriquecimiento de las obras de los filósofos y científicos griegos y latinos. Sólo en tiempos de esplendor de Constantinopla como los casi dos siglos de dinastía macedónica, entre el 867 y el 1057, y más tarde durante la dinastía de los Paleólogos (1261 –1453), el mundo bizantino conoció una recuperación de la vida cultural que en materia secular representó la copia y reformulación extractada de algunos manuscritos antiguos y una renovada atención hacia las matemáticas y la astronomía. Este saber "recuperado" encontró sus vías de comunicación con Europa en tiempos de las Cruzadas y luego durante el éxodo de los eruditos a la caída de Bizancio en manos de los turcos (1453).



La expansión del dominio musulmán a la altura del siglo VII por el oeste de Asia y el norte de África; los contactos con restos de la herencia cultural griega en Persia y Egipto; y los intercambios con la India y China, fueron elementos que conformaron una asimilación multicultural de la cual emergen numerosos logros en particular en las Matemáticas, la Astronomía y la Alquimia.

Esplendor de la ciencia árabe y logros del Oriente

Pero existe una aportación, que mezclada con la leyenda, merece un breve comentario. Hacia fines del siglo VII, en medio de la expansión hacia el norte de los musulmanes, la armada bizantina utiliza un arma incendiaria en batallas navales, mucho más potente que las conocidas hasta entonces, que sembró el pánico entre las naves atacantes. La receta de semejante arma, conocida luego con el término de Fuego Griego, fue tan celosamente guardada que 50 años después de su aparición en el escenario bélico sus propios dueños la habían perdido. Lo cierto es que Bizancio pudo organizar con éxito la defensa de Constantinopla del acecho de los musulmanes pero bien distinta fue la suerte corrida por los pueblos hacia el este y el oeste que fueron conquistados por los árabes.

De tal modo, paralelo al medioevo europeo, comienza rápidamente a expandirse un mundo islámico que gesta una brillante cultura cuyos logros fundamentales, examinaremos a continuación. Conviene destacar que si la comunidad islámica llega a representar la civilización más fecunda de la época medieval esto se hace posible gracias a la política de integración de las culturas precedentes y vecinas al desarrollo del patrimonio propio alentada por las dinastías musulmanas primero de los Omeyas (661– 750) y luego de los Abasis (s.VIII – s.XIII) que llegaron a dominar ya a mediados del siglo VIII desde las regiones periféricas de China y la India, por el este, hasta el norte de África y casi toda la península Ibérica, por el oeste.

Mientras los Omeyas al conducir la expansión del Islam por los vastos territorios conquistados instauraban un clima de tolerancia religiosa que favorecía la inmigración de eruditos, procedentes del dominio bizantino, donde sufrían persecución si profesaban creencias cristianas heterodoxas o paganas, tanto los Abasis como la dinastía Fatimí de Egipto se convirtieron en Mecenas de las ciencias, fundando instituciones como la Casa de la Sabiduría de Bagdad (siglo IX) para el estudio de las ciencias y para la traducción de los textos científicos y filosóficos griegos, o el recinto universitario cairota, dedicado a la enseñanza secular, la Universidad al-Azhar (siglo X).

Con relación al pensamiento matemático se destaca la aportación que viene de la India en el año 500 DC con la utilización del cero para evitar confusiones en el manejo del ábaco. La innovación más importante de este sistema, desarrollado más tarde por los árabes fue el uso de la notación posicional, en la que los símbolos individuales cambian su valor según su posición en el número escrito.



La Casa de la Sabiduría (Dar al-Hikma), fundada en Bagdad en el siglo IX por el califato Abasí, promovió un auge extraordinario de la Matemática, la Astronomía y la Alquimia. Este centro propició la profesionalización del trabajo científico y en él laboraron en armonía, sabios musulmanes, judíos y cristianos. Este beber de diferentes culturas contribuyó al liderazgo árabe en la noche medieval europea.

La Astronomía que tanto desarrollo mostró en la cultura griega pasó más tarde hacia el este a los sirios, indios y árabes. Los astrónomos árabes recopilaron nuevos catálogos de estrellas en los siglos IX y X y desarrollaron tablas del movimiento planetario. Al hacerlo debieron beber de la obra clásica de las matemáticas y la astronomía hindú “La apertura del universo” escrita en el 628 por Brahmagupta (598 – 670). Este científico fue director del observatorio en Ujjain, y su obra astronómica abarca el cálculo de las longitudes medias de los planetas, los eclipses solares y lunares, las conjunciones de los planetas unos con otros y con las estrellas fijas. Como matemático, a diferencia de la mayoría de los algebristas europeos de la Edad Media reconoció los números negativos e irracionales como raíces posibles de una ecuación.

El sistema de numeración posicional es uno de los más grandes inventos de la humanidad, ya que con sólo diez símbolos permite expresar fácilmente cualquier número y múltiples operaciones entre estos. La gloria se encarna en el árabe Al-Khwarizmi (780 – 850), de cuyo nombre se deriva la palabra algoritmo, y que es considerado el primer matemático que reporta la notación posicional. En 810 escribe un libro donde acuñó el término que en español queda como álgebra. La primera referencia escrita del uso de este tipo de numeración en Europa data del año 976. Al-Khwarizmi es un relevante representante de la Casa de la Sabiduría fundada por el califa al-Mamun en Bagdad, quien también construyó la principal biblioteca erigida después de la de Alejandría, donde se coleccionaron importantes trabajos de Bizancio, y edificó observatorios para enriquecer los conocimientos astronómicos acopiados por culturas precedentes. Además de traducir y estudiar manuscritos científicos griegos, Al-Khwarizmi escribió sobre álgebra, geometría y astronomía. Su libro *Sindhind zij*, basado en los trabajos astronómicos hindúes, resume sus aportaciones en este campo. Los principales tópicos incluidos en esta obra son los calendarios, los cálculos de las posiciones verdaderas del sol, la luna y los planetas, tablas de senos y tangentes, astronomía esférica y cálculos de eclipses y paralelajes. Al-Khwarizmi escribió un trabajo fundamental sobre geografía que está basado en la Geografía de Tolomeo, y en el cual ofrece las longitudes y latitudes de más de 2000 ciudades, montañas, ríos, islas y mares como base para un mapa del mundo, en el cual sus aportaciones se refieren a las regiones del Islam, África y el Lejano Oriente.

A mediados del siglo X, el califato Fatimí no reconoció la autoridad Abasí y gobernó la mayor parte del norte de África, desde Egipto hasta la actual Argelia, además de Sicilia y Siria. Ellos fundaron la ciudad del Cairo como la capital del nuevo imperio. Al-Hakim, el segundo de los califas fatimís que comenzaron el reinado en Egipto, fue un líder cruel y sin embargo actuó como un patrón de las ciencias, construyendo una biblioteca que fue segunda en importancia sólo de la Casa de la Sabiduría.



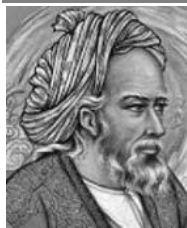
La astronomía árabe bebió de las fuentes hindúes y tuvo una gran influencia en el desarrollo posterior de la astronomía europea. En particular la obra del astrónomo Abd al-Rahman al-Sufi (903 – 986), también conocido por su nombre latinizado de Azofí, "Libro de las estrellas fijas" que incluye un catálogo de 1018 estrellas, con sus posiciones aproximadas, las magnitudes y colores, fue traducido a diferentes idiomas. En este libro escrito en 964 se descubre la galaxia Andrómeda, a la que llamó "pequeña nube".

La galaxia Andrómeda a una distancia de 2,2 millones de años luz, representa la galaxia espiral más cercana y el objeto más distante que se puede observar a simple vista. Este fue el primer registro de un sistema de estrellas fuera de nuestra propia galaxia.

Para conducir el colosal empeño de Al-Hakim de regular el curso de las aguas del Nilo fue designado el sabio Abu Ali al-Hasan ibn al-Haytham (965 –1040). Al-Haytham vino a Egipto desde Basora para encabezar el equipo de ingeniería pero a medida que avanzaba en la exploración del río mayores dificultades aparecieron para cumplir el proyecto, hasta que se vio en la necesidad de reconocer su inviabilidad.

El informe presentado por al-Haytham defraudó al califa que consideró incompetente al sabio y le asignó un puesto administrativo. Se afirma entonces que al-Haytham se hizo pasar por loco y fue recluido en su casa, lo que le permitió proseguir sus estudios científicos en la soledad de su residencia, hasta la muerte del califa. Las escrituras de Ibn al-Haytham abarcan más de 90 trabajos, de los cuales sobreviven unos 55. Los temas principales que abordó fueron la teoría de la luz y de la visión. La más importante contribución de al-Haytham a la ciencia es su obra en siete libros traducida al latín en 1270 como *Opticae thesaurus Alhazeni*. En el libro I se destaca la consideración de que la investigación de la luz debe basarse en evidencias experimentales más que en teorías abstractas. Advierte que la luz es la misma con independencia de la fuente, sea luz solar, o proveniente del fuego, o luz reflejada de un espejo, y ofrece la primera explicación correcta de la visión, mostrando que la luz reflejada por un objeto alcanza el ojo humano. Sus estudios lo conducen a concebir y proponer el uso de la cámara oscura. Desde el punto de vista matemático el libro IV es el más importante al discutir la teoría de la reflexión y describir la construcción y el uso de un instrumento de cobre para medir la reflexión desde espejos planos, esféricos, cilíndricos y cónicos, sean convexos o cóncavos. En el libro VII examina la refracción basada en la idea de que la luz es un movimiento que admite una velocidad variable (siendo menor en cuerpos más densos). Su estudio de la refracción le hace estimar en unos 15 km la altura de la atmósfera terrestre.

El final del siglo X y el comienzo del siglo XI fue un periodo de gran inestabilidad en el mundo islámico y en particular la zona de Persia controlada por la dinastía samaní que dominó los centros culturales de Samarcanda y Bujara fue sacudida por devastadoras luchas fratricidas. Estas circunstancias sacudieron la vida de los sabios de esta región y obstaculizaron el desarrollo de la cultura científica árabe. Entre los exponentes más destacados de este período se encuentran Abu Rayhan al-Biruni (973 – 1048) y Abu Ali al-Husain ibn Sina (Avicena) (980 – 1037).



Omar Khayyam (c. 1050–1122), es no sólo el más célebre astrónomo y matemático persa de la época, sino que es autor de uno de los poemas más famosos del mundo. A partir de sus propias observaciones astronómicas Khayyam midió la longitud del año como 365.24219858156 días. La medición del año al final del siglo XIX fue de 365.242196 días y hoy es de 365.242190 días. El poema Rubaiyyat, del que se le atribuyen unas 1.000 estrofas habla del drama de la naturaleza y del ser humano.

Las contribuciones de al-Khwarismi a la geodesia y la astronomía fueron superadas un siglo más tarde por Abu Rayhan al-Biruni (973 – 1048). Al-Biruni también es oriundo de la misma región de Khwarasm. La introducción del método de la triangulación para medir la Tierra y las distancias le permitió calcular el radio del planeta en 6339.6 km, un valor no obtenido en Occidente hasta el siglo XVI. Su libro *Masudic canon* contiene una tabla que ofrece las coordenadas de unos 600 lugares, casi todos a través de sus propios conocimientos. Entre sus ideas originales sobresalen sus observaciones sobre que la velocidad de la luz es inmensamente mayor que la del sonido, su noción de la Vía Láctea como una colección de incontables fragmentos de estrellas nebulosas, y sus medidas precisas de los pesos específicos del oro, mercurio, plomo, plata, bronce, cobre, latón, hierro y estaño.

El volumen del trabajo escrito por al-Biruni es impresionante. Se estima que el escribió alrededor de 146 trabajos con un total de 13,000 páginas, cubriendo prácticamente todo los ámbitos de la ciencia de su tiempo. El más importantes de estos trabajos es *Sombras* que se cree fue escrito alrededor de 1021. *Sombras* es una fuente sobre la historia de las matemáticas, la astronomía y la física. También contiene ideas importantes como aquella que identifica el movimiento no uniforme con la aceleración del móvil, o la que anticipa la introducción de las coordenadas polares al definir la posición de un punto en un espacio de tres dimensiones, usando las tres coordenadas rectangulares.

La vida de Ibn Sina – Avicena en Occidente– transcurrió en un contexto repleto de adversidades que debió sortear para producir una importante obra científica, que lo sitúa entre los más famosos doctores, matemáticos y astrónomos de su época. Ibn Sina escribió alrededor de 450 trabajos de los cuales 240 se conservan, unos 150 se relacionan con la filosofía natural y 40 se dedican a la medicina, sus dos campos principales de estudio. Una de las cuatro partes de su gran obra "El libro de las curaciones" se dedica a las matemáticas, incluyendo en esta sección sus investigaciones sobre astronomía y la teoría de la música. En particular sus observaciones astronómicas brindaron algunas aportaciones como la deducción correcta de que la distancia entre Venus y la Tierra era menor que la que separaba al lucero de la aurora del sol, y también ofreció el método para calcular la distancia entre Bagdad y Gurgan mediante la observación del tránsito del meridiano de la Luna a Gurgan. Una contribución instrumental de Sina a las mediciones astronómicas lo fue el dispositivo que permitió determinar las coordenadas de una estrella, su azimut y su altitud. Con el propósito de aumentar la precisión de las lecturas instrumentales inventó un artificio similar al nonio.



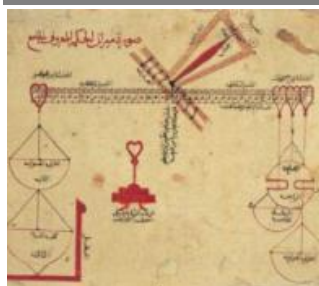
Ibn Sina – Avicena en Occidente– es conocido sobre todo por sus aportaciones en el campo de la medicina. En Física, reconoce como diferentes formas de energía al calor y la luz, y en sus estudios sobre mecánica introduce los conceptos de fuerza, vacío e infinito. Su atisbo de interconexión entre tiempo y movimiento adelanta la necesidad de los experimentos cuantitativos. La percepción de la luz es para Ibn Sina debida a la emisión de un tipo de partículas por la fuente luminosa, y por otra parte dedujo correctamente que la velocidad de la luz es finita. También investigó sobre la gravedad específica de los cuerpos y usó un termómetro de aire.

Casi dos siglos después de los trabajos en óptica de Ibn al Haytham, el sabio persa al-Farisi (1260 –1320), conocido también como Kamal al-din, publica su obra Tanqih (Revisión). En este libro al-Farisi no busca una mera explicación a los trabajos de los maestros que le precedieron sino intenta desarrollar teorías alternativas allí donde advierte vacíos en los conocimientos sobre los fenómenos ópticos. Su trabajo sobre la luz, los colores y el arco iris se exponen en esta obra, que explica en términos matemáticos satisfactoriamente la formación del arco iris.

Si al Haytham había propuesto que la luz solar es reflejada por una nube antes de alcanzar el ojo, al-Farisi propone un modelo donde el rayo de luz solar experimenta doble refracción por una gota de agua, y una o más reflexiones ocurren entre las dos refracciones. Este modelo permite la verificación experimental utilizando unas esferas de vidrio transparente llenas de agua. Naturalmente esto introduce dos adicionales fuentes de refracción, principalmente entre la superficie del vidrio y del agua. Al-farisi fue capaz de demostrar que la aproximación obtenida por su modelo era suficientemente buena para ignorar estos efectos secundarios. Para poder explicar la formación de los colores al-Farisi acudió a un nuevo punto de vista teórico que rechazó la anterior hipótesis según el cual los colores eran el resultado de diferentes combinaciones de oscuridad y luz.

Las precisas mediciones de los pesos específicos de los metales preciosos realizadas por al-Biruni fueron superadas casi un siglo después por quien fuera un joven esclavo de la región del oasis de Merv, centro agrícola y comercial de la época (en territorio de la hoy República de Turkmenistán). Al-Khazini (primera mitad del siglo XII) merece ser incluido entre los grandes físicos, por sus admirables determinaciones de pesos específicos. Impulsado por el propósito de comprobar la pureza de los metales, joyas y aleaciones con fines comerciales Al-Khazini llevó a cabo refinamientos en la práctica de las balanzas que hacen de su conocida obra la "Balanza de la sabiduría", (Mizan al-Hikma) un ejemplo de atención a la precisión científica en los resultados experimentales y uno de los más notables escritos del medioevo. Este tratado ha sobrevivido en cuatro manuscritos. En estos estudios se describe la balanza hidrostática, su construcción y usos así como la teoría de la estática e hidrostática sobre la cual descansa. En el primero de sus ocho capítulos pasa revista a los antecedentes encontrados en las obras de al-Biruni, al-Razi y Omar al-Khayam, y en los errores de los clásicos griegos para luego diferenciar claramente los

conceptos de fuerza, peso y masa. También fue consciente del peso del aire y de la disminución de la densidad con la altitud. Varias observaciones de Al-Khazini constituyen algunas de las bases de la física moderna. Fue el primero en proponer la hipótesis de que la gravedad de los cuerpos varía dependiendo de su distancia al centro de la Tierra.



Las mediciones de los pesos específicos de los metales, joyas y aleaciones para fines comerciales y la teoría en que descansa esta práctica fue objeto de estudio de la ciencia árabe. En este campo brilló quien fuera un joven esclavo. La obra de al-Khazini la "Balanza de la sabiduría" (Mizan al-Hikma) es un ejemplo de atención a la precisión científica en los resultados experimentales y uno de los más notables escritos del medioevo. En teoría al-Khazini distingue los conceptos de fuerza, peso y masa y reconoce que la densidad del aire disminuye con la altura.

Es el primero en lanzar la hipótesis de que la gravedad de los cuerpos varía dependiendo de su distancia al centro de la Tierra, fenómeno descubierto sólo 6 siglos después con el

desarrollo de la teoría de la gravitación.

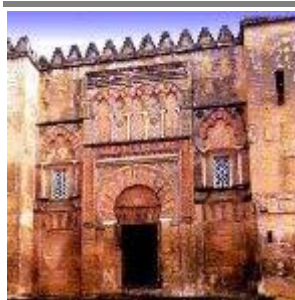
Conocidos como arabistas, la escuela árabe de Medicina superó a los médicos europeos del Medioevo. Entre los factores históricos de estos progresos se relaciona el encuentro de los árabes en Persia con los clásicos griegos conservados por los nestorianos cristianos. Entre las obras arabistas se encuentra la del médico caiyota Ibn al-Nafis (1205 –1288) que refleja el profundo dominio de la herencia hipocrática por parte de la medicina árabe. Sus principales aportaciones se refieren a la descripción de las técnicas quirúrgicas en atención a traumatismos y la representación de la circulación pulmonar, es decir del movimiento de la sangre desde el ventrículo derecho del corazón al izquierdo a través de los pulmones. Con este descubrimiento al-Nafis se antecede en casi cuatro siglos a la revolución fisiológica que provocó el redescubrimiento y el desarrollo de las ideas sobre el sistema circulatorio descrito por el inglés William Harvey (1578 – 1657).

Desde el al-Andalús español la cultura árabe irradió sus logros hacia el escenario medieval, aletargado, europeo. Este territorio fue cuna de filósofos, científicos, artistas y sabios, y en ella se forjaron pilares del saber que hoy ni sabemos con exactitud de dónde procedieron. Hacia el siglo XI Córdoba llegó a ser la capital más culta de Europa.

El Almagesto de Ptolomeo y las llamadas Tablas Toledanas astronómicas del árabe Azarquiel (c. 1100), fueron rescatadas para el saber occidental gracias al movimiento de traducción que se desarrolla a partir de 1085 con la reconquista de la ciudad de Toledo por el rey Alfonso VI. Gerardo de Cremona (1114 – 1187), instalado en Toledo durante buena parte de su vida, contribuyó con su obra a la traducción de más de noventa tratados árabes. Así, el interés por las ciencias despertado a partir de entonces no puede ser separado del encontronazo entre dos culturas que adquirió en los siglos XII y XIII una expresión de tolerancia productiva entre judíos, cristianos y musulmanes.

Otro personaje que desempeña un papel muy destacado en la transmisión hacia Europa de la cultura grecolatina conservada por los árabes, es el filósofo y “físico” árabe del al-andalús medieval, Abul Waled Muhammad ibn Rusd, conocido como Averroes (1126 – 1198). Se le atribuye también haber sido de los pioneros en el estudio de la atracción magnética. En filosofía fue defensor de la doctrina de la doble verdad, la verdad de la filosofía natural y la verdad de la teología que más tarde se abrirá paso en Europa.

Hacia el siglo XIII sobreviene el ocaso del mundo árabe cuando caen todas las regiones islámicas del Asia en manos del imperio mogol. Primero tuvo lugar la conquista y saqueo de las huestes de Hūlagū, nieto del conquistador mogol Gengis Kan, y a principios del XV otro mogol, Tamerlán (1336 –1405) barrió de nuevo las otrora grandes capitales árabes.



El al-Andaluz, dominio musulmán en la península ibérica, y en particular el califato de Córdoba, actuó como foco de irradiación del conocimiento científico hacia la Europa del florecimiento del feudalismo en los siglos XII y XIII. En particular el pensamiento europeo descubre a través de las traducciones árabes las grandes obras del mundo greco-latino y el repertorio de realizaciones de la ciencia islámica. En la imagen la mezquita de Córdoba. Impresiona la Mezquita como síntesis cultural y como uno de los más excepcionales monumentos del planeta.

Hacia el siglo XI Córdoba llegó a ser la capital más culta de Europa.

Mientras, en la península ibérica en 1492, las tropas de los reyes católicos de Castilla derrotaban al reino Nazarí de Granada, último reducto del dominio árabe, concluyendo así el proceso llamado “Reconquista” en el cual los reinos cristianos se aprovecharon de las reiteradas divisiones internas de los árabes para empujarlos hacia el sur y finalmente infringirles la derrota. Ocho siglos atrás, la conquista musulmana de la Hispania visigoda había aprovechado la guerra civil que debilitaba al reino de Toledo, y con la Batalla de Guadalete sellaba la derrota y muerte del rey Rodrigo para abrir paso a una política de pactos y capitulaciones con la nobleza y las ciudades que llevó a los árabes a la ocupación de las posesiones visigodas.

En el período bajo examen las principales realizaciones del mundo oriental, relacionadas con el ámbito que nos ocupa, estuvieron centradas en la civilización china. China conoció por entonces tres grandes dinastías: la dinastía Tang (618–907), el reinado de los Song (960–1279), y el imperio Yuan (1279 – 1368).

La experiencia artesanal china, durante la dinastía Tang, comenzó a dominar la tecnología de hornos que alcanzaran entre 1250 – 1300 oC, intervalo de temperatura requerido para que una pasta constituida por caolín, cuarzo y feldespato se transformara en un material blanco, resonante y translúcido: la porcelana. Más tarde, en el período Song se hacían porcelanas con formas elegantes, decoradas con incisiones y barnices que iban desde el marfil y los verdes y azules más pálidos hasta los castaños rojizos e incluso el negro. Los objetos más importantes eran los de la cerámica de celadón en los que se imitaba los colores del jade.

Pero los cuatro grandes inventos de la nación china, la fabricación del papel, la imprenta, la brújula y la pólvora, se registraron, durante las dinastías Song y Yuan. En cada uno de estas invenciones, se advierten enormes discrepancias entre los especialistas a la hora de fijar la fecha en que aparece introducido tal invento. Por lo visto estas diferencias se explican atendiendo al diferente criterio usado para datar su implementación. Por ejemplo existen fuentes que admiten como restos del papel más antiguo el hallazgo arqueológico encontrado en el pueblo de Lou – Lan en el Turquestán chino, de fecha cercana al siglo II. Sin embargo aquella técnica para su obtención, a partir de la celulosa de la madera, que llegara a Europa a través de los árabes, la dominaron los chinos durante la dinastía Song.

La impresión de libros mediante la utilización de bloques de madera con caracteres incisos fue empleada por los chinos para la reproducción en el 972 de los escritos sagrados budistas del Tripitaka, la principal colección canónica budista, que constan de más de cien mil páginas.

La navegación marina tuvo también en un invento chino, la brújula, importante condicionante para su desarrollo. Desde la antigüedad el hombre conocía dos tipos de sustancias, la resina fósil conocida como ámbar y la magnetita, que mostraban la existencia de una fuerza de acción a distancia como la observada en la caída de los cuerpos hacia la tierra. Pero la utilización de agujas imantadas para orientarse en las expediciones por tierra y para el trazado de planos en los terrenos de construcción fue obra del ingenio de los chinos. La invención de la brújula magnética para la navegación fue muy posterior y se fija hacia el siglo X, durante la dinastía Song (960 – 1279). Penetrar en la naturaleza del electromagnetismo exigió de todo un complejo desarrollo iniciado justamente con el nacimiento del siglo XVII.



Fue a fines del primer milenio de nuestra era que el inventor chino Bi Sheng ideó la impresión mediante tipos móviles, es decir, caracteres sueltos dispuestos en fila, de manera similar que en las técnicas actuales, para imprimir la sagrada obra budista del Triptaka. Sin embargo, un obstáculo resultó insalvable para la aceptación y posterior difusión de esta notable técnica en el contexto chino: su idioma posee más de cinco mil caracteres diferentes. Más de 4 siglos después, en la Europa del renacimiento, donde se inscribían en la agenda histórica la Reforma y el Protestantismo, surge la imprenta de tipos móviles del germano Johann Gutemberg y el primer libro impreso: la Biblia.

La pólvora es otro de los grandes inventos de la química artesanal china. Las crónicas chinas afirman haber fabricado pólvora durante la dinastía Song (960–1279) y destacan la efectividad de sus cohetes de guerra en 1232 durante el asedio de Kaifeng, y contra los invasores mongoles en 1279. Es precisamente en el siglo XIII que se registra el empleo de la pólvora en Europa. Ya en el siglo XV se ha extendido la utilización de los cohetes a las batallas navales, casi nueve siglos más tarde del empleo del Fuego Griego por la armada bizantina. La oficina parisina de pólvora y salitre del siglo XVIII fue asiento para el trabajo de Antoine Laurent Lavoiser (1743 – 1794), y rampa de lanzamiento de la primera Escuela de Ingeniería Química, la Escuela de Pólvora.

Al proceso de decadencia del medioevo en el escenario europeo le acompaña un deterioro general de la producción científica motivada por la gran epidemia de la peste (1340) y el conjunto de episodios bélicos conocido como la Guerra de los Cien Años (1337 – 1453) que asolaron el panorama europeo. Por la época, el imperio bizantino agoniza ante el empuje de los otomanos, la región asiática del imperio árabe ha sucumbido ante el ejército mongol desde el XIII, China está experimentando el declive del imperio mongol de los Yuan que concluye con el reordenamiento de la dinastía Ming, y en la Samarcanda de Ulugh Beg (1394 – 1449), nieto del gran conquistador Tamerlan, se construye un observatorio de dimensiones sin precedentes donde se elaboró un catálogo estelar, el Zij-i Sultani, publicado en 1437, que fue un modelo hasta el siglo XVII en que la astronomía da el salto concedido por el uso del telescopio y se produce la revolución científica.



La pólvora fue inventada por los chinos para la fabricación de fuegos artificiales obtenidos por la combinación de salitre (nitrato de potasio), carbón de leña y azufre. Al redescubrirse en el escenario europeo, este ingenio reveló importancia militar y fue empleado pronto en la guerra. La oficina parisina de pólvora y salitre del siglo XVIII fue asiento para el trabajo de Antoine Laurent Lavoiser (1743 – 1794), y rampa de lanzamiento de la primera Escuela de Ingeniería Química, la Escuela de Pólvora.

Período clásico de las culturas precolombinas

En tanto Europa vivía su largo período medieval, la América precolombina conoció del período clásico de sus culturas mesoamericanas y andinas.

La civilización maya, uno de los imperios más poderosos de Mesoamérica, llegó a ocupar un territorio equivalente a tres veces la superficie del archipiélago cubano, extendiéndose desde la península de Yucatán por las tierras bajas de México, Belice y Guatemala hasta Honduras. Las ciudades – estados, centros monumentales que supieron erigir tuvieron su mayor esplendor en el período clásico entre 200 d.C. – 900 d.C.

El triángulo geográfico que conformaron sus ciudades insignias en sus primeros tiempos históricos tenía en sus vértices a Palenque en Chiapas, Uaxactún en Guatemala y Copán en

Honduras. Sus dominios se extendieron así por un área intrincada y selvática, atravesada por grandes ríos.

La dimensión cultural alcanzada por la civilización maya se evidencia en su elaborado sistema de escritura jeroglífica, su impresionante capacidad arquitectónica y el notable desarrollo científico y artístico que alcanzaron. Los conocimientos mayas en el campo de las matemáticas y la astronomía constituyen ejemplo elocuente del talento creativo de este pueblo.

Aunque desde los primeros siglos de nuestra era, los territorios mesoamericanos se fueron poblando de observatorios astronómicos, fue durante el período clásico del desarrollo de esta cultura que se acumulan las observaciones y determinaciones solsticiales y los cálculos solares, lunares y planetarios, que hacen alcanzar los triunfos astronómicos de los grandes centros como Copán, Palenque y Quiriguá.

En Copán en el siglo VIII d.C. los sabios astrónomos mayas lograron determinar la duración real del año en 365.2420 días, que sólo difiere en dos diezmilésimas de días del cálculo actual realizado con medios electrónicos.

Como todos los calendarios funcionaban con unidades enteras, se vieron obligados a hacer correcciones y a poner días intercalados que armonizaran el año calendario con el astronómico, ya que este que cuenta realmente con 365.2422 días, va acumulando una diferencia que debe ser ajustada de tiempo en tiempo. Los mayas, conscientes de esta acumulación sabían que su año corría más de prisa que el año solar verdadero.



Los mayas desarrollaron un elaborado sistema de escritura jeroglífica, formada por unos 800 glifos que combinan los símbolos pictográficos, los signos gráficos para representar palabras (logográficos) y los signos fonéticos para representar sonidos.

Copán, ciudad maya radicada en territorio de la actual Honduras, uno de los ejemplos de arquitectura monumental de esta civilización, posee el texto labrado más largo de América: la Escalera Jeroglífica. Más de mil 250 bloques de piedra fueron esculpidos para conmemorar la vida de sus antepasados. Por el lugar preeminente que ocupa se ha pensado que debió conducir a un templete donde se instalara el centro astronómico de Copán.

Ha sufrido la erosión del tiempo sin que una acción oficial impida su progresivo deterioro. La cultura de nuestra América siente este daño como una pérdida irreparable.

Existen pruebas de que a partir del siglo VI y hasta el siglo VII d.C. fueron realizando diferentes correcciones, acercándose cada vez más a la duración real del año, hasta que en el 731 d.C. la ciudad de Copán logró la determinación antes dicha. Su exactitud puede ser comprendida con esta tabla comparativa.

Cálculo actual	365.2422 días
Cálculo de Copán	365.2420 días
Año Juliano	365.2500 días
Año Gregoriano	365.2425 días

Durante unos 522 años los mayas anotaron fechas de la luna en muchos monumentos, lo que indica los conocimientos que tenían de este astro. La duración del mes lunar (cambio de una fase a otra similar), según los astrónomos modernos es de 29.53059 días. Para los mayas, que no utilizaban fracciones, el problema era encontrar un número entero de lunas que igualase el número de días, lo que permitiría correlacionarlos y realizar los cálculos que se extendieran hacia el pasado o el futuro.

Como ejemplo de esas fórmulas que combinaban lunas y días para determinar la cuenta con precisión, es usada una inscripción en el Palacio de Palenque, que suma la cantidad de 4 193 días, que se acerca con bastante exactitud a 142 lunas, que da para una lunación media de 29.528 días, un error de un 400 de día, cálculo que es asombroso para el año 603 d.C. De igual modo las tablas de eclipses de la astronomía occidental actual no superan ni siquiera en un solo día, los cálculos realizados por los mayas en el siglo VIII, según aparecen en la estela de Copán erigida en el 756 d.C., lo que evidencia la perfección lograda por los astrónomos mayas.

Venus jugó un papel de primerísima importancia para la cultura mesoamericana y fue un elemento clave en el sistema general del cómputo del tiempo. Los mayas lograron en sus observaciones de este planeta, triunfos de primera magnitud que demuestran no sólo su capacidad de observación sino el cuidado puesto en todas sus operaciones de cálculos astronómicos. En su revolución sinódica, Venus presenta una oscilación que va desde los 580 a los 588 días, lo que hace muy difícil los cálculos.



La famosa torre "El Caracol" levantada sobre las ruinas de la ciudad maya de Chichén Itzá (México) se supone que fuera usado como observatorio astronómico. Su datación se hace difícil por las numerosas remodelaciones a que fuera sometido a lo largo del tiempo pero la fecha de su construcción se establece hacia el siglo IX, es decir a fines del período clásico de la civilización maya, que comprende entre el 300 – 900.

En el interior del núcleo cilíndrico principal, el Caracol tiene un pasadizo en forma de caracol, que da nombre a la torre. La astronomía maya, según las estelas del Centro de Copán, reconoció la importancia de los congresos de astrónomos y de estos eventos surgió seguramente, entre otras obras trascendentes, el calendario maya. Aunque complejo, era el más exacto de los conocidos hasta la aparición del calendario gregoriano en el siglo XVI. El día maya era llamado kin, un uinal, período comparable con el mes gregoriano, tenía 20 kines, 18 uinales conformaban el tun (360 días), y así se establecían otros períodos de base 20

Después de numerosas observaciones durante siglos, los mayas arribaron a un número entero para calcularla que es el de 584 días promedio, cifra que puede relacionarse muy fácilmente con el año solar de 365 días y el calendario sagrado de 260 días. El factor común entre 584 y 365 es 73, así 73 multiplicado por 8 es igual a 584, como 73 multiplicado por 5 es igual a 365. De igual modo 5 revoluciones sinódicas de Venus suman igual número de días que 8 años solares ($5 \times 584 = 8 \times 365 = 2\,920$).

Sin embargo, la revolución sinódica de Venus en términos exactos, dados por instrumentos electrónicos es de 583.92 días, lo que forzosamente usando la cifra de 584 al cabo del tiempo acumula un error. Así que después de siglos de observación los mayas resolvieron esta situación, cada cinco ciclos hicieron una corrección de ocho días al final de la 57 revolución de Venus. Estos cálculos fueron tan exactos que solo presentan un error de un día cada seis mil años, éxito alcanzado en el siglo VIII según un monumento erigido en el 765 d.C

Con el mismo procedimiento que el explicado, los mayas lograron calcular la revolución sinódica de Marte, Mercurio, Júpiter y Saturno, no con tanta exactitud como la de Venus pero aún así estos cálculos representan grandes triunfos tanto más si se reconoce que no disponían de instrumentos ópticos. También conocían y estudiaron estrellas y constelaciones a quienes nombraban según su lengua, pero que para nosotros son Las Pléyades, Géminis, La Vía Láctea, la Estrella Polar, Rigel, Sirio, y Betelgeuse.

No existen ninguna duda entre los investigadores de que las ciudades mayas en su período de máximo esplendor emulaban entre ellas para ver cual realizaba los cálculos más exactos. Parece ser que se realizaron varias reuniones o congresos astronómicos o matemáticos, entre los que sobresale el realizado en Copán en el siglo VIII dne. Copán fue la ciudad maya que con más exactitud realizó los cálculos de la cuenta de la Luna, del año trópico solar, la cuenta de Venus y los eclipses de Luna.



Las Estelas mayas constituyen imponentes estructuras verticales de arenisca labradas con la efigie del rey rodeado de dioses y animales sagrados. Los laterales y la parte posterior de las estelas están epigrafiados con glifos calendáricos, correspondientes a fechas de dedicación y de acontecimientos políticos y militares de importancia.

Quiriguá representa un sitio arqueológico maya localizado en la cuenca del río guatemalteco Motaguá. La Estela E de Quiriguá, datada en 771 d.C., es la mayor del Mundo Maya, pesa 65 toneladas, mide 10.5 m de alto y tiene esculturas que cubren paneles de 8 m. Los estudiosos afirman que cada cinco años era instalada una nueva estela en Quiriguá. Constituye un enigma la forma en que los mayas transportaban estas enormes rocas a través de la selva desde lejanas canteras, sin disponer de vehículos de rueda ni bestias de carga..

La ciudad de Uaxactún en el Peten guatemalteco conservó dos marcas de la cultura maya. La fecha grabada más antigua, el día 9 del año 328, aparece impresa en una pirámide cercana, la E-VII Sub. Debieron existir otros lugares con dataciones más antiguas, pero probablemente fueron trabajadas en estuco, pintadas o grabadas en madera y por lo mismo no han llegado hasta nosotros. Al mediar el siglo IX las fechas mayas en cuenta larga empiezan a escasear y casi llegan a desaparecer. Coincidentemente, es en la estela 12 de Uaxactún, esta vez cinco siglos y medio después, que se graba la última datación que se conoce en una ciudad maya, 889.

El enigma de la desaparición del mundo clásico maya ha sido explicado desde diferentes perspectivas. Los expertos piensan que las guerras, la sobrepoblación y el resultante agotamiento de los recursos naturales acabaron por debilitar los centros urbanos del Mundo Maya. Otros han apuntado hacia diferentes catástrofes que pudieron sufrir sus grandes ciudades enclavadas en una región como Yucatán, de alta probabilidad ciclónica, o Quiriguá asentada en zona cercana a una gran falla geológica.

La hipótesis de la combinación de crecimiento demográfico con degradación del medio ambiente parece atestiguar en la caída que experimenta Copán. El otrora fértil valle en determinado momento no resistió la continua explotación. Los esqueletos correspondientes a los años finales de Copán indican desnutrición, padecimiento de raquitismo y otras enfermedades relacionadas.



El imperio maya resurgió hacia el siglo XI en la península de Yucatán con la creación de nuevos centros monumentales y la reconstrucción de Chichén Itzá. La ciudad –estado de Mayapán con fuerte influencia tolteca dominó hacia 1221 a Chichén Itza y a partir de entonces la sociedad maya se fue progresivamente militarizando. Así a mediados del siglo XIII, Mayapán se había convertido en la capital política del área de Yucatán. La decadencia de la cultura maya se evidencia por la pobreza de la cerámica y de la arquitectura de esta ciudad que habitada por artesanos, guerreros y sacerdotes no sobrepasó nunca los 15 mil habitantes.

Finalmente, nuevos conflictos y problemas internos provocaron la disolución del imperio maya, coincidiendo prácticamente con la llegada de los españoles al Yucatán.



La Piedra del Sol o Calendario Azteca constituye un monolito de roca basáltica de unas 25 toneladas que fuera esculpido a fines del siglo XV. En su superficie de algo más de 10 m² está tallado el compendio de los conocimientos astronómicos y cosmogónicos de la civilización mexica. En uno de los círculos concéntricos tallados en la piedra se representan los veinte días del mes mexica (el calendario constaba de 18 meses de 20 días cada uno, más cinco días que se le adicionaban para totalizar los 365 días del año solar).

Los progresos en la Física y otros ámbitos relacionados en la época del Renacimiento

El Renacimiento como proceso de renovación cultural que se extendió por Europa durante los siglos XV y XVI, tuvo paradójicamente como paradigma la Antigüedad Clásica, y como sustento económico, el florecimiento del capitalismo mercantil que demandaba el cambio de las estructuras rígidas y fragmentarias del sistema feudal caracterizado por una economía

básicamente agrícola y una vida cultural e intelectual dominada por la Iglesia, por nuevas estructuras asentadas en la economía urbana y mercantil que promovía el mecenazgo de la educación, de las artes y de la música, alentaba un espíritu de confrontación con las viejas ideas y empujaba ciertos desarrollos en el ámbito de la ciencia y la tecnología.

Históricamente, con la aparición y el avance del Renacimiento concurren numerosos procesos movilizadores del progreso social en Europa en tanto contradictoriamente las culturas del Nuevo Mundo comenzaron a experimentar el exterminio que les impuso la conquista, el África conoció el desarraigo y la esclavitud de sus hijos y se extendieron los apetitos imperiales de conquista y explotación de los recursos de otros continentes por las potencias europeas de la época.

Entre los acontecimientos que vive la sociedad del Renacimiento europeo sobresalen:

§ *El descubrimiento de nuevas rutas marítimas que lograron la expansión de un comercio creciente condicionado por el surgimiento de la economía capitalista, y la conquista de "un nuevo mundo"*

Durante el Medioevo, el desierto del Sahara constituía una barrera para el contacto entre las culturas desarrolladas a ambos lados de esta frontera natural. Los musulmanes del norte controlaban entonces el cruce de los ibéricos por su territorio, ejerciendo el monopolio del comercio hacia el África Occidental. El príncipe portugués Enrique el Navegante (1394–1460) se impuso burlar este obstáculo e iniciar nuevas rutas marítimas. Para cumplir con estos propósitos fundó un observatorio y una escuela náutica en Sagres, en el Cabo de San Vicente, el extremo más occidental de la península portuguesa. Con el asalto al Atlántico los europeos tropezaron con las Islas Madeira en 1419 y posteriormente con las Islas Azores en 1427, convirtiéndolas en colonias portuguesas.



La Era de las Exploraciones tuvo sus condicionantes en una serie de tecnologías e ideas novedosas surgidas en el Renacimiento, como los avances en cartografía, navegación y construcción naval. La invención de la carraca y posteriormente de la carabela en Portugal y la incorporación de nuevos instrumentos como la brújula, el astrolabio y el timón bicieron posible la salida de los barcos a mar abierto. La presión económica que impulsaba tales empresas en lo fundamental estaba dada por la ampliación del comercio mercantil y la explotación de los recursos de otras regiones geográficas.

La práctica colonialista se desarrollaba según la misma receta: la construcción de fuertes, la explotación de los recursos locales, que llegó a incluir a sus propios habitantes. Juan II (1455 – 1490), continuó la empresa de Enrique, y bajo su patrocinio se produjo la circunnavegación en 1487 – 1488 del Cabo de Buena Esperanza por Bartolomé Días (c.1450 –1500). Unos diez años después, Vasco de Gama siguió la ruta de Días pero esta vez llegó a la India. Precisamente la nación líder de la exploración de las costas de este continente fue el primer país europeo en comenzar la práctica de la esclavitud de africanos, que pretendió cubrir la demanda de trabajo con la importación de esclavos. Para 1460 Portugal traía anualmente desde diferentes puntos de la costa africana casi mil esclavos. La colonización de América desde el siglo XVI amplió los horizontes de esta cruel institución, promovió la diáspora de diferentes culturas africanas y el genocidio de millones de seres humanos.

La etapa de las exploraciones, fue seguida por una extracción masiva del oro y la plata de los yacimientos encontrados en el Nuevo Mundo y la imposición del monopolio español, que llevó a una generalización del comercio transoceánico. La importancia del comercio fue elevando el protagonismo político de banqueros, comerciantes y mercaderes que iban arrebatando el liderazgo a los señores feudales.

En el capítulo de la conquista, las culturas precolombinas conocieron del despojo de sus obras y de la condena de sus productos culturales como herejes, durante la evangelización.

Cuando se inicia la conquista española, los “mexicas”, como se llamaron a sí mismos los aztecas, llegaron a ser la unidad política más importante de toda Mesoamérica cuando se inicia la conquista española. Según cuenta la leyenda, los mexicas debieron abandonar su legendaria ciudad nortea de Aztlán y fundar otra, allí donde encontraran un águila devorando a una serpiente. El escenario seleccionado por los dioses resultó ser la cuenca del lago Texcoco donde se asentaron a mediados del siglo XII, y fundaron su capital, Tenochtitlán, en 1325.



Cuando a escasos dos años del inicio de la conquista de la tierra de los quetzales en 1521, los expedicionarios de Hernán Cortés (1485 – 1547) y sus aliados tlaxcaltecas luego de 80 días de asedio asaltaron la capital azteca de Tenochtitlan, tenía lugar la destrucción de una de las ciudades más hermosas construidas por el hombre. Fue labor de ingenieros y constructores que a lo largo de siglos fundieron sobre un grupo de islotes del lago de Texcoco las más antiguas ciudades de Tlatelolco y la primigenia Tenochtitlan, llegando a contar con una población estimada en casi un tercio de millón de aztecas.

El entorno acuático de la ciudad fue dominado por este pueblo laborioso que desarrolló técnicas de cultivo intensivo de legumbres y hortalizas sobre chinampas, especie de grandes balsas en las cuales los troncos se ataban con cuerdas de ixtle (fibras del maguey). Esta agricultura intensiva se combinaba con la ganadería, la caza y la pesca en el lago, y un importante comercio, a corta y a larga distancia.

Herederos de la tradición cultural de los toltecas, pueblo que ocupa la meseta central mexicana desde finales del siglo VII hasta mediados del siglo XII, y que llegó a fusionarse con la cultura maya en su expansión hasta el Yucatán, los aztecas mediante alianzas militares con otros grupos y poblaciones se expandieron rápidamente entre los siglos XIV y XVI dominando el área central y sur del actual México. El arte, la ciencia y la mitología mexicana se nutren de los antecedentes mayas a través de los vasos comunicantes de los toltecas.

Las realizaciones científicas de los aztecas estuvieron relacionadas ante todo con los avances por una parte en la medicina y la farmacopea y por otra con la astronomía. Emplearon el calendario de 365 días y el de 260, utilizando además, la «rueda calendárica» de 52 años. La concepción cíclica del tiempo de los aztecas, le hacían creer que el futuro es predecible, de ahí la importancia que le conferían a la observación astronómica y del calendario.

La educación fue importante, sobre todo, en lo que se refiere a la formación de los nobles, marcada por su carácter obligatorio y su firmeza. La formación de la élite abarcaba contenidos en derecho, historia, astronomía, religión, y se ejercitaban también en poesía y canto. Se exaltaba el sentimiento de unidad entre los jóvenes y se organizaban órdenes militares.

El imperio inca llegó a extenderse en menos de un siglo a partir de 1450 por todo el cordón andino y la costa del pacífico desde el sur de Colombia hasta el norte de Argentina y Chile a lo largo de más de 3 500 km. La población inca compuesta por distintas culturas se estima que superaba los 10 millones de personas. La zona central de su imperio radicaba en el valle del Cuzco, al sur del Perú, donde se levantaba su capital. Los incas poseían grandes conocimientos sobre arquitectura, construcción de carreteras y astronomía.

A pesar de no contar con caballos (las llamas fueron los animales básicos de transporte), ni vehículos de ruedas ni un sistema de escritura, las autoridades de Cuzco lograron mantenerse en estrecho contacto con todas las partes del Imperio. Una compleja red de caminos empedrados que conectaban las diversas zonas de las regiones, permitía esta comunicación a través de mensajeros entrenados —los chasquis— que, actuando en relevos, corrían 402 km al día a lo largo de esos caminos. Los registros de tropas, suministros, datos de población e inventarios generales

se llevaban a cabo mediante los quipus, juegos de cintas de diferentes colores anudados según un sistema codificado, que les permitía llevar la contabilidad. Botes construidos con madera de balsa constituían un modo de transporte veloz a través de ríos y arroyos.



Las fibras del maguey y el amate, las pieles curtidas del ciervo y el jaguar, o el lienzo del algodón eran las materias primas para la fabricación del papel con que los pueblos precolombinos escribieron su historia y genealogía, su ciencia y mitología. Sus libros consistían en una larga tira que podía alcanzar más de diez metros y que adoptaba una forma de acordeón, cubierta con unas tapas de madera a menudo forradas de piel, y su contenido expresaba un tipo de escritura basada en logogramas. El encontronazo cultural que produjo la conquista tuvo su reflejo en la destrucción de estas obras, llamadas códices, por clérigos y autoridades coloniales que las consideraron herejías mientras los indígenas adoptaban la estrategia de resguardo secreto de sus sagrados libros. En la combinación de estas conductas se perdió una valiosa memoria histórica y científica.

Entre las expresiones artísticas más impresionantes de la civilización inca se hallan los templos, los palacios, las obras públicas y las fortalezas estratégicamente emplazadas, como Machu Picchu. Enormes edificios de mampostería encajada cuidadosamente sin argamasa, como el Templo del Sol en Cuzco, fueron edificados con un mínimo de equipamiento de ingeniería. Otros logros destacables incluyen la construcción de puentes colgantes a base de sogas (algunos de casi cien metros de longitud), de canales para regadío y de acueductos. El bronce se usó ampliamente para herramientas y ornamentos.



Al finalizar el segundo milenio de la cultura occidental, la comunidad internacional recibía consternada la noticia de que el Intihuana ("donde se amarra el sol" en voz quechua), el reloj solar inca había resultado dañada en su estructura durante el rodaje de un programa comercial de la TV en la legendaria ciudad sagrada de Machu Picchu. La estructura pétreo se cree que era un elemento astronómico y servía para medir el tiempo, de acuerdo con las sombras que se proyectaban al iluminarlo el Sol. El Parque arqueológico de Machu Picchu, Patrimonio Cultural de la humanidad merece un reglamento especial que lo protega.



Cuando en 1911 el explorador estadounidense Hiram Bingham anunciaba al mundo haber descubierto a más de 2 mil metros de altura la ciudad de Vilcabamba, refugio de los soberanos incas rebeldes desde 1536 hasta 1572, cometería un error pero la humanidad y en particular el mundo latinoamericano le guarda eterna gratitud por habernos legado el hermoso bastión inca de Machu Picchu. La legendaria Vilcabamba permaneció oculta hasta que una expedición española en 1997 descubriera sus restos. Desde allí, Tupac Amaru organizó la resistencia inca contra la dominación colonizadora hasta ser derrotado y pagar con su vida la defensa de su cultura...

§ *El desarrollo de los intereses nacionales que diera origen al nacimiento de los estados. Estos intereses económicos se reflejaron en el movimiento de las reformas religiosas (siglo XVI) que condujo a una flexibilización del control de la Iglesia sobre el proceso de construcción del conocimiento.*

Bohemia, la región Europa Central dominada en el siglo XV por el Sacro Imperio Romano Germánico, fue el escenario dónde prendieron los sentimientos nacionalistas que encontraron expresión religiosa en las protestas de Jan Hus (c. 1372–1415), precursor de la Reforma protestante, contra el poder abusivo de la Iglesia Católica. En el Concilio Eclesiástico que se reunió en la ciudad imperial de Constanza en 1414, Hus fue declarado hereje y conminado a

retractarse de sus posiciones. El clérigo de Praga rechazó las ofertas de perdón y fue condenado a la hoguera.

Un siglo después de la rebelión husita en 1517, Martín Lutero (1483–1546) publicó sus tesis de Wittenberg que atacan los abusos de la autoridad eclesiástica y tres años después publica sus creencias en la libertad de la conciencia cristiana, formada sólo por la Biblia, el sacerdocio de todos los creyentes y una Iglesia mantenida por el Estado. La ruptura de Lutero con la Iglesia podría haber sido un hecho aislado si no hubiera sido por la invención de la imprenta. Sus escritos, reproducidos en gran número y muy difundidos, fueron los catalizadores de una reforma que no pudo contenerse geográficamente, triunfó en Suiza con las ideas reformistas de Ulrico Zuinglio (1484 –1531), más tarde en Ginebra, Juan Calvino (1509 – 1564), publicó la primera gran obra de la teología protestante, Institución de la religión cristiana (1536) que se convertiría en el eje organizador de las Iglesias Protestantes.

Finalmente cabe destacar que la lucha entre católicos y protestantes no tuvo solo una expresión espiritual. Un siglo de enconadas contiendas religiosas entre 1550 y 1650 provocaron la destrucción general del continente. No obstante, estas guerras religiosas se entrelazaron de forma compleja con las contiendas políticas, que finalmente adquirieron un papel de gran importancia en la configuración de las naciones europeas.

§ *La toma de Constantinopla por los turcos (1453) que significa la caída del último reducto de la herencia cultural grecorromana y el éxodo de los eruditos que trasladan consigo hacia Europa numerosas fuentes del antiguo saber griego.*

§ *La inauguración de la primera imprenta práctica por Johan Gutenberg (1397 – 1468) con lo cual se alcanza una reproducción y difusión del conocimiento escrito no imaginado en épocas anteriores.*

En este telón de fondo social, crece bruscamente el interés por la Astronomía y llegan tiempos felices para la trigonometría.



La técnica de publicación de libros con tipos móviles de impresión, mediante el perfeccionamiento de la prensa de imprenta por Gutenberg multiplicó las posibilidades de reproducir el acervo de conocimientos existentes para una sociedad que ya había aumentado su producción de material escrito y lo anhelaba vivamente. La invención de la imprenta representó además un logro mecánico, fue una de las primeras máquinas estandarizadas, manufacturada en serie, y los mismos tipos móviles fueron el primer ejemplo de piezas del todo estandarizadas e intercambiables. Hacia finales del siglo XV habían más de mil imprentas públicas solamente en Alemania, y en Nuremberg existía un gran negocio de imprenta con 24 prensas y un centenar de empleados entre los que se encontraban cajistas, impresores, encuadernadores y correctores.

En la transición del pensamiento medieval al del Renacimiento aparece como un personaje importante el filósofo Nicolás de Cusa (1401 – 1464), considerado el padre de la filosofía alemana y uno de los primeros filósofos de la modernidad. En 1444, Cusa se interesa en la astronomía y elabora ciertas teorías que más tarde serán aceptadas y otras que aún están por probar. En su lenguaje arropado por una envoltura religiosa expresa que si Dios representa la unidad y la infinitud, el mundo también es infinito. Este es el paso radical a la física moderna: si el Universo es infinito, no tiene fin, se deriva pues que no existe centro del Universo, la Tierra no es el centro del Universo, todo es relativo y no hay un lugar de privilegio en el Universo. Tampoco hay quietud, sino que todo está en movimiento, incluido el Sol. En el mismo año de su muerte el cardenal redacta su “De ludo globo”, en el cual, aferrado a la perfección aristotélica pero interesado en encontrar causas físicas, explica el movimiento de un cuerpo perfectamente redondo sobre una superficie perfectamente lisa como un movimiento continuo y uniforme. La razón de este comportamiento radica en que la esfera toca al plano en sólo un punto,

reproduciendo continuamente una posición de desequilibrio que alienta el ímpetu eterno. De Cusa lega la noción que aplicada a los orbes celestiales adoptará Copérnico. El giro eterno de los orbes, sin obstáculos, arrastra a los planetas engastados en ellos.

En el siglo XV, el profesor prusiano de la Facultad de Artes de la Universidad de Viena, Johannes Muller Regiomontanus (1436 – 1476) hizo importantes contribuciones a la trigonometría y astronomía. Su obra *De triangulis omnimodis* (1464) en los libros III, IV y V desarrolla la trigonometría esférica que es por supuesto de máxima importancia para los estudios astronómicos. En enero de 1472 hizo observaciones de un cometa que fueron bastantes precisas para identificarlo como el cometa estudiado por Halley en 1682 cuya reaparición pronosticó justamente para 1758. El interés de Regiomontanus en el movimiento de la Luna le permite describir un método para determinar distancias entre dos puntos de la Tierra a partir de la posición de la Luna en su libro *Ephemerides* editado en su propia imprenta por los años 1474–1506. Este libro tuvo la notable importancia de servir a Américo Vespucio y Cristóbal Colón para medir distancias en el Nuevo Mundo. Sus reflexiones críticas a la teoría lunar de Ptolomeo, las observaciones que acusaban que el planeta Marte se encontraba a 2o de la posición pronosticada, y la determinación de las imprecisiones de las Tablas Alfonsinas, publicadas en Venecia en "Epitoma del Almagesto" atrajeron la atención del entonces estudiante de la Universidad de Bolonia, Nicolás Copérnico (1473 – 1543).



Se ha afirmado que el espíritu del Renacimiento se encarna como en nadie en la personalidad de Leonardo da Vinci (1452 – 1519). Acaso con esta expresión se pretende identificar a quien muestra una creatividad impar, anticipándose en el tiempo a realizaciones pertenecientes al futuro en los campos más diversos de la actividad humana. Al servicio de diferentes mecenas de la época, actúa como ingeniero militar, arquitecto, y pintor. Su pupila escudriña la anatomía humana con la misma penetración que mira hacia el cielo y diseña artificios que amplían la imagen y recuerdan al telescopio.

Su mano traza el rostro y el alma humana, al tiempo que esboza el paracaídas (1480), idea el telescopio (1490), proyecta canales para desviar el río Arno y salvar a la Florencia sitiada (1503), bosqueja máquinas voladoras (1492) y reloj de péndulo (1494), y planea fortificaciones militares. Se afirma que sus cuadernos de anotaciones resultaron indecifrables para sus contemporáneos, que junto a su genio mostraba debilidad para concluir sus proyectos, que la dispersión de sus actividades restó tiempo para emprender y terminar sus inmortales obras de arte. La máquina del tiempo se encargó de cristalizar y aún superar sus proyectos técnicos más audaces; sus pinturas ingresaron para siempre en el salón de la inmortalidad.

Precisamente el inicio de la revolución en la historia de la Astronomía se asocia a las aportaciones del célebre astrónomo polaco. En 1514, Copérnico distribuyó a varios amigos unas copias manuscritas de un pequeño libro, que en la página de presentación no incluía el nombre del autor. Este libro usualmente conocido como "Pequeño comentario" lanza la visión copernicana de un universo con el sol como centro en siete tesis presentadas como axiomas:

1. No hay centro en el universo
2. La Tierra no es el centro del universo.
3. El centro del universo está próximo al sol.
4. La distancia de la Tierra al sol es imperceptible en comparación con la distancia a las estrellas.
5. La rotación de la Tierra explica la aparente rotación diaria de las estrellas.
6. El aparente ciclo anual de movimientos del sol es causado por la rotación de la Tierra a su alrededor.
7. El aparente movimiento retrógrado de los planetas es causado por el movimiento de la Tierra desde la cual uno observa.

El más sobresaliente de los axiomas es 7, porque aunque sabios anteriores habían supuesto que la Tierra se mueve, algunos incluso llegaron a proponer que la Tierra gira alrededor del sol, nadie antes que Copérnico explicó correctamente el movimiento retrogrado de los planetas más

externos. El propio Copérnico adelantó en su "Breve Comentario" que omitía las demostraciones matemáticas para incluirlas en un trabajo más completo que publicaría más tarde. Sólo 27 años después, ante la insistencia entusiasta de Georg Joachim Rheticus, su joven discípulo, profesor de astronomía de la Universidad de Wittenberg, Copernico superó su prolongada resistencia a entregar su obra "De revolutionibus orbium caelestium" (Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes) para la publicación.

Rheticus entregó el manuscrito a un experto editor de Nuremberg que solicitó a Andreas Osiander, un teólogo luterano que hiciera la supervisión del texto por su experiencia en la impresión de textos matemáticos, y éste sustituyó el prefacio original de Copérnico con una carta al lector que explicaba que el contenido del libro no debería entenderse como la verdad, sino más bien como un simple método de calcular las posiciones de los cuerpos celestes. La carta no fue firmada. Osiander también cambió sutilmente el título del libro para hacerlo menos orientado al mundo real.



La obra de Copérnico "De revolutionibus orbium caelestium" (Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes, 1543), viene a destronar la teoría de Tolomeo de un Universo egocéntrico, santificada por una visión idealista del universo, demostrando que los movimientos planetarios se pueden explicar si se atribuye al Sol una posición central. Al establecer un nuevo marco de referencia dejó intacto la "santidad circular" de las órbitas planetarias por lo que tuvo que acudir también a la hipótesis de los epiciclos para explicar el movimiento relativo de los planetas. Sólo la teoría de la gravitación universal elaborada por Newton 150 años después ofrecería la fundamentación de la teoría heliocéntrica copernicana.

Algunos sienten indignación por el comportamiento de Osiander otros creen que gracias a estos cambios el trabajo de Copérnico fue leído y no inmediatamente condenado. Sólo la teoría de la gravitación universal elaborada por Newton 150 años después ofrecería la fundamentación de la teoría heliocéntrica copernicana.

Sin embargo estas ideas fueron rechazadas durante su siglo y el siguiente debido a la ortodoxia católica, luterana (en la persona del propio Lutero) y calvinista. Estas ideas de Copérnico solo fueron aceptadas sin reservas por los neoplatónicos representados por Giordano Bruno (1548 – 1600) y Johannes Kepler (1571 – 1630).

Tycho Brahe (1546 – 1601), propuso un sistema con un carácter ecléctico entre las ideas del heliocentrismo y el geocentrismo y pidió a su discípulo Johannes Kepler (1571–1630) que utilizando los resultados de esas observaciones le confirmara la idea sobre su modelo. Nadie podrá saber si Brahe propuso este modelo ante el temor promovido por la suerte corrida por su contemporáneo Giordano Bruno (1548 – 1600) considerado hereje y quemado en la hoguera por orden del tribunal de la Inquisición. De cualquier modo, las contribuciones de Tycho Brahe (1546 –1601) a la Astronomía fueron enormes. A los 26 años observa una nueva estrella en la constelación de Casiopea, publicando un breve informe sobre este acontecimiento ("Sobre la nueva estrella nunca previamente vista", 1573) que significó el descubrimiento de la primera supernova y puso en duda la filosofía aristotélica vigente sobre la inmutabilidad de la región supralunar.

La obra de Copérnico "De revolutionibus orbium caelestium" (Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes, 1543), viene a destronar la teoría de Tolomeo de un Universo egocéntrico, santificada por una visión idealista del universo, demostrando que los movimientos planetarios se pueden explicar si se atribuye al Sol una posición central. Al establecer un nuevo marco de referencia dejó intacto la "santidad circular" de las órbitas planetarias por lo que tuvo que acudir también a la hipótesis de los epiciclos para explicar el movimiento relativo de los planetas. Sólo la teoría de la gravitación universal elaborada por Newton 150 años después ofrecería la fundamentación de la teoría heliocéntrica copernicana.



El napolitano Filippo (Giordano) Bruno (1548 – 1600) ingresó en la orden de los dominicos y recibió instrucción, donde Tomas Aquino había enseñado, en la filosofía aristotélica. A los 29 años abandona Nápoles al haber llamado la atención de las autoridades inquisidoras por sus tendencias heterodoxas. Durante su residencia en Londres, en 1584 escribe sus obras "La cena del miércoles de cenizas" y "Sobre el universo infinito y los mundos". En el primer libro, Bruno defiende la teoría heliocéntrica de Copernico, y en el segundo desarrolla la idea de la infinitud del universo, y sugiere que el universo debe contener infinitos mundos, muchos de ellos habitados por seres inteligentes. Seis años después de la publicación de estos libros al viajar a Venecia es arrestado por la Inquisición. En 1592 es enviado a Roma y durante ocho años es sometido a prisión e interrogatorios periódicos. Al final Bruno rechazó retractarse siendo declarado hereje y condenado a la hoguera. Las actas del juicio y de los cargos que le fueron imputados se perdieron. De cualquier modo, fue otro mártir de la ciencia...

A partir de entonces, Brahe queda convencido de que el progreso de la Astronomía exigía de observaciones más precisas del movimiento de los cuerpos celestes. Con tal propósito construye un observatorio cerca de Estocolmo, diseña, fabrica, calibra y chequea periódicamente la precisión de sus propios instrumentos e instituye las observaciones nocturnas ("Instrumentos para la Astronomía renovada", 1598). Pronto este observatorio se convierte en institución astronómica de referencia en toda Europa. Brahe cambia también la propia práctica de observación cuando no se contenta con apreciar las posiciones de los cuerpos celestes en ciertas posiciones importantes de sus órbitas sino que reporta el movimiento a través de sus órbitas. El resultado fue que una serie de anomalías nunca antes notificadas fueron reportadas por Brahe. Sin estas series completas de observaciones de precisión sin precedente, Johannes Kepler (1571 – 1630) no habría descubierto que los planetas se mueven en órbitas elípticas.

La obra de Kepler, se publica en un período que abarca el final del siglo XVI y las tres primeras décadas del XVII. En 1597 Kepler publicó su primer trabajo importante "Misterio Cosmográfico". Persigue "deducir" las órbitas planetarias, y en este empeño descubre que a medida que los planetas se alejan del sol su movimiento se hace más lento. Su aproximación a la ley de la gravitación universal en el lenguaje de este siglo se advierte en sus propias palabras: "O bien las almas movientes de los planetas son tanto más débiles cuanto más se alejan del Sol, o bien hay una sola alma moviente en el centro de todos los orbes, esto es, en el Sol, que mueve con más fuerza a los planetas más próximos a ella y con menos a los más alejados". Se viene gestando la nueva dinámica celeste que intenta explicar las causas del movimiento y su formalización matemática. Brahe recibe su obra y lo invita a Praga, al advertir su extraordinario talento matemático, para que calcule nuevas órbitas a partir del arsenal de observaciones acumuladas en su observatorio. Los resultados sobresalientes de esta integración pertenecen al siguiente siglo.

Al tiempo que la Astronomía sufre ahora en Europa un despegue, el siglo XVI representa un despertar en el desarrollo del pensamiento matemático, que pretende edificar una nueva ciencia del movimiento asentada en los experimentos cuantitativos.



Cuando Brahe descubre un nuevo punto luminoso inmóvil en la bóveda celestial, más brillante que Venus, los astrónomos creían observar un lento movimiento del astro que demostrara que no era una estrella y así mantener viva la invariabilidad del orbe estelar. Fue la ocasión para que Brahe desarrollara un sextante gigantesco dotado con un corrector de errores, mostrando lo que constituiría una especie de obsesión en su carrera, la búsqueda de la precisión en las observaciones astronómicas para derivar cualquier generalización sobre el movimiento de los astros. Esta posición se explica en la respuesta dada al joven Kepler sobre su opinión acerca de su primera obra "Misterios del Cosmos": "que haya razones para que los planetas realicen sus circuitos, alrededor de un centro u otro, a distancias distintas de la Tierra o del Sol, no lo niego. Pero la armonía y proporción de este arreglo debe ser buscada a posteriori, y no determinada a priori como vos y Maestlin queréis". Un año después Kepler era su asistente principal, y luego al pie de la cama en que su tutor se le despedía para siempre, parece haber jurado que contra cualquier obstáculo, y fueron muchos los que les deparó su vida, sería fiel a este legado.

Los estudios de balística y la solución algebraica de la ecuación de tercer grado aparecidos en la obra *Nova Scientia*, en 1537 representan una original aplicación de los conocimientos matemáticos más avanzados de la época al fuego de artillería, y a la descripción de la trayectoria de los cuerpos en caída libre. El autor de estos trabajos, Niccolò Fontana (ca. 1500–1557), más conocido por su apodo de Tartaglia (en italiano tartamudo), fue víctima de un sablazo recibido de pequeño durante la ocupación militar de su ciudad natal, Brescia, que le provocó para el resto de su vida graves dificultades al hablar. No parece rara la inclinación de Tartaglia por los estudios balísticos al conocer que en Brescia se está creando por entonces lo que fuera un fuerte emplazamiento de la industria de armas.

La obra de Tartaglia sentó un criterio muy agudo: la trayectoria de un proyectil es siempre curva, y la bala comienza a descender desde el instante mismo en que abandona la boca del cañón. La afirmación, opuesta al sentido común que advierte que a escasa distancia el tiro se sitúa en el punto de mira, admite la acción de la gravedad durante todo el recorrido y su demostración acude al modelo de experimento imaginario que tanto emplea luego Galilei.

El periodo moderno del álgebra se relaciona con la obra *Ars Magna* (1545) escrita por el médico y matemático italiano Gerolamo Cardano (1501–1576). La atribulada vida personal de Cardano contrasta con la extraordinaria productividad profesional alcanzada en diversos ámbitos. En 1551 escribe su “*Opus novum de proportionibus*” donde Cardano trata de aplicar métodos cuantitativos al estudio de la Física, en particular a la caída libre de los cuerpos. Es uno de los primeros en refutar la posibilidad del movimiento perpetuo excepto en el caso de los cuerpos celestes y realiza también importantes contribuciones al campo de la hidrodinámica. En 1552 alcanza como médico celebridad mundial al recuperar la salud del arzobispo de St. Andrews, John Hamilton, aquejado de un asma severa que lo había llevado al borde de la muerte. Cardano hace la primera incursión de la historia en el reino de la teoría de la probabilidad en su libro “*Liber de Ludo Aleae*”, sobre juegos de azar, probablemente terminado hacia 1563 y publicado un siglo más tarde. Se acredita a Cardano la invención del mecanismo de articulación entre la caja de velocidad y la barra de transmisión de los autos y la cerradura de combinación. En 1570, con 69 años de edad fue encarcelado por el cargo de herejía y acusado de hacer el horóscopo de Jesucristo y alabar en un libro a Nerón, torturador de los mártires cristianos. Tras su liberación, cuatro meses después, se le vetó para desempeñar un puesto universitario y para cualquier publicación posterior de su obra.



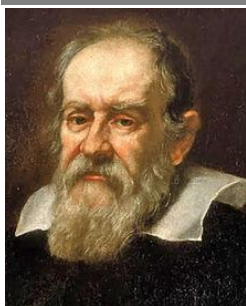
A los 18 años, Kepler ingresa en la Universidad Protestante de Tubinga, donde aprende con el profesor de matemáticas Michael Maestlin (1550–1635), la teoría heliocéntrica de Copérnico. En sus conferencias Maestlin continuaba enseñando el sistema de Ptolomeo pero en los seminarios entrenaba a sus estudiantes más aventajados con los detalles técnicos del sistema copernicano. Kepler declaró más tarde que ya por este tiempo era copernicano por razones físicas y metafísicas. Con sólo 23 años es profesor de matemáticas de la Universidad Protestante de Graz, donde permanece durante 6 años hasta 1600, cuando todos los protestantes, en el marco de las medidas de la Contrarreforma, son obligados a convertirse al catolicismo o abandonar la provincia. Unos años antes de terminar el siglo publica su primera obra que revela su virtuosismo matemático en el cálculo de las órbitas planetarias y contiene los gérmenes que producirán sus tres famosas leyes en el siglo siguiente. La ley de la gravitación universal sustentada por Newton décadas más tarde encuentra en las ideas de Kepler uno de sus más sólidos pilares. Se afirma que es el autor de la primera novela de ficción “Sueños”, donde narra la epopeya de viajeros a la Luna. ¿Fue su sueño?

La historia del pensamiento científico debe reconocer en Giambattista Benedetti (1530 – 1590), discípulo de Tartaglia y maestro de Galileo, el planteamiento de dos ideas originales que representan un adiós a la dinámica aristotélica de los ímpetus. La primera concierne a la forma de entender el movimiento circular cuando afirma que este origina en los cuerpos un ímpetu tendente a moverse en línea recta (la idea de la fuerza centrífuga). La otra, de mayor trascendencia, se relaciona con la caída libre de los cuerpos y rompe una tradición inmemorial

santificada por Aristóteles, cuando afirma que dos cuerpos caen con la misma aceleración con independencia del peso de ellos. Las bases de la teoría desarrollada por Benedetti se consideran muy parecidas a las que Galileo expone en 1590, en su obra no publicada, *De Motu*.

Hacia 1585, un ingeniero holandés, Simon Stevin (1548 – 1620), que se había destacado por su asesoría técnica a los ejércitos de las Provincias Unidas (territorios septentrionales de los Países Bajos) encabezadas por el príncipe Mauricio, Conde de Nassau, frente a las fuerzas españolas, escribió un par de libros que contenían sobresalientes aportaciones al campo de la estática y la hidrostática. Inspirado por la obra de Arquímedes, Stevin escribió importantes trabajos en mecánica. Sobresale su obra *De Beghinselen der Weegconst* publicada en 1586 donde desarrolla el famoso teorema del triángulo de fuerzas que le dio un nuevo impulso a la Estática. En este mismo año aparece su trabajo sobre hidrostática que lo hace merecedor según algunos de ser considerado un refundador de esta disciplina al demostrar que la presión ejercida por un líquido sobre una superficie depende de la altura del líquido y del área de la superficie. Como si fuera poco, tres años antes que Galileo, reporta que diferentes pesos caen desde una altura dada en el mismo tiempo. Sus experimentos fueron conducidos usando dos bolas de plomo, una diez veces más pesada que la otra, que eran dejadas caer desde la torre de una iglesia en Delft.

A pesar de que los trabajos más importantes de Galileo cristalizan en el siglo XVII, una cualidad del pisanino no tan bien conocida es la capacidad inventiva que despliega en su juventud y que lo convierte a fines del XVI en autor de dos patentes de invención. Según se narra, en 1592 mientras enseñaba en la Universidad de Padua, Galileo, dado su permanente interés en los dispositivos mecánicos, frecuentaba un lugar próximo a Padua donde fondeaban y se cargaban las naves venecianas, poniéndose así en contacto con los adelantos de la época en materia de tecnologías náuticas y de construcción naval. Allí se enfrenta con el problema que involucra la colocación de remos en las galeras, y entonces concibe el remo como una palanca y el agua como punto de apoyo.



*Galileo estudió en la Universidad de Pisa, y posteriormente se desempeñó como catedrático de Matemáticas desde 1589 a 1592. Durante este tiempo, inició un libro, *De motu* ("Sobre el Movimiento"), que nunca publicó, pero que permite seguir el desarrollo inicial de sus ideas en relación al movimiento. Una de las proposiciones fundamentales de la filosofía aristotélica es que no hay efecto sin causa. Aplicada al movimiento de los cuerpos se puede afirmar que no hay movimiento sin fuerza. La velocidad, entonces es proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la resistencia. Esta noción aplicada a los cuerpos que caen, reconoce al peso como la fuerza que impulsa al cuerpo hacia abajo y la resistencia es ofrecida por el aire o el agua. Si el peso determina la velocidad de la caída, entonces cuando dos diferentes pesos son lanzados desde una altura dada el más pesado caerá más rápidamente y el más ligero más lentamente, en la proporción de los dos pesos. Galileo es el representante por excelencia de la corriente que comienza en el siglo XVI a edificar una nueva ciencia del movimiento asentada en los experimentos cuantitativos. Durante las dos décadas siguientes Galileo refinó los experimentos, cambió sus ideas, y llegó a establecer la ley de la caída de los cuerpos*

Un año después, patentó un modelo de bomba, dispositivo sencillo que levantaba el agua usando sólo un caballo. Galileo describió su invención como: "estructura conveniente de muy fácil uso, y barata para la elevación de agua y la irrigación de terrenos, con el movimiento de un solo caballo, capaz de verter continuamente unos veinte cucharones grandes de agua". Por otro lado su afán por medir una propiedad asociada con el calor transferido por los cuerpos diseñó y construyó en 1597 un termómetro primitivo. El termoscopio, que aprovecha los cambios de densidades que experimenta el aire con las variaciones de temperatura, consiste en un bulbo de vidrio de forma y tamaño ovoidal con un largo y delgado cuello que se sumerge parcialmente, por su extremo invertido, en un frasco lleno de agua. Al calentar el bulbo ovoidal el aire se expande empujando la columna del agua. El instrumento simple e inexacto había dado nacimiento a la termometría y por consiguiente a la termodinámica.

El representante más importante del movimiento iniciado en el campo de las Matemáticas está representado por el francés F. Viète (1540 – 1603) quien se considera el primer autor de un tratado moderno de Álgebra por la obra publicada en la última década del siglo XVI. Sus trabajos especialmente en la teoría de números sirvieron de antecedentes para las investigaciones matemáticas del siguiente siglo.

La cartografía y la geografía también experimentaron notables progresos que se concretan en los estudios y la obra del matemático y geógrafo flamenco Gerardus Mercator (1512 – 1594). Mercator había ingresado en 1530 en la Universidad de Lovaina, en la casa de estudios que enseñaba durante dos años la filosofía aristotélica. Decepcionado con estos estudios decide emprender un viaje que lo lleva por diferentes ciudades, entre ellas Malinas y Amberes, que le despiertan un profundo interés por la Geografía. El primer mapa del mundo que produce Mercator usando el método de proyección aparece en 1538. Este mapa es notable por ser el primero en representar a América como un alargamiento desde las regiones norteñas a las regiones del sur y por dar a América del Norte este nombre. Durante diez años Mercator trabaja en la confección de un globo celestial que completa en 1551 usando el modelo del Universo descrito por Copérnico. En 1568 ideó un sistema de proyección de mapas que lleva su nombre. Este sistema representa los meridianos como líneas paralelas y los paralelos de longitud como rectas que se cruzan con los meridianos formando ángulos rectos. Muy utilizado en navegación, permite trazar una ruta en línea recta entre dos puntos de un mapa, que se puede seguir sin cambiar la dirección magnética o de la brújula. La llamada “proyección Mercator”, durante 400 años ha sido aceptada como la verdadera representación plana de nuestro planeta.



Se afirma que el geógrafo flamenco Gerardus Mercator sufrió prisión en 1544 por supuesta práctica hereje y que la Universidad de Lovaina lo apoyó obteniendo su libertad meses después. Una suerte bien distinta corrió otro graduado de esta Universidad, el médico y filósofo español Miguel Servet (1511–1553). La teocracia calvinista de Ginebra, contraria a su interpretación de la Santísima Trinidad y lo que parece mas inconcebible opuesto a la nueva visión fisiológica de Servet lo acusa de herejía y blasfemia contra la cristiandad, y lo condena a morir quemado en la hoguera. En su obra Restitutio christianismi, Servet describe con rigor la circulación pulmonar.

A partir del siglo XVI se suman a los médicos, como aliados del desarrollo de la Alquimia, los interesados en la minería. Tal vez la cabeza mas visible de los cambios que se vienen experimentando en este campo se personifica en la figura de T. Bombastus (Paracelso, 1493 – 1541). Paracelso inicia un movimiento conocido como iatroquímica o química médica. Aunque hereda el lenguaje místico de los alquimistas, sus ideas representaron un punto de viraje, pues su quinta esencia no es fruto del anhelo estéril de transformación de metales en oro, sino fuente iniciadora, aún expresada vagamente, de la quimioterapia que siglos más tarde fundara Paul Erlich con el preparado arsenical conocido como salvarsán.

En el otro polo de la actividad pre-química nos encontramos con Georg Bauer (Agrícola, 1494 – 1555), residente en la más grande región minera europea del siglo XVI, considerado como el padre de la mineralogía. La obra de Agrícola, despojada de la especulación alquimista es el primer tratado de mineralogía fundamentado en la observación, la práctica y las técnicas industriales más avanzadas de la época.

La medicina del renacimiento también marcó un viraje en diversas concepciones anatómicas aceptadas durante miles de años desde la obra de Galeno en el segundo siglo de nuestra era, en primer lugar gracias a las observaciones del cuerpo humano realizados por el anatomista y fisiólogo del renacimiento europeo, el belga Andrés Vesalio (1514– 1564), e ilustradas fielmente en sus obras por un discípulo del Tiziano. Su etapa productiva se relacionó con sus investigaciones en la Universidad de Padua conducidas durante cinco años. Uno de los discípulos de Vesalio en la Universidad de Padua, Realdo Colombo (1516–1559), quién fuera luego su

sucesor en la cátedra de Anatomía describió en su obra póstuma *De Re Anatomica*, la circulación pulmonar. La revolución en el terreno de la fisiología era cuestión de años y sería impulsada por la obra de un joven médico inglés, que vino del otro lado del Canal de la Mancha para doctorarse en Padua, de nombre William Harvey (1578–1657).



Para la Física, el final del siglo XVI va a representar pasos balbuceantes en la construcción de instrumentos ópticos y en la edificación de una teoría magnética. El primer microscopio fue construido hacia 1595 por los fabricantes de lentes, hijo y padre, Hans y Zacarias Janssen, en Milderburg, Holanda. Mediante dos lentes separadas construyeron un primitivo artificio que permitió la ampliación de la imagen del objeto entre 3 y 9 veces. Más que un instrumento científico fue considerado una atractiva curiosidad. Alrededor de sesenta años faltaba para que fuera perfeccionado y empleado para abordar el mundo de los microorganismos.

La doble coyuntura en que se ve envuelto el cirujano francés Ambroise Paré (1507–1591), las guerras religiosas y la aparición en el escenario bélico de la primera arma "ligera" portátil, el arcabuz, le hace asistir a un numeroso grupo de heridos y lisiados. De esta experiencia, publica en 1545 su obra "El método de tratar las heridas hechas por los arcabuces y otras armas de fuego; y...; también de las quemaduras especialmente hechas por la pólvora de cañón" en la cual propone la sustitución del tratamiento por cauterización con aceite hirviendo de las heridas por la sutura de los vasos, innovaciones en el tratamiento de las fracturas y promueve la inserción de extremidades artificiales. Se ha afirmado que Paré representa para la cirugía del renacimiento lo que Vesalio significó para la anatomía.

Para la Física, el final del siglo XVI va a representar pasos balbuceantes en la construcción de instrumentos ópticos y en la edificación de una teoría magnética. En 1571 un fabricante inglés de instrumentos de navegación, Robert Norman publicaba en un pequeño libro "The Newe Attractive" un importante descubrimiento que ponía de relieve el magnetismo de la Tierra. Resulta que Norman observó que si una aguja estaba equilibrada sobre su eje antes de imantarse, posteriormente su extremo norte será atraído hacia abajo y habrá que golpearla ligeramente para restablecer su equilibrio. Esto demostraba que el campo magnético de la tierra no corría paralelo a su superficie sino que declinaba la aguja imantada al ejercer una fuerza dirigida hacia su centro.

Apenas tres décadas después del descubrimiento de Norman, otro inglés este médico e investigador, William Gilbert (1544 – 1603), publicó una obra en 1600 que se consideró un clásico de la época en materia de electricidad y magnetismo. En "De Magnete" Gilbert, perteneciente a esa legión de egresados de Medicina según el currículo medieval que se ganan la vida cómo médicos (Gilbert sirvió en la corte de Isabel I), pero sienten la necesidad de investigar en otros campos, desarrolla las ideas primarias sobre el carácter sustancial de la electricidad al atribuirle propiedades semejantes a la de los fluidos, nociones que encajan bien con las primeras hipótesis sobre las diferentes formas de la energía que serían refinadas más de un siglo después.



Respecto a los fenómenos magnéticos, Gilbert, auxiliándose de imanes pequeñísimos pudo seguir las líneas de fuerzas tangenciales de una esfera magnética en su convergencia hacia los polos y, al apreciar la diferente inclinación de estos imancitos a diferentes latitudes respecto a los polos de la esfera no dudó en relacionar estos resultados con los obtenidos por Norman en sus estudios del comportamiento de la brújula. En resumen, Gilbert relaciona la polaridad del magneto con la polaridad de la Tierra y edifica una filosofía magnética sobre la base de esta analogía. Ahora la causa del magnetismo apunta hacia el interior de la tierra y no hacia los cielos como algunos habían supuesto. Sus principios fueron aplicados también a una dinámica celeste que ponía como causa del movimiento de los planetas la fuerza proporcional – según el propio Gilbert – a la cantidad de materia del imán contenido en la capa interior de cada planeta.

Mientras la Matemática avanza, la Alquimia agoniza para dar paso a una ciencia experimental, la Medicina destierra los errores de Galeno e incuba grandes avances, y la Física, luego de generar un cambio de paradigma en la Astronomía que se mantuvo vigente durante más de mil años, profundiza en la modelación del movimiento mecánico de los cuerpos. Se abona así el terreno para cristalizar la obra de Newton en el siglo XVII. Toda la Ciencia posterior iba a recibir su impacto...



Si el Renacimiento en las ciencias se asocia a la Revolución astronómica promovida por la visión copernicana del sistema solar, el siglo XVI se despedía con un descubrimiento que confirmaría la variabilidad celestial. El descubrimiento en 1596 de la primera estrella variable (Mira, en latín Mirus: maravilloso) correspondió al astrónomo y pastor luterano David Fabricius (1564 –1617). Su nombre se relaciona también con el descubrimiento de las manchas del sol, pero este hallazgo reportado en el siguiente siglo se disputa por varios astrónomos.

Mira es una estrella gigante roja que sufre dramáticas pulsaciones, que la convierten en una estrella más de 100 veces más brillante en el curso de un año. Mira es una de las mayores estrellas conocidas, con un diámetro de 354 millones de km, algo mayor que el diámetro de la órbita de la Tierra, y está solo a 400 años luz de nuestro planeta.

Siglos XVII al XIX

FÍSICA 2º Bachillerato

Contexto y avances en la formalización matemática. Nuevos instrumentos y revolución en la Astronomía. Antecedentes inmediatos de los Principia. La obra de Newton. Progresos en los fenómenos en que interviene la luz. Los métodos cuantitativos penetran los ámbitos de la Química y la Biología. Avances técnicos de la época y los progresos en las matemáticas. La electrostática de Hauksbee a Galvani. Adelantos en la termometría y las nociones sobre el calor. El debate en la Óptica y descubrimientos astronómicos. Contexto y progresos en las Matemáticas. La potencia motriz del calor y los nuevos ingenios para el transporte. El mundo de las ondas electromagnéticas y la lluvia de invenciones eléctricas. La óptica, la astronomía y el nacimiento de dos nuevas técnicas. Antecedentes de un nuevo paradigma atómico

Contexto y avances en la formalización matemática

La Europa que sirve de escenario al despegue de las ciencias y más particularmente a la Revolución de la Física en la Inglaterra de Isaac Newton (1643 – 1727), conformó un complejo panorama político, económico y social.

Domina el acontecer político de la primera mitad del siglo, la guerra de los 30 años, (1618 – 1648) resultado de choques de intereses religiosos, políticos y económicos. A partir de la paz de Westfalia, Europa se convierte en un mosaico de estados nacionales que representan el fin del poder del Imperio y del Papado. A la secularización del estado correspondió una secularización del pensamiento que impulsó el progreso de las ideas científicas.

Hacia la segunda mitad se destacan los desarrollos de dos modelos políticos:

- El esplendor de la monarquía absoluta de Luis XIV (1643-1715) que cristaliza el liderazgo francés.
- El agitado paisaje de las sociedad inglesa con la guerra civil (1642) que conduce a la instauración y vida de la República de Cromwell (1649-1660), la posterior restauración de los Estuardos, y finalmente la abdicación de Jacobo II (1660 –1688) mediante la Revolución pacífica de 1688. Esta revolución se considera el hito histórico que inaugura el dominio inglés de los mares, del comercio y de la Revolución Industrial.

En lo económico se producen zigzageos pero la tendencia expresa un incremento del comercio colonial reflejado en la constitución de las grandes compañías de la Indias en las tres potencias que emergen como líderes, Holanda, Inglaterra y Francia. Aparecen las instituciones que prefiguran el naciente capitalismo como la Bolsa de Amberes y la Banca nacional. El tránsito de la producción artesanal, doméstica, a la manufactura se traduce en la creación de instalaciones, se incuban novedosas técnicas y proliferan las profesiones que gestan las propias instituciones de nuevo tipo.

No se puede decir que los científicos del siglo mostraron indiferencia por los reconocidos movimientos sociales que bajo el término de Reforma tuvieron lugar. Desde John Neper (o Napier, 1550 - 1617) en Escocia hasta Newton en Inglaterra tomaron partido ante los acontecimientos que adoptaron un ropaje religioso.



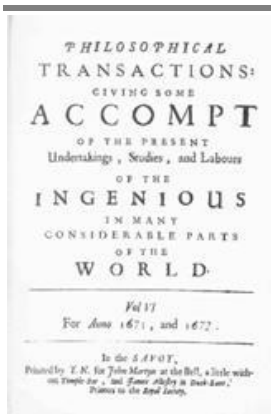
Corresponde a esta etapa un momento singular dentro de la actividad científica: la fundación de las Sociedades que institucionalizan la profesionalización del hombre de Ciencia, posibilitan el intercambio y divulgación de los resultados, e intentan hacer coherente y uniforme el lenguaje naciente de las ciencias. En 1662, se inicia la Sociedad Real (Royal Society), la Academia inglesa de las Ciencias, que tendría como su presidente a partir de 1703, durante 24 años a sir Isaac Newton.

Es hacia mediados de este siglo que se crean, en los grandes polos de Europa, las primeras sociedades científicas. En 1662 abre sus puertas la famosa sociedad londinense “Royal Society”, uno de cuyos fundadores fue el más importante químico – físico del siglo, el irlandés Robert Boyle (1627 – 1691); poco después, en la próspera Florencia del Ducado de Toscana, comienza sus actividades la Academia de Cimento, actuando como su fundador el célebre físico Evangelista Torricelli (1608 – 1647); en 1666 el ministro de Economía y mecenas del arte y de las ciencias francesas Jean-Baptiste Colbert (1619 – 1683) inaugura la Academia de Ciencias de París, y cierra el período la fundación de la Academia de Ciencias berlinesa, bajo la inspiración del pionero del cálculo, el matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716).

La aparición de grandes obras filosóficas en el siglo XVII, repercuten en el camino que toman las Ciencias Naturales. En este marco es necesario destacar la obra del filósofo inglés Francis Bacon (1561 - 1626). Bacon reclamaba para el trabajo científico la aplicación del método inductivo de investigación en lugar del viejo método deductivo en que se basaba la escolástica y defendía el experimento organizado y planificado como el procedimiento fundamental para conducir la investigación. Sus ideas tuvieron una amplia repercusión, primero en Inglaterra y luego en otros países.

La etapa de naciente formación en las Ciencias tal vez explique la inclinación abarcadora de los científicos de la época. Los grandes matemáticos incursionan con frecuencia en el campo filosófico, se esfuerzan por explicar los fenómenos en su totalidad, e intentan construir los instrumentos matemáticos requeridos para la formalización de los experimentos en el campo de la Mecánica.

La geometría analítica cartesiana, el cálculo diferencial, el cálculo de las variaciones, y la teoría matemática de la probabilidad constituyeron logros de las matemáticas que sirvieron en lo inmediato para apoyar el despegue de la Mecánica , y en el posterior desarrollo de la formalización matemática para describir las leyes de los objetos que son abordados.



La fijación en la memoria escrita de las prioridades en los descubrimientos, los informes presentados en las recién inauguradas Academias, el afán de alimentar el debate que ofreciera la necesaria luz en los temas investigados, constituyeron fuerzas motrices para insertar en la matriz del tiempo la publicación de las revistas científicas periódicas. El nacimiento de tales revistas tuvo como escenario histórico el Londres de la Royal Society y el París de la Académie , en fecha de 1665, portando como título “Journal des Scavans” y “Philosophical Transactions”. La última llega hasta hoy como publicación de la Royal Society en dos series. La serie A dedicada a problemas de las ciencias matemáticas, físicas y de las ingenierías y la serie B a los problemas de las ciencias biológicas.

La monumental obra de René Descartes (1596 - 1650) nos lega la creación de la Geometría Analítica. Descartes introduce la noción de plano cartesiano y combina el Álgebra y la Geometría de manera que a partir de sus trabajos los problemas geométricos podían resolverse algebraicamente y las ecuaciones algebraicas podían ilustrarse geoméricamente. Se asiste así a una de las bases del cálculo moderno.

Asombra pensar que ya a la altura de este siglo aparecen los primeros inventos modernos de sistemas mecánicos para efectuar cálculos aritméticos. Existen las pruebas documentales de que el matemático escocés John Neper (1550 - 1617) ya a fines del XVI proyecta diferentes sistemas mecánicos para realizar cálculos aritméticos. Pero Neper alcanza la celebridad por la publicación, apenas tres años antes de morir, de sus tablas de logaritmos que fueran muy utilizadas en los siglos siguientes. Además fue uno de los primeros en introducir la moderna notación decimal para expresar fracciones. Neper fue seguidor del movimiento de la Reforma en Escocia y años más tarde tomó parte activa en los asuntos políticos promovidos por los protestantes.

La invención de los logaritmos fue aprovechada por el matemático inglés William Oughtred (1574 – 1660), quién en 1632 descubrió que al disponer dos reglas juntas con las escalas logarítmicas impresas, y deslizar una regla sobre la otra podían efectuarse cálculos mecánicamente por medio de logaritmos. La regla de cálculo fue perfeccionada por en 1671, y se convirtió con el paso del tiempo en un instrumento imprescindible para los cálculos aproximados de ingenieros y técnicos. Sólo tres siglos más tarde la calculadora electrónica lo remitió al museo de instrumentos de cálculo.

La teoría matemática de la probabilidad fue inicialmente desarrollada de manera conjunta por Pierre de Fermat (1601 -1665) y Blaise Pascal (1623 – 1662). Una gran resonancia tuvo la teoría de las probabilidades en el desarrollo de las estadísticas matemáticas y sociales.

Cuando Pascal aún no había cumplido los 19 años, veinte años después del invento de la regla de cálculo por el matemático inglés William Oughtred, inaugura el camino de las invenciones de las máquinas calculadoras. Su máquina podía sumar y restar mediante un complejo mecanismo de ruedas dentadas, cada una marcada del uno al diez en su borde. Pascal debió resolver muchos problemas técnicos derivados de la moneda usada en la Francia de la época, una libra contenía 20 soles y un sol, doce dinares, de modo que con esta división de la libra en 240 unidades el mecanismo se tornaba mucho más difícil que si la división hubiera sido en 100 unidades. Sin embargo para 1652 se habían producido 50 prototipos de los cuales unos pocos se había vendido. La manufactura de la máquina de Pascal cesó este año. Casi al finalizar el siglo XVII Leibniz diseña una máquina superior, pero aún habría que esperar un par de siglos para que se inventara la calculadora comercial electrónica.



La construcción del cálculo infinitesimal fue desarrollada casi simultáneamente por Leibniz y Newton hacia fines del siglo XVII. En rigor, se reconoce que el sistema de Leibniz fue publicado tres años antes que el propuesto por Newton, y la notación adoptada universalmente fue la propuesta por el primero. La época debió generar tal herramienta y dos genios la construyeron. Se enfrascaron luego en una larga disputa por la prioridad y la gloria. Con el Cálculo se inicia la alta Matemática y se parte en dos la historia de esta Ciencia.

En el año de 1669 Newton desarrolló el Cálculo Diferencial o método de las fluxiones y lo relaciona con el Cálculo Integral, como una herramienta matemática necesaria para armonizar sus teorías en el campo de la Física. En rigor histórico tres años antes Leibniz había publicado su sistema para el cálculo infinitesimal. Pero a Leibniz se deben también importantes aportaciones en el campo de las invenciones prácticas tales como el diseño de una máquina superior a la de Pascal que multiplicaba por repetición automática de la suma y dividía por repetición de la resta, y la invención de una máquina para el cálculo de tablas trigonométricas. Leibniz, redescubre el sistema de numeración binario ideado por los chinos 3000 a .C., que posteriormente sería fundamental en el campo de la Informática.

La Historia reconoce que es la Física, la ciencia que en todo este período impulsa el desarrollo de la formalización matemática para describir las leyes de los objetos que estudia, en particular el movimiento de los cuerpos bajo un enfoque dinámico. No es casual que como veremos a continuación el nacimiento del Cálculo Diferencial estuviera vinculado con necesidades del propio crecimiento de las Ciencias Físicas.

Es también a partir del siglo XVII que se introduce sólidamente en las prácticas de las investigaciones el método experimental, con el cual se conducen una serie de grandes descubrimientos. El propio diseño del experimento físico impulsó el desarrollo de los instrumentos de medición.

Nuevos instrumentos y revolución en la Astronomía

El listado de los instrumentos que resultan exigencia de la época son diseñados y construidos generalmente por los propios investigadores y generan una dialéctica entre teoría y práctica que representa el apoyo o rechazo de la teoría preconcebida o significa el nacimiento de la nueva ley sustentada por la data experimental. El propio Galileo estrena su pequeño telescopio de refracción y encabeza la revolución astronómica; Hooke y Huygens se disputan el título de mejor mecánico del siglo y pretenden registrar el tiempo con la mayor exactitud posible; Torricelli inventa el barómetro y al hacerlo derriba el supuesto principio del “horror vacui”; von Guericke inventa la bomba de vacío con la que se abre un nuevo campo para la experimentación; y de nuevo Hooke que perfecciona el microscopio y descubre un nuevo mundo, e inventa el primer higrómetro, un anemómetro, el barómetro de cuadrante, mecanismos de registros automáticos, que inauguran la meteorología como disciplina científica.



Siete años después de la creación del barómetro por Torricelli, el gran experimentador alemán Otto von Guericke (1602 - 1686) inventó la bomba de vacío que aunque primitiva proporcionó una importante herramienta para la experimentación. En 1657, Guericke condujo su famosa demostración de que caballos tirando en sentidos opuestos eran incapaces de apartar dos hemisferios de una esfera en cuyo interior se había evacuado el aire. También demostró que usando un pistón en un cilindro cuando el vacío era creado en un lado de un pistón, la atmósfera podía mover el pistón y una considerable masa a lo largo de una determinada distancia, realizando así un trabajo. Este era el principio básico de trabajo de la máquina de vapor de Newcomen que construida a principios del XVIII comenzó la transformación del mundo. Su experimento confirmó los descubrimientos de Torricelli y demostró los efectos espectaculares de las presión atmosférica.

Históricamente la invención del telescopio óptico que impulsa una verdadera revolución astronómica se disputa entre varias personas. Todo lo que puede decirse es que la solicitud de la patente de Hans Lipershey (1570 - 1619) es el registro más temprano de un telescopio realmente existente. Lipershey fabricante de espejuelos en la floreciente ciudad holandesa de Middelburg, es el primer inventor en solicitar la patente (1608) de un dispositivo por medio del cual todas las cosas situadas a una gran distancia pueden verse como si estuvieran cercanas.

La astronomía telescópica tiene en Galileo Galilei a uno de sus fundadores. En alrededor de dos meses, entre diciembre de 1609 y el enero siguiente, Galileo, auxiliado de su estrenado telescopio de refracción hizo más descubrimientos astronómicos que los que nadie había hecho nunca antes. Descubrió las lunas de Júpiter, estructuras alrededor de Saturno, estrellas de la Vía Láctea, los cráteres de la Luna, y las fases de Venus. Este último descubrimiento indicaba que este planeta gira alrededor del Sol lo que constituía una evidencia a favor de la teoría copernicana. Sus hallazgos celestiales aparecen publicados en un pequeño libro “Mensajero Estelar” editado en mayo de 1610 en Venecia. Alrededor del descubrimiento de las lunas de Júpiter quizás se

estableció la primera disputa de prioridad en el terreno astronómico. El litigio surge cuando el astrónomo germano Simon Marius, (1573-1624), quién había viajado a Praga para aprender las técnicas de Brahe, y luego asistido a la Universidad de Padua, publicó en 1614 "El Mundo Joviano descubierto en 1609 mediante el telescopio holandés". Allí afirma haber hecho las primeras observaciones de las lunas de Júpiter, lo que motivó en 1623 la respuesta airada de Galileo en el "Analizador" acusándole del robo de su descubrimiento. Sin embargo Mundus Iovialis contiene otro hallazgo telescópico que no fue nunca cuestionado: el descubrimiento de la Nebulosa de Andrómeda, que por entonces no era resuelta como sistema de estrellas.



La inmensa figura de Galilei tal vez pueda resumirse para todos los tiempos por su célebre frase: "E pour si muove!" símbolo de la desesperada impotencia ante la ciega intolerancia de la Inquisición. Tenía 69 años cuando fue obligado a abjurar de su obra y se le impusiera la pena de cadena perpetua (condena que fuera conmutada por el arresto domiciliario) pero sus ideas, su pensamiento creativo, no pudieron ser encerradas y aún publica en 1638 su última obra que resumiría los resultados sobre el movimiento y los principios de la Mecánica. En 1992, cuando se cumplían 400 años de la conferencia inaugural del joven profesor de matemáticas en la Universidad de Padua, el primer papa no italiano desde 1523, Juan Pablo II (1920 - 2005), en nombre de la Iglesia Católica admitió que en el caso de Galileo se habían cometido errores por los consejeros teológicos pero no reconoció explícitamente que se cometiera un error al condenar a Galileo por el cargo de herejía por su creencia de que la Tierra rota alrededor del sol. Así declaró cerrado el caso de Galileo.

Una avalancha de descubrimientos astronómicos viene sucediendo al empleo del telescopio. El propio astro rey revela ahora un nuevo fenómeno. Aparecen manchas en su superficie y estas manchas observan un desplazamiento relativo. En estas primeras observaciones sobre el fenómeno solar participaron notables astrónomos, amén de quién desde 1610 había revolucionado el conocimiento de la bóveda celeste. Galileo reportó la existencia de las manchas solares en su "Discurso sobre cuerpos flotantes" (1612), y más detenidamente en "Cartas sobre las manchas del sol" que aparecen en 1613.

Con fecha de junio de 1611, con antelación suficiente para su presentación en la feria otoñal del libro de Frankfurt, Johannes Fabricius (1587 – 1616), hijo del astrónomo danés David (1564 - 1617), que en 1596 había descubierto la primera estrella variable, escribió un informe sobre las manchas solares impreso en Wittenberg. Al relatar las observaciones hechas, Fabricius no ofrece las fechas de observación ni se muestra un esquema del desplazamiento de las manchas, pero se defiende la idea de que estas manchas pertenecen a la superficie solar y sus desplazamiento revelan que el sol probablemente rota sobre su eje.

Por uno u otro motivo las conclusiones del breve ensayo de Fabricius se eclipsan por la publicación en 1612 del brillante astrónomo alemán Christopher Scheiner (1575-1650) sobre las manchas solares en la cual ofrece una medida de la inclinación del eje de rotación de estas manchas al plano de la eclíptica que se desvía sólo en unos pocos minutos del verdadero valor. Scheiner no solo sobresale por sus aportaciones en la astronomía sino por sus inventos que cubren ámbitos tan distantes como el pantógrafo (1603) y el telescopio terrestre (1609). Pero antes que Fabricius y Scheiner, existe el registro de que ya en 1610, el físico británico Thomas Harriot (1560 - 1621) informó sobre la existencia de las manchas del sol en círculos afines aunque nunca llegó a publicarlos. Esta falta profesional acompañó la vida de Harriot, y aunque hoy se sepa que este físico había descubierto la ley de la refracción de la luz antes que lo hiciera en 1621 el profesor de la Universidad de Leiden, Willebrord van Roijen Snell (1580 – 1626), el reconocimiento universal corresponde a este último.

Antecedentes inmediatos de los Principia

Convencido de que al menos algunos cuerpos no giraban alrededor de la Tierra, Galileo comenzó a escribir a favor del sistema de Copérnico. En febrero de 1632, luego de 6 años de trabajo, publica su “Diálogo concerniente a los dos sistemas principales del mundo: Ptolemaico y Copernicano”. Desafortunadamente, dentro de las verdades inobjetables a favor del sistema copernicano que la obra defiende, Galileo desarrolla una errónea teoría de las mareas, que ya había sido explicada correctamente por Kepler.



Con la muerte en 1601 de Tycho Brahe, su asistente Kepler se convierte en sucesor en el cargo de Matemático Imperial, y permanece en este puesto hasta 1612. En Praga, Kepler muestra la fecundidad de quién al finalizar el pasado siglo abordara los “Misterios del Cosmos” iniciando la profundización de la teoría heliocéntrica. Orientado al estudio de Marte, le obsesiona una discrepancia entre cálculo y observación detectada en su órbita. La divisa kepleriana de que «el origen de las discrepancias debe hallarse en nuestras hipótesis iniciales» le conduce a rechazar la circularidad de la órbita marciana y la uniformidad del movimiento planetario. En 1609 Kepler anuncia en “Astronomía Nova” que el movimiento de Marte describe una elipse teniendo al sol en uno de sus focos y que los radios vectores del planeta barren en tiempos iguales áreas iguales. El resultado concuerda con los resultados modernos tan exactamente que la comparación tiene que tener en cuenta los cambios seculares en

la órbita de Marte desde la época de Kepler.

En rigor histórico defender a Copérnico después de la obra de Kepler significaba desconocer la dinámica gravitacional y aceptar la santa circularidad de las revoluciones planetarias, pero resulta incomprensible la invisibilidad de los trabajos de Kepler ante la pupila de Galileo. Poco después de la publicación de la obra, la Inquisición prohíbe su venta y ordena a Galileo presentarse en Roma. Encontrado culpable, fue condenado a cadena perpetua, pena que en realidad fue convertida en arresto domiciliario.

Entre 1618 – 1621, Johannes Kepler (1571 -1630) concluye y publica su obra “Epitome astronomiae copernicanae” que resume su colosal descubrimiento de las leyes que rigen el movimiento planetario alrededor del sol. La santidad circular de las orbitas de Copérnico queda enterrada ante la evidencia kepleriana de que las orbitas planetarias describen una elipse con el sol en un foco. La segunda ley de Kepler, o regla del área, deja establecido que los planetas no giran con un movimiento circular uniforme sino que se desplazan con mayor velocidad a medida que se aproximan al sol, barren iguales áreas en igual período. La importancia de esta ley reside en sustituir el movimiento uniforme “resultante de una perfección natural” por una uniformidad física (la conservación del movimiento angular), absolutamente acorde con la observación y que abre paso hacia una nueva formalización e interpretación dinámica. La ley de la elipticidad y la ley de las áreas relacionaron el movimiento de cada planeta con el Sol, pero la ley armónica que deduce en 1619 cuando ya está en imprenta su obra “La Armonía del Mundo” integra el movimiento de los planetas en un solo sistema. Los cuadrados de los tiempos empleados en las revoluciones de los planetas son entre sí como los cubos de sus distancias medias al Sol está anunciando el nacimiento de la fórmula de la gravitación universal.

La obra del físico – matemático holandés Christian Huygens (1629 -1695) abarca varios campos de la Física del XVII, pero inicia sus trabajos en los ámbitos de la matemática y la astronomía. Alrededor de 1654, su fina capacidad como instrumentista le permite desarrollar nuevos lentes. Usando una de sus propias lentes, Huygens detectó, en 1655, la primera luna de Saturno. El año siguiente descubrió la verdadera forma de los anillos de este planeta.



La función predictiva de la ciencia astronómica ha sorprendido en toda época a la humanidad. La predicción de los tránsitos de Venus y Mercurio a través del Sol requieren un conocimiento profundo del movimiento orbital de estos planetas interiores y esta tarea fue cumplida por Kepler a inicios del siglo XVII. Entonces predijo un tránsito de Mercurio en noviembre de 1631 y un tránsito de Venus un mes después, sin que la vida le alcanzara para verlos. El tránsito de Mercurio fue observado en París, justo el mismo día predicho, por el astrónomo Pierre Gassendi (1592-1655), pero la predicción del tránsito de Venus no pudo constatarse ya que el evento ocurrió en la madrugada cuando aún era de noche en Europa. El joven astrónomo Jeremiah

Horrocks (1618 - 1641) corrigió los datos reportados por Kepler y auguró que el 4 de diciembre de 1639 sería observado desde Inglaterra un tránsito. Horrocks no sólo observó el fenómeno celeste sino que a partir de sus observaciones dedujo la distancia de la Tierra al Sol en unos 94 millones de km, la más precisa estimación hasta entonces realizada. Su obra Venus in Sole no fue publicada hasta 1662, había muerto 20 años antes, al cumplir los 23 años.

En Systema Saturnium (1659), Huygens explicaba las fases y cambios en la forma del anillo y describe sus observaciones sobre la Luna, los planetas, y la nebulosa de Orión. Sus observaciones estelares le llevaron a admitir el principio de que la comparación del brillo entre dos astros serviría para determinar sus distancias relativas. Suponiendo que la estrella Sirio, la más brillante del cielo, es igual al Sol, Huygens estimó que la distancia de la Tierra a Sirio era 27 664 veces la distancia que separa al Sol de nuestro planeta. El error cometido demuestra la elevada imprecisión de su método, la distancia real es más de 20 veces mayor que la estimada por Huygens.

En 1668, el matemático escocés James Gregory (1638 – 1675) en su obra “Geometriae pars universales” incluye una sección dedicada a fenómenos astronómicos en la que retoma la idea de Huygens para calcular distancias cósmicas a partir del brillo relativo de los astros. Esta vez compara a Sirio con Júpiter, cuyo brillo relativo con respecto al Sol puede calcularse indirectamente a partir de la distancia y la reflectividad del planeta. El método es esencialmente correcto y Gregory encontró que Sirio se encuentra a 83 190 unidades astronómicas (unidad astronómica: distancia de la Tierra al Sol, aproximadamente 150 millones de kilómetros), unas 7 veces menos que los 8,7 años – luz que la separan de nuestro planeta. Comenzaba el hombre a penetrar en el conocimiento por lo pronto aproximado de las distancias estelares.



En la segunda mitad del siglo XVI, desde el Observatorio de París, el astrónomo genovés Giovanni Cassini, (1625 - 1712) hace descubrimientos revolucionarios que fueron generalmente interpretados por él de manera conservadora. Entre 1664 y 1666 midió el periodo de rotación sobre su eje de Júpiter y de Marte, y observó que el primero estaba aplanado en sus polos. Una audaz deducción devino de las observaciones de las lunas de Júpiter en 1668, cuando afirmara que las discrepancias en los datos debían atribuirse a que la luz tenía una velocidad finita y que el tiempo requerido para atravesar una distancia igual al semidiámetro de la órbita de la Tierra le lleva entre diez y once minutos.

Pero su punto de vista tradicional le hizo pronto rechazar esta idea y buscar otras explicaciones. Resulta irónico que los datos de Cassini fueron usados por Römer para calcular la velocidad de la luz ocho años más tarde. En 1672, el astrónomo danés Ole

Christensen Roemer (1644-1710) comenzó a trabajar en el Observatorio Real de París. Pronto Roemer orientaría su telescopio hacia la luna de Júpiter Io y al determinar el período de sus frecuentes eclipses volvió a encontrar desviaciones en sus observaciones que relacionó con las variaciones en el tiempo que debía demorar la luz en hacer su recorrido al variar las distancias entre la Tierra y Júpiter. Aplicando los cálculos relativamente imprecisos para las distancias entre la Tierra y Júpiter, disponibles durante el siglo XVII, Roemer fue capaz de hacer la primera estimación de la velocidad de la luz en 220 mil km/seg.

En 1634, con casi 70 años y habiendo sido juzgado como hereje dos años antes, Galileo reaborda y perfecciona las ideas no publicadas en 1590 en "De Motu" sobre los problemas relacionados con los ímpetus, momentos, y centros de gravedad y escribe sus "Discursos y demostraciones matemáticas sobre las dos nuevas ciencias". La obra fue enviada clandestinamente a Leiden,

Holanda, dónde se publica. En los "Discursos" desarrolló sus ideas sobre el plano inclinado y más tarde describe un experimento con el empleo del péndulo para verificar su postulado sobre el plano inclinado que le permite deducir el teorema sobre la aceleración de los cuerpos en caída libre. Allana así, al final de su vida, la construcción de lo que hoy todos reconocen como una parte integrante de la Física: la Mecánica.

No solo desarrolla el tratamiento matemático del movimiento acelerado de los cuerpos en la caída libre, sino que diseñó sus famosos experimentos de cuerpos deslizándose por planos inclinados para comprobar sus resultados matemáticos y además para obviar la dificultad que para la época significa la medición de pequeños intervalos de tiempo. Al estudiar el lanzamiento de proyectiles pudo desarrollar las ideas sobre la inercia. También pudo enunciar su famoso principio de relatividad del movimiento, relacionado con la imposibilidad de distinguir si un cuerpo está en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme con experimentos realizados desde el propio cuerpo. Más tarde, con los trabajos de Newton se confirmaron y perfilaron estas ideas sobre el principio de relatividad galileano y solo con los trabajos de Einstein, en la Teoría de la Relatividad, se comprendió que este principio es limitado al caso de las pequeñas velocidades de los cuerpos.

En forma totalizadora puede afirmarse que aunque no vinculó sus estudios de la mecánica de los cuerpos en la Tierra con sus ideas sobre el movimiento de los cuerpos celestes, sus investigaciones pulverizan las ideas aristotélicas sobre el movimiento y demuestran la importancia de introducir el método matemático – experimental en las Ciencias Físicas.

Hacia 1641, Evangelista Torricelli (1608 – 1647), quién actuó como asistente de Galileo en los último diez meses de la vida del pisano, había completado buena parte del trabajo que iba a publicar como Ópera Geométrica en 1644. En la segunda de las tres secciones de este libro bajo el título de "De motu gravium" Torricelli profundiza en el estudio de Galileo sobre el movimiento de proyectiles desarrollando la teoría que describe la trayectoria parabólica de un proyectil lanzado a cualquier ángulo y ofreciendo tablas numéricas para ayudar a los tiradores a encontrar la correcta elevación de sus armas para el alcance del blanco.



De la correspondencia sostenida en 1632 por el joven asistente Evangelista Torricelli (1608 – 1647) con Galileo queda claro que se sentía fascinado por la astronomía. Pero después del juicio seguido contra su maestro entendió que iba a transitar un camino peligroso y decidió orientar sus estudios hacia otros problemas menos controvertidos. A juzgar por los resultados de su reorientación no perdió la ciencia nuevas contribuciones: el Teorema de Torricelli se considera la página fundacional de la Hidrodinámica y en 1643 fue la primera persona en crear un vacío sostenido y descubrir el principio del barómetro. En 1647 Torricelli contrajo la fiebre tifoidea y a los pocos días murió a la edad de 39 años cuando solo había publicado su ópera prima.

En esta obra también demuestra que el flujo de un líquido a través de un orificio es proporcional a la raíz cuadrada de la altura del líquido, resultado ahora conocido como el teorema de Torricelli. Esta fue una de las sobresalientes aportaciones de Torricelli a la Hidrodinámica por lo cual ha recibido el título de "padre" de esta disciplina. Además fue la primera persona en crear un vacío sostenido y descubrir el principio del barómetro. En 1643 propuso un experimento más tarde conducido por su colega Vincenzo Viviani (1622- 1703) que demostró que la presión atmosférica determina la altura a la cual un fluido se elevará en un tubo invertido sobre el mismo líquido.

El repertorio de nuevas ideas desarrollado por Copérnico, Kepler y Galilei representa el principal arsenal con que cuenta Isaac Newton (1642 – 1727) para su trabajo de axiomatización de la Mecánica. Pero alrededor de la segunda mitad del siglo y aún paralelamente con el trabajo de Newton se vienen produciendo progresos notables en la expansión del conocimiento acerca del movimiento de los cuerpos.

Por esta época, la Real Sociedad londinense había incluido en su agenda como un tema de investigación, la colisión de los cuerpos elásticos. A esta convocatoria responderían en 1668 con informes o publicaciones de forma independiente John Wallis (1616 - 1703), Christopher Wren (1632 – 1723) y Huygens. El fruto de estos trabajos apunta al descubrimiento de la primera ley de conservación. En particular Huygens demuestra experimentalmente que el momento de una dirección fija antes de la colisión de dos cuerpos es igual al momento en esa dirección tras la colisión.

En el *Horologium Oscillatorium sive de motu pendulorum* (1673), Huygens describió el primer sistema dinámico jamás estudiado – el péndulo compuesto. Con el tratamiento de Huygens de los fenómenos de impacto, el movimiento circular uniforme y el movimiento del péndulo fueron clarificados los conceptos primarios de la Física, la masa, el peso, el momento, la fuerza y el trabajo.

Como una derivación de la ley de la fuerza centrípeta para el movimiento circular uniforme, Huygens comparte con Hooke, Edmund Halley (1656 – 1742) y Wren la formulación de la ley del cuadrado inverso para la atracción gravitatoria. Halley había mostrado que la tercera ley de Kepler implicaba la ley de atracción del inverso del cuadrado y presentó sus resultados en una reunión en la Royal Society en 1684. La discusión sostenida entre Wren, Hooke y Halley en 1684 durante la presentación del informe de Halley en la Sociedad Real no llegó a demostrar que la ley del inverso del cuadrado implicara órbitas elípticas para los planetas. Halley no dudó en consultar a Newton en Cambridge y allí comprobó que Newton había logrado una solución para este problema, así como otros resultados significativos que no tenía intención de publicar.



A poco de la muerte de Torricelli, en 1647 Pascal publicaba “Nuevos experimentos concernientes al vacío” que provocó la duda de numerosos científicos de la época. Descartes escribió a Huygens “tiene demasiado vacío en la cabeza”. Pero Pascal continuó sus observaciones que le permitieron descubrir que la presión atmosférica decrece con la altura y le hizo suponer que por encima de la atmósfera existe el vacío. En otro ámbito que lo hermana con Torricelli en el estudio de la Mecánica de los Fluidos escribe en 1653 su “Tratado sobre el equilibrio de los líquidos”, en la cual explica la ley de Pascal. Este tratado representa una descripción total de un sistema de hidrostática, el primero en la historia de la ciencia.

La obra de Newton

Ya en medio de la epidemia de la peste de 1665, que condujo a la clausura de la Universidad de Cambridge, apenas con 23 años, Newton comprendió que la fuerza responsable de la caída de la manzana era la misma que obligaba a la Luna a girar alrededor de la Tierra : la gravitación universal. Alrededor de 1666 Newton tenía versiones tempranas de sus tres leyes de movimiento. Había descubierto también la ley que daba la fuerza centrífuga de un cuerpo que se movía uniformemente en una trayectoria circular. Sin embargo, no tenía una correcta comprensión de la mecánica del movimiento circular. La nueva idea de Newton de 1666 fue imaginar que la gravedad de la Tierra influenciaba a la Luna, contrarrestando su fuerza centrífuga. A partir de su ley de la fuerza centrífuga y de la tercera ley del movimiento planetario de Kepler, Newton dedujo la ley del cuadrado inverso. Pero estos progresos permanecían sin publicar hacia 1686, cuando Halley convenció a Newton de la necesidad de publicar un tratado completo de su nueva física y su aplicación a la astronomía. Un año después salían de la imprenta sus *Philosophiae naturalis principia mathematica*.

La resonancia alcanzada por sus Principia no ha sido igualada por ningún otro libro científico. Newton analizó el movimiento de los cuerpos en medios resistentes y no resistentes bajo la acción de fuerzas centrípetas. Los resultados fueron aplicados a los cuerpos en órbita, proyectiles, péndulos, y a la caída libre cerca de la Tierra. Además demostró que los planetas eran atraídos

hacia el Sol por una fuerza que varía con el cuadrado inverso de la distancia y generalizó que todos los cuerpos celestes se atraen mutuamente unos a otros.

Una generalización posterior condujo a Newton a la ley de la gravitación universal “... toda la materia atrae a toda la otra materia con una fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos”.

La capacidad de su teoría de integrar una amplia variedad de fenómenos tales como las órbitas excéntricas de los cometas, las mareas y sus variaciones, la precesión del eje de la Tierra y la perturbación del movimiento de la Luna por la gravedad del Sol, convertiría con el tiempo a Newton en una leyenda de las ciencias.



Los historiadores coinciden que si no fuera por Halley probablemente la obra de Newton “Principia Matemática” no hubiera existido. Se reconoce en Halley la devoción que muestra por la obra de su colega, que le aparta de su propio trabajo, y asume los gastos de impresión. Esta misión la asume cuando a la muerte de su padre se vio envuelto en asuntos legales, familiares y de propiedad que exigían de su atención. Desde 1695 Halley emprendió un cuidadoso estudio de la órbita de los cometas.

Se atrevió a rechazar el criterio de Newton sobre el carácter parabólico de las órbitas de los cometas proponiendo que podían describir órbitas elípticas. Utilizando su teoría, calculó que el cometa de 1682 (ahora llamado cometa Halley) era periódico y era el mismo objeto que el cometa de 1531 y 1607. En 1705 publicó la predicción de que volvería en 76 años, indicando que aparecería en diciembre de 1758. Con cierto retraso, se haría observable la trayectoria del cometa, quince años después de la muerte de Halley.

Sin embargo en su época sus teorías no fueron universalmente reconocidas y no pocos científicos rechazaban la idea de la acción a distancia y continuaban creyendo en la teoría del vórtice de Descartes en la que las fuerzas funcionan a través del contacto. Para el propio Newton esta concepción sólo fue admitida como una necesidad resultante de la observación. La idea sobre los campos físicos, ejemplo de los cuales es el campo gravitatorio, y de su carácter objetivo, no había sido aún desarrollada.

En particular, en el primer libro “El movimiento de los cuerpos” estudia los casos de las llamadas fuerzas centrales del tipo de dependencia con el inverso del cuadrado de la distancia, y la ley de las áreas, enunciada por Kepler, que le permitió establecer su Teoría de la Gravitación Universal y que llevó a las ideas sobre las propiedades inerciales y gravitacionales de los cuerpos medidas a través de las masas. En este primer libro también se trata el caso de los movimientos ascendentes y descendentes de los cuerpos y la teoría sobre el movimiento pendular. Concluye el libro con el estudio del movimiento de los cuerpos pequeños y con la explicación de las leyes de la reflexión y refracción de la luz considerando el rayo luminoso como un haz de pequeñas partículas.

En el segundo libro “Movimiento de los cuerpos en medios resistentes” analiza el caso de las fuerzas viscosas dependientes funcionalmente de varias formas con la rapidez del movimiento de los cuerpos en dichos medios. También incluye la Hidrostática y la Dinámica de los Fluidos, las ondas en medios elásticos y el estudio de los vórtices en fluidos.

En el tercer libro “El sistema del mundo” presenta sus cuatro reglas para el “razonamiento filosófico” que son:

1. “No se deben admitir otras causas que las necesarias para explicar los fenómenos.”
2. “Los efectos del mismo género deben siempre ser atribuidos, en la medida que sea posible, a la misma causa.”
3. “Las cualidades de los cuerpos que no sean susceptibles de aumento ni disminución y que pertenecen a todos los cuerpos sobre los que se pueden hacer experimentos, deben ser miradas como pertenecientes a todos los cuerpos en general.”

4. "En la filosofía experimental, las proposiciones sacadas por inducción de los fenómenos deben ser miradas, a pesar de las hipótesis contrarias, como exactas o aproximadamente verdaderas, hasta que algunos otros fenómenos las confirmen enteramente o hagan ver que están sujetas a excepciones."



Newton, el genio, fue una personalidad inestable que mostró un enfermizo recelo a la crítica que podrían recibir sus trabajos, motivo por el cual se retrasaba en publicar sus resultados. Ya con 45 años desde su cátedra universitaria se opuso a los designios del Rey Jacobo II por convertir Cambridge en una institución católica. Esta posición le brindó relaciones con los dirigentes del régimen que sucedió a la Revolución Gloriosa de 1688, y ocupó durante los últimos 24 años de su vida la presidencia de la Royal Society.

Sin embargo desde 1693, tras sufrir una segunda depresión nerviosa, Newton se retiró de la investigación y solo intervino en la larga controversia con Leibniz por la paternidad del cálculo infinitesimal.

Estas reglas tienen un incalculable valor epistemológico para la Ciencia. Las dos primeras están relacionadas con el método de la modelación, que consiste en esencia en la acumulación de datos de la observación de un conjunto de fenómenos y al extraer lo esencial de ellos, proponer un modelo físico – matemático de esos fenómenos y de los sistemas donde ellos se producen y luego pasar al experimento, diseñado al efecto, para comprobar la validez del modelo.

De otro lado, estas dos primeras reglas expresan el pensamiento newtoniano sobre la relación causa – efecto penetrado por el enfoque determinista emanado de su propia descripción de la Mecánica, pero sin dudas, y la Ciencia lo ha demostrado plenamente, son válidas estas ideas para los casos de los sistemas macroscópicos. La tercera regla avanza un método para la generalización de las conclusiones científicas, lo que ha sido un poderoso instrumento en manos de la Ciencia.

Por último, la cuarta regla hace referencia a la objetividad del conocimiento si este es levantado sobre una sólida base experimental y a la vez permite la adecuada combinación entre el carácter absoluto de ese conocimiento en un momento histórico determinado y su carácter relativo en el decursar del tiempo, fertilizando la idea de lo que más tarde se conoció como el Principio de Correspondencia, que invalida la concepción del relativismo a ultranza.

La obra de Newton se destaca por haber erigido la Mecánica sobre la base de tres leyes básicas, capaces de resolver todos los casos de movimientos de cuerpos (macroscópicos) referidos a un sistema inercial de referencia. Para tener una idea del grado de validez de este núcleo teórico, para el caso macroscópico de bajas velocidades, bastará con saber que el diseño, control y corrección de las órbitas de los satélites terrestres y las naves cósmicas que el hombre utiliza en la actualidad, son realizados enteramente con arreglo a las predicciones de estas tres leyes.

Progresos en los fenómenos en que interviene la luz

La principal crítica a las ideas newtonianas se relaciona con su concepción del espacio y el tiempo como receptáculos vacíos en los cuales se mueven los cuerpos. Pero se necesitaron 218 años para que Einstein pusiera en la palestra sus ideas sobre el carácter relativo de estas formas de existencia de la materia con su Teoría de la Relatividad Especial y luego con la Teoría General de la Relatividad que le permitiría actualizar las concepciones sobre la gravitación universal.



Robert Hooke (1635 – 1702), asistente de Boyle en Oxford, y primer director de experimentación de la Real Sociedad de Londres libró encendidas polémicas con Newton y con Huygens. Reclamó la prioridad y acusó de robo de sus ideas a Newton al publicar en 1672 su teoría de la luz, y reaccionó de igual manera al publicarse la primera edición de los Principia desatando una disputa sobre la paternidad de la ley de las fuerzas del cuadrado inverso. Newton respondió indignado eliminando toda referencia a Hooke en sus trabajos. Los historiadores han reconocido que en todo caso Hooke no supo convertir en teorías comprensivas sus ideas originales.

En la década del 60 construyó un microscopio perfeccionado con lámpara y condensador gracias al cual fue el primero en descubrir la existencia de células en tejidos vegetales que reporta ya en 1665 en una de las obras magistrales del siglo XVII, Micrographia. En 1660 había descubierto un caso de la ley de Hooke mientras trabajaba en los diseños de muelles de balance de relojes. Sin embargo Hooke sólo anunció la ley general de elasticidad

en su conferencia "De Resortes" dada en 1678.

No dejan de tener interés las ideas de Newton acerca de la naturaleza de la luz. Su explicación de las leyes de la reflexión y refracción de la luz considerando el haz luminoso como un haz de pequeñas partículas, encontró la contraposición de otros investigadores. Este debate estuvo precedido por un grupo de descubrimientos que serán brevemente considerados.

Según Newton, el primer desarrollo sugerente de la teoría del arco iris se debió al veneciano Marco Antonio de Dominis (1566- 1624). Dominis en 1611 publica en Venecia, un trabajo científico titulado: "Tractatus de radiis visus et lucis in vitris, perspectivis et iride", en el cual admite que en cada gota de lluvia la luz sufre dos refracciones y una reflexión intermedia. El reconocimiento a este descubrimiento es atribuido más generalmente a Descartes. Dominis, personalidad contradictoria formada en las Universidades de Padua y Brescia escribió a su salida de la Sociedad de Jesús, virulentos ataques a las autoridades de Roma. Luego de largos años de acusaciones y de perdones finalmente la Inquisición lo declara hereje y lo confina en el Castillo de San Angelo, donde muere. Su proceso continúa después de su muerte y a los pocos meses es ratificada su herejía, quemados sus restos y sus obras.

Como fue deslizado anteriormente, entre las conquistas en el campo de la óptica de este siglo se encuentra el descubrimiento en 1621 de la ley de la refracción de la luz. Snell encontró una relación característica entre el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción. La ley demuestra que cada sustancia tiene una relación de desviación específica, el índice de refracción. A un mayor ángulo de refracción corresponde un mayor índice de refracción para una sustancia específica. Al morir en 1626, a la temprana edad de 46 años en Leiden, no podía imaginar que unos setenta años después se reconocería su descubrimiento y este hecho haría ingresar su nombre en los libros de óptica de cualquier fecha posterior. Pero ya Snell en 1617, al publicar "Eratosthenes Batavus", describía la metodología de la triangulación para medir la Tierra con lo cual tejía las bases de la geodesia moderna.



Cuando en 1658 el célebre físico danés Christian Huygens (1629 -1695) publica los principios para la construcción de un reloj de péndulo la relojería comenzó a perfeccionarse y la variable tiempo es atrapada por el hombre con mayor precisión. Gracias a la obra de Huygens en el terreno de la Mecánica fueron clarificados los conceptos primarios de la Física, como la masa, el peso, el momento, la fuerza y el trabajo.

En Inglaterra Huygens participó en sesiones de la Real Sociedad donde conoció a Newton, y otros grandes de la Mecánica pero se ignora qué discusiones hubo entre ellos. Existen los testimonios que atestiguan la admiración que profesó hacia Newton pero se sabe que calificó de absurda la teoría de la gravitación en el sentido de considerar la acción a distancia de las

fuerzas. Por otra parte Huygens desarrolló la óptica ondulatoria como modelo opuesto a la teoría corpuscular desarrollada por Newton.

Se ha afirmado que la obra del profesor jesuita Francesco M. Grimaldi (1613 - 1653) atrajo a Newton al campo de la óptica. En 1666 aparece publicada la obra "Física-matemática de la Luz"

en la cual se sugiere la naturaleza ondulatoria de la luz y se formula las bases geométricas para una teoría ondulatoria de la luz. Grimaldi se considera el descubridor de la difracción de la luz, fenómeno al cual le dio su nombre: división en fracciones. Ofrece con su estudio las bases para la posterior invención de la red de difracción, tarea conducida a principios del siglo XIX, por el óptico alemán Joseph von Fraunhofer que impulsó el nacimiento de la espectroscopia. A Grimaldi corresponde también el mérito de ser el primero en nombrar los accidentes visibles de la luna en 1651. Con Giovanni Batista Riccioli (1598 - 1671) compuso un muy preciso selenógrafo, publicado en la obra de Riccioli "Almagestum Novum", la mejor descripción de la superficie lunar construida por el hombre hasta esa época.

En 1669 el profesor de la Escuela de Medicina de la Universidad de Copenhague Erasmus Bartholin (1625 -1698) descubre el "insólito" fenómeno de la polarización de la luz al atravesar un cristal de espato de Islandia. En su "Experimenta crystalli Islandici disdiaclastici quibus mira & insolita refractio detegitur" Bartholin describe la geometría de los cristales y la doble refracción que experimenta la luz a su paso. Durante sus experimentos observó que cuando los cristales del espato de Islandia son rotados sobre sus ejes, uno de las dos imágenes se mueve en un círculo alrededor de la otra, lo que constituye una fuerte evidencia de que los cristales dividen la luz en dos diferentes rayos. Bartholin creía que el cristal tenía dos conjuntos de poros por donde el rayo de luz se dividía y se propagaba. Es también reconocido por su trabajo en la medicina en particular por la introducción de la quinina en la lucha contra la malaria.

En 1676 Huygens regresó a la Haya y se afirma que entonces se sintió atraído por el estudio de la obra de Bartholin y el fenómeno de la doble polarización. También por entonces conoció de los trabajos de Römer que daban una velocidad aproximada para la luz determinada por la observación de las lunas de Júpiter, lo que confirmaba sus tesis de la finitud de la velocidad de la luz. Dos años más tarde publica en París su "Traité de la lumiere", en el cual considera la luz como la propagación de un movimiento ondulatorio en un medio sutil, el éter que llena todo el espacio y a partir de estos supuestos explica con éxito las leyes de la óptica geométrica. Huygens constató que una esfera de luz en expansión se comporta como si cada punto en el frente de onda fuera una nueva fuente de radiación de la misma frecuencia y fase. Al concebir la luz como ondas mecánicas, explica diferentes fenómenos ópticos entre los que se incluye la polarización de la luz.



Fermat no compartió con Descartes sus puntos de vista sobre óptica, publicados en "Dioptrica" como un apéndice a su Discurso del Método (1637). A partir de la hipótesis de que la luz viaja más rápidamente en el más denso de los 2 medios involucrados, Descartes deduce la ley de refracción. Muchos años después Fermat encontró la hipótesis cartesiana contradictoria con el principio aristotélico de que en la naturaleza, el camino más corto se toma siempre. Con esta idea en la mente y a través del uso de su método para determinar mínimos y máximos, Fermat estableció en 1658 lo que normalmente se describe como el principio del tiempo mínimo. De esta máxima pueden deducirse la ley de refracción y la ley de reflexión de la luz.

Los estudios sobre la electricidad en este siglo encontraron, a 29 años de la publicación de "De Magnete", una relativa continuidad con los trabajos del jesuita italiano Niccolo Cabeo (1596 – 1650). En su obra "Philosophia magnetica" publicado en 1629, se describen observaciones de que los cuerpos cargados eléctricamente podían atraer a objetos no electrificados y también notó que dos objetos cargados se repelen. Estos efectos eléctricos se atribuyeron a la liberación por el cuerpo electrificado por frotamiento de un efluvio que desplaza al aire alrededor del objeto ligero provocando su aproximación. La repulsión no es vista como una nueva fuerza creada sino simplemente como la reocupación del aire original del espacio entre los cuerpos que separa al objeto ligero. La comprobación experimental de estas hipótesis debió esperar por mecanismos de creación de un vacío relativo. Y esto sólo ocurrió cuando el grupo de Oxford investigaba diversos fenómenos con el vacío creado por la bomba de Hooke.

La publicación de Robert Boyle en 1675 “Experiments and Notes about the Mechanical Origine or Production of Electricity” da cuenta de que los fenómenos eléctricos eran igualmente observables en sistemas a presiones reducidas y rechazó así el efecto puramente mecánico del efluvio eléctrico de Cabeo.

Pero por los tiempos que Boyle investigaba estos efectos, precisamente el ya mencionado inventor de la bomba de vacío Otto von Guericke no solo construyó la primera máquina que producía electricidad por fricción en 1672 sino que descubrió la atracción y la repulsión eléctrica. Su máquina eléctrica consistió en una esfera de azufre montada sobre un eje de hierro que en cierto modo imitaba la rotación de la Tierra. Cuando esta esfera se rotaba y frotaba con la mano manifestaba reacciones eléctricas, es decir, toda suerte de pequeños fragmentos, como hojas de papel, oro o plata, se veían atraídos por el globo de azufre. Esta acción se observaba también con gotas de agua o el humo que pasaran cerca de la esfera. Von Guericke, a diferencia de Cabeo reconoció la repulsión como “una virtud expulsiva”. Y estuvo a punto de describir la descarga eléctrica de los cuerpos cargados por contacto con algún otro objeto, al apreciar que cuando esto ocurre el objeto se siente re-atraído por el cuerpo electrificado. Sus experimentos con el globo de azufre y una pluma revelan que una conexión existe entre la virtud expulsiva y el aire caliente procedente de una vela, pues al pasar la pluma a unas pulgadas del foco caliente la conducta de la pluma cambia súbitamente y vuela hacia el globo en “búsqueda de protección”, como si la virtud expulsiva fuera disipada.

En la última década del siglo el astrónomo inglés Edmund Halley sugiere que la Tierra consiste de esferas dentro de esferas cada una de las cuales rota lentamente con respecto a la otra y es independientemente magnetizada. Era un primer intento de explicar por qué la declinación magnética varía con el tiempo.



Hasta la invención de la maquina de producir electricidad por fricción de Von Guericke nadie había observado la transferencia de electricidad de un cuerpo a otro. Sus experimentos demostraron que conectando a un globo de azufre electrificado un hilo de lino se ejerce su virtud eléctrica atractiva sobre un cuerpo. Además Guericke reporta que la bola de azufre en la oscuridad cuando era enérgicamente frotada se hacía luminosa. Da la impresión de que el propio Guericke no aprecia la trascendencia de sus descubrimientos, al no continuar profundizando sobre estos hechos y desviar su atención hacia otros campos de la investigación.

Los métodos cuantitativos penetran los ámbitos de la Química y la Biología

En el otro extremo de la cuerda, en el ámbito de la Biología, los métodos cuantitativos y experimentales de la Mecánica no dejarían de tener una notable resonancia. No sorprende que fueran Padua y Bolonia los escenarios desde donde se iniciara este movimiento como tampoco que fuera la Medicina la disciplina escogida por la historia para producir esta nueva orientación.

Desde el siglo XVI, la Universidad de Padua representaba uno de los centros promotores de la revolución anatómica que encuentra en Fabrici el fundador de la embriología científica y de cuyas observaciones de las venas emerge la obra “De venarum ostiolis” (1603) con representaciones sistemáticas y precisas sobre las válvulas venosas.

Un año antes de la publicación de la obra de Fabrici se doctoraba en Padua, luego de cinco años de estudios, un joven médico inglés, graduado en Cambridge, de nombre William Harvey (1578-1657). Harvey en las próximas décadas demostraría que la función del corazón en el cuerpo humano es bombear la sangre a través de un torrente circulatorio que cumple una trayectoria circular. Se abría paso una Revolución en la Fisiología que se apartaba de los designios sobrenaturales atribuidos a los procesos vitales y en particular al corazón.

En la región fronteriza entre la Física y la Química se van dando los primeros pasos hacia una comprensión de la naturaleza del calor y la máxima galileana de “medir todo lo que es medible y pretender hacer medible lo que por ahora no lo es” va penetrando el pensamiento y la acción de los que investigan en este campo.

El renacimiento de la atomística antigua se ve impulsado por el filósofo y matemático francés referido arriba, Descartes, quien penetra diversos campos del conocimiento en el siglo XVII. De manera hipotética Descartes planteó la singular idea de que las propiedades de las sustancias dependían de la forma que adoptaban sus partículas constituyentes. Así el agua debía presentar como corpúsculos elementales partículas largas, lisas y resbaladizas; partículas puntiagudas debían formar las sales; pesadas y redondas debían ser las del mercurio. Puede considerarse a Descartes el iniciador de la Estereoquímica o Química Espacial, pero sus ideas no podrían tener un ulterior desarrollo en esta época. Debía antes desarrollarse la Mecánica de Newton, para que Dalton, a inicios del XIX, pudiera atribuir a la masa, la propiedad fundamental de los átomos.



Correspondió a Santorio Santorio (1561-1635), en la Universidad de Padua, ser el primero en inscribir en la Medicina el precepto del padre de la nueva Mecánica el pisano Galilei, “medir todo lo que sea medible” cuando introduce en la práctica médica instrumentos de medición como la primera versión del medidor del pulso (pulsilogium) sobre la base de la longitud del péndulo que se hacia isocrónico con las pulsaciones cardíacas, o versiones apropiadas del termoscopio galileano para la medición de la temperatura de los pacientes en la mano, la boca o en el aire exhalado.

Pero no es Descartes un exponente único de esta línea de pensamiento, incluso antes el químico holandés Daniel Sennert (1572-1637), defendía la existencia de partículas elementales a las cuales llamó mínimas e intentó interpretar diferentes transformaciones físico- químicas como las condensaciones y destilaciones a partir de las mínimas. Su contemporáneo Joachim Jungius, (1587-1657) consideraba igualmente que numerosas transformaciones implicaba el cambio de los átomos y poco después el autodidacta italiano de Química y Medicina, Angelo Sala (1576 –1637) atribuye a los corpúsculos función esencial en las transformaciones, considerando la fermentación como una reagrupación de partículas elementales que conducía a la formación de nuevas sustancias.

Anteriormente Galilei había inventado el termoscopio (1592), instrumento simple e inexacto pero con el cual había dado nacimiento a la termometría y por consiguiente a la termodinámica. Fueron precisamente sus discípulos, los académicos florentinos los que convierten el instrumento de Galileo en el termómetro de líquido llenado al principio con agua, luego con alcohol y por fin, ya en el siguiente siglo con mercurio. Ellos descubrieron que la lectura dada por un termómetro para la temperatura de mezclas de agua y hielo es siempre la misma. La práctica demostraba que existían estados con temperaturas constantes, pero el desarrollo de una escala termométrica debió esperar por los trabajos del discípulo del gran químico holandés Hermann Boerhaave, el físico alemán Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736) en las primeras décadas del XVIII.

La hipótesis de que el calor está asociado al movimiento interno de las partículas diminutas constituyentes de los cuerpos nos viene del filósofo inglés Francis Bacon (1561 – 1626), que arriba a la misma basándose en la observación común de que el martilleo sobre una lámina de metal produce su calentamiento. Otra suposición engendrada a principios de siglo (1613) era defendida por Galilei al considerar el calor como sustancia, cuerpo o fluido termógeno que no se produce ni se elimina, solo se redistribuye entre los cuerpos. Anteriormente Galilei había inventado el termoscopio (1592), instrumento simple e inexacto pero con el cual había dado nacimiento a la termometría y por consiguiente a la termodinámica.



En 1628 el médico inglés William Harvey (1578-1657), 26 años después de doctorarse en Padua, publica “De motus cordis”, donde concluye que tanto en el hombre como en los animales la sangre es mantenida en un circuito con un tipo de movimiento circular incesante, y que ésta es una actividad o función del corazón que lleva a cabo por medio de su pulsación, y que en suma constituye la única razón para ese movimiento pulsátil del corazón. Se abría paso una Revolución en la Fisiología que se apartaba de los designios sobrenaturales atribuidos a los procesos vitales y en particular al corazón



El fisiólogo italiano Marcello Malpighi (1628-1694) introduce el microscopio de Hooke para realizar observaciones de los tejidos y ello le permite, al tiempo que inaugura la Anatomía Microscópica, descubrir la red de capilares pulmonares que conectan las venas con las arterias, y que vienen a explicar el vacío dejado por Harvey en la explicación del ciclo circulatorio. No es Malpighi un representante aislado de los cambios generados por la matriz de la época, a partir de ahora los planteamientos y soluciones de los problemas de esta disciplina se apoyan cada vez más en los logros de la Mecánica de la Física y de la Química apartándose de explicaciones basadas en tendencias esenciales o en designios sobrenaturales.

Asombra que un anatomista como Franciscus Sylvius (1614 –1672) haya abordado la investigación del calor liberado cuando se mezcla un ácido con alambres de hierro dando los primeros pasos de la termoquímica desarrollada en el siguiente siglo por el británico Joseph Black (1728 – 1799), convirtiéndose así en uno de los fundadores de la tradición forjada en la Universidad de Leiden. Su magisterio se exalta con la labor de mentor de Burchard de Volder (1643-1709), un entusiasta seguidor de Boyle que fundó el primer laboratorio de Física de Leiden y que influye notablemente en el célebre profesor holandés, Hermann Boerhaave (1668-1738).

En la línea de medir los cambios en la masa newtoniana durante las reacciones químicas aparece un personaje que es para muchos el más auténtico protagonista del período de transición de la alquimia hacia la química, el médico, y químico-físico flamenco Johannes Baptiste van Helmont (1577 –1644).

Este afán por introducir la balanza, adelantándose casi un siglo a las prácticas de la experimentación cuantitativa de la Escuela Francesa liderada por Lavoisier, que debía conducir más tarde o más temprano a los fundamentos de la ley de conservación de la masa, se refleja también en la actividad del francés Jean Rey (1583-1645). Van Helmont y Rey “rozaron” la formulación de la ley de conservación la masa enunciada más de un siglo después por el químico ruso Mijaíl Vasílievich Lomonósov (1711-1765).



Un personaje que es para muchos el más auténtico protagonista del período de transición de la alquimia hacia la química, el médico, y químico-físico flamenco Johannes Baptiste van Helmont (1577 –1644) se destaca por su apasionada defensa de que el estudio de la naturaleza debía conducirse por los naturalistas y no por los sacerdotes. La célebre Universidad de Lovaina (fundada en 1425) donde recibió su enciclopédica formación consideró sus ideas como herejía y presentó la correspondiente acusación ante la Santa Inquisición. Condenado a tres años de prisión, luego de ser liberado sufre un régimen de arresto domiciliario y la prohibición de publicar sus trabajos sin previa autorización de la Iglesia.

En la obra del químico-físico irlandés Robert Boyle (1627 – 1691) “Origen de formas y características según la filosofía corpuscular” publicada en 1666, el autor desarrolla el atomismo de sus predecesores y postula la existencia de partículas de materia primaria que se combinan de diversas maneras para formar lo que él llamó corpúsculos, de cuyo movimiento y estructura se derivaban todos los fenómenos observables.

La actuación como figura central del llamado grupo de Oxford integrado además por Hooke y el médico y fisiólogo inglés John Mayow (1641-1679) alienta el objetivo de descifrar el papel del aire en fenómenos aparentemente distantes como la combustión de materias orgánicas, la oxidación de metales, y la respiración. Corre el 1665 cuando demuestra empleando una bomba de vacío que una vela no arde en el vacío y los animales no pueden vivir sin el aire, lo que traducido al pensamiento teórico origina el criterio de que la respiración y la combustión son dos fenómenos similares. Hooke, compartía las ideas básicas de su mentor y en su obra "Micrographia", publicada en 1665 consideraba el aire como una mezcla de partículas diferentes entre las cuales hay un tipo responsable de la combustión y otra clase que no se alteraba durante las reacciones químicas y daba cuenta de la elasticidad observada. Por su parte Mayow suma nuevas evidencias, perfeccionando las experiencias neumáticas de Boyle, de que el aire es una mezcla de componentes y que en la respiración al igual que en la combustión sólo participa una parte de él.



El profesor pisano Giovanni Borelli (1608-1679) se dedicó a preservar y hacer avanzar la tradición galileana en el ámbito de la fisiología. Borelli es particularmente recordado por sus investigaciones microscópicas de las células de los globulos rojos y sus observaciones precisas de la regularidad en el movimiento de las estomas en las plantas. Su más famoso trabajo, "Sobre el movimiento de los animales", que no llega a ver publicado, sale de imprenta en dos partes entre 1680 y 1681, y en esta obra expone sus estudios fisiológicos basados en sólidos principios mecánicos que incluye el análisis del movimiento de los músculos, una ilustración matemática del salto y la carrera, y una explicación que anticipa las causas de la fatiga muscular y del dolor. Se considera el padre de la biomecánica



Aunque la más conocida contribución del químico-físico irlandés Robert Boyle (1627 – 1691) a las ciencias, sea la llamada ley de Boyle – Mariotte, ley de compresibilidad de los gases, publicada en 1662 en la segunda edición de su obra "Elasticidad y peso del aire" y descubierta de manera independiente y hacia la misma fecha por el físico francés Edme Mariotte (1620-1684), lo cierto es Boyle representa lo más avanzado en el pensamiento químico de la época. En el balance del XVII hay que reconocer que Boyle fue una de las figuras centrales en el proceso de demolición del entramado alquimista, en el conocimiento de las relaciones entre las sustancias, en el fortalecimiento de la práctica de introducir la balanza en el examen de los fenómenos químicos, y en la reevaluación del papel de los aires a la luz de su participación en los importantes procesos de combustión y de respiración.

Con la Revolución Científica inaugurada por Newton se abría paso el paradigma mecánico, que exigiría en este siglo, y propiciara en el XVIII, el desarrollo de un nuevo instrumental matemático. Un invento, aparentemente casual, desplazaría la pupila de investigadores hacia la electrostática. Mientras, la irrupción de los métodos de la experimentación cuantitativa hacia la Alquimia y otros campos de la Medicina, provocaría el fallecimiento de la primera y el nacimiento de nuevas áreas en la segunda.

Avances técnicos de la época y los progresos en las matemáticas

Al siglo XVIII se le conoce por el nombre de siglo de las luces. Semejante bautizo encuentra razón en el movimiento que invade a Europa en el terreno de las ideas, promoviendo la modernización y el rechazo a todo lo que representara el Antiguo Régimen.

Las monarquías, a tenor con estos nuevos aires, conducen las reformas financieras y educativas que caracterizan al despotismo ilustrado como sistema de gobierno, para continuar con el status quo de dominación clasista y perpetuación de sus privilegios económicos.

Por su parte la burguesía, aliada de los cambios que significaban el progreso social, prosigue minando las bases del régimen monárquico. Con este propósito levanta las banderas del liberalismo político y económico y abraza como suyo el modelo racional empirista.

Esta atmósfera social unida a la crisis que se desarrolla hacia la segunda mitad del siglo provoca una oleada de movimientos revolucionarios que tiene su más alta expresión en la Revolución Francesa. El dominio colonial se estrema con la explosión de la Rebelión Haitiana, la Guerra de Independencia de las 13 Colonias, y la sublevación de Tupac Amaru en el Perú. Se asiste al comienzo de la llamada Era Moderna.

La segunda mitad del siglo XVIII es testigo de las innovaciones tecnológicas, principalmente la máquina de vapor de Watt (1769) y el telar mecánico de Cartwright (1783), que en el contexto económico favorable del Reino Unido provoca una transformación renovadora de la industria siderúrgica y textil conocida como Revolución Industrial.

La Revolución Industrial no sólo se caracterizó por los incrementos en la productividad derivados de la introducción de las innovaciones tecnológicas y de las mejoras organizativas del proceso productivo sino también por la creación de grandes empresas en escenarios geográficos concentrados lo que provocó oleadas migratorias desde el campo a la ciudad con la aparición de los barrios obreros y la hacinación de una mayoría de la nueva población urbana.



Desde fines del siglo anterior y principios del XVIII se viene gestando las invenciones de máquinas que aprovechan la energía del vapor para realizar el trabajo mecánico de extraer agua de las minas de carbón inglesas. El herrero Thomas Newcomen (1663 - 1729) se antecede a la Revolución Industrial cuando inventa su máquina de vapor atmosférica en 1705. En 1763 James Watt (1736 - 1819), notable fabricante de instrumentos, asistente en la Universidad de Oxford, al reparar una de las máquinas de Newcomen aprecia las posibilidades de perfeccionar su eficiencia. Después de seis años de investigación, en 1769 patenta una máquina que superaba a las de su antecesor por su mayor rapidez en la carrera del pistón y por ser mucho más económica en cuanto al consumo de combustible. El propio Watt en 1781 ideó la forma de usar la máquina para hacer girar un eje y por lo tanto, abrir sus aplicaciones a muchos otros usos además del bombeo.

Otro signo de la época que debuta con la Revolución Industrial viene dado por el comienzo indiscriminado de la tala de los bosques europeos que prácticamente desaparecerán en el próximo siglo en búsqueda del más primitivo de los combustibles, la leña. La cultura del humo y la chimenea inaugura el proceso de contaminación atmosférica que marcaría el paisaje urbanístico de las grandes urbes nacientes, al tiempo que estrena la agresión despiadada del capitalismo irracional al entorno natural del hombre, con el exponencial crecimiento de las emisiones de los gases de la combustión.

A partir de ahora una creciente interrelación se establece entre la tecnología y la ciencia, pero si al siglo pasado correspondió esencialmente la Revolución de la Mecánica, al siglo XVIII toca el cambio de paradigma en el ámbito de la Química.

El pensamiento enciclopédico signo de la época, y la etapa de naciente formación en las Ciencias tal vez explique la inclinación abarcadora de los científicos de la época. Los grandes matemáticos incursionan con frecuencia en el campo filosófico, se esfuerzan por explicar los fenómenos en su totalidad, e intentan construir los instrumentos matemáticos requeridos para la formalización de los experimentos en el campo de la Mecánica. Un notable exponente de esta corriente es la personalidad de Jean Le Ronde d'Alambert. Comienza a los 22 años su relevante producción científica con la publicación de "Memoria sobre el cálculo integral" y cuatro años después sale a la luz su obra más importante "Tratado de Mecánica" donde desarrolla su conocido principio de D'Alambert. No ha cumplido los 30 años cuando escribe las primeras aplicaciones de las ecuaciones en derivadas parciales para abordar las causas de los vientos. Fue uno de los

principales colaboradores de Denis Diderot (1713 -1784) en esa monumental obra de 35 volúmenes conocida como la Enciclopedia francesa.

Se considera que las Matemáticas Puras, como sistema teórico, se deben al siglo XVIII. Y en este esfuerzo racionalizador de muchos destaca la figura del más brillante matemático del siglo XVIII, el suizo Leonhard Euler (1707-1783). En su copiosa obra realizó el primer tratamiento analítico completo del Álgebra, la Teoría de Ecuaciones, la Trigonometría y la Geometría Analítica. Además de su empresa matemática incursiona con notables aportaciones en el campo de la Mecánica, a la cual suma el estudio del movimiento de los sólidos rígidos, y de los fluidos.



Le pusieron por nombre Jean Le Rond (1717-1783), aludiendo a la Iglesia en que lo encontraron abandonado una fría noche parisina de 1717. De adulto se autonombró D'Alambert. Ahora en todas las Universidades se estudia el principio de D'Alambert y se aplican las reglas generales para la resolución de las ecuaciones diferenciales propuestas por él a los 26 años. D'Alambert será para todos uno de los enciclopedistas que iluminó el espíritu de la Revolución francesa de 1789. Ingresó en el año 1741 en la Academia de Ciencias de París, donde trabajó por el resto de su vida, cumpliendo en ella la función de secretario perpetuo. Su vida concluyó, luego de una vejez solitaria y cargada de dolores por una larga enfermedad, en su París, seis años antes de la Toma de la Bastilla.

Otro representante de los matemáticos sobresalientes de este siglo lo encontramos en el francés Gaspard Monge (1746 – 1818). Monge desde los 19 años ocupa la cátedra de Física en Lyon y poco después desarrolla las bases de la Geometría Descriptiva. Sus nuevas ideas sobre la curvatura de las superficies geométricas resultaron los fundamentos de los trabajos de Gauss en este terreno.

En la tradición de búsqueda de nuevos instrumentos matemáticos para resolver problemas de la Física se inscribe la actividad del francés Joseph Lagrange (1736-1813). En su principal obra (1788) Mecánica Analítica, abordó el estudio de la Mecánica utilizando el Cálculo de Variaciones creado por él; sistematizó el campo de las Ecuaciones Diferenciales; y trabajó en la Teoría de Números. Durante el periodo de la Revolución Francesa, estuvo a cargo de la comisión para el establecimiento de un nuevo sistema de pesos y medidas.

La Dinámica de los Fluidos recibe un poderoso impulso con las aportaciones del más notable representante de la destacada familia Bernoulli, Daniel (1700 – 1782). La ecuación de Bernoulli presentada por primera vez en su Hidrodinámica cubre un amplio abanico de aplicaciones en esta disciplina. Es considerado además el primero que desarrolla una teoría cinética de los gases y lo hace sobre conceptos atomísticos y probabilísticos.

Una de las tareas más importantes seguidas en la línea del desarrollo del cuadro mecánico del mundo, fue el desarrollo de la teoría de la gravitación de Newton a los movimientos planetarios en el Sistema Solar. Por entonces ciertas violaciones observadas en las órbitas de los planetas en relación con lo predicho desconcertaba a los astrónomos. Así por ejemplo estaba bien establecido que Júpiter y Saturno se adelantaban a veces, y otras se retrasaban con respecto a las posiciones que debían ocupar en sus órbitas. La relación de este comportamiento con perturbaciones gravitacionales temporales producto de las interacciones entre los planetas y con los cometas fue explicada por el matemático francés Pierre Simon Laplace (1749 – 1827). En 1796 adelantó una hipótesis sobre el origen del universo a partir de una nebulosa originaria. Laplace legó un proceso de formalización matemática que constituyó un modelo en las investigaciones posteriores en los campos de la Termodinámica y el Electromagnetismo.

La constante gravitacional de Newton fue determinada experimentalmente en este siglo por el físico y químico inglés Henry Cavendish (1731-1810) y lo hizo burlando la debilidad de la fuerza gravitacional con una precisión superada sólo un siglo más tarde, a través de la determinación de la fuerza atractiva que ejercían esferas de plomo de una gran masa sobre pequeñas masas unidas

a un péndulo de torsión. Cavendish resulta insuperable en materia del diseño experimental para mediciones cuantitativas de propiedades físico – químicas de las sustancias. Será pues una referencia obligada a lo largo de este siglo.



El padre de Euler aspiraba a que su hijo siguiera sus pasos y lo envió a la Universidad para prepararle como ministro, pero la geometría trocó su destino al convertirse en su asunto favorito, transformándose con el tiempo en el matemático más prolífico de la historia. Entre 1726 y 1800 publica 866 libros y artículos lo que representa aproximadamente una tercera parte del cuerpo entero de la investigación en la Matemática, Física teórica, y la Ingeniería Mecánica de la época. Notable resulta conocer que antes de cumplir los treinta años había perdido parcialmente la visión quedando totalmente ciego al final de su vida.

El desarrollo de los conocimientos teóricos y prácticos sobre la mecánica y la combustión tuvo su influencia en los avances experimentados en la tecnología de los dos procesos productivos que se convirtieron en los protagonistas principales de la Revolución: la industria textil y la industria minero-metalúrgica. Una compleja interacción se teje entre la técnica que promueve la Revolución Industrial y la naciente ciencia que la apoya y sobre cuyos adelantos se impulsa. La aplicación de nuevas tecnologías posibilitaba el rápido crecimiento de la producción textil y siderúrgica.

En 1764, el inventor británico James Hargreaves (1720-1778) inventó una máquina para cardar lana o algodón que preparaba la fibra para el hilado en hebras. Esta máquina de hilar, cuya invención se le reconoció a Hargreaves en 1764 y a la que le dio el nombre de su hija Jenny, hizo posible la producción automática de algodón en hebra con lo que revolucionó la industria textil.

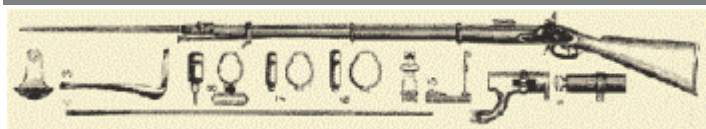
El segundo paso trascendental en la revolución de la industria textil vino con el telar mecánico Edmund Cartwright (1743 – 1823). Incluso antes de comprobar en la práctica el funcionamiento de su invento presentó en 1785 la patente correspondiente y dos años después construyó en Doncaster una segunda versión del telar mecánico. En 1789 instaló patentó su telar mecánico en 1785 antes de comprobar como su invención funcionaba en la práctica. Una segunda versión mejorada del mismo fue construida en 1787 en Doncaster. Dos años más tarde fue instalada una máquina de vapor para accionar mecánicamente su telar, con lo cual se inauguraba una época de mayor productividad y producción textil en gran escala. Sin embargo los trabajadores, viendo en peligro sus puestos de trabajo desplazados por la máquina, no dudaron en pegarle fuego a la instalación.

Por otro lado, la expansión de la extracción minera demandó el incremento de la fabricación de las máquinas de vapor, y esto resultaba un reto para la industria de fundición del hierro y su maquinado para la producción de los cilindros y demás piezas requeridas.

No es extraño entonces que en esta dinámica de necesidades en cadena, se considere la segunda mitad del siglo la época del desarrollo de las máquinas herramientas modernas. En 1774, el inventor británico John Wilkinson (1728 – 1808) patentó una taladradora horizontal que permitía conseguir superficies cilíndricas interiores. Esta máquina taladradora era esencial para la manufactura de las máquinas de vapor de Watt.

En la década de 1780 el inventor francés, uno de los primeros y más grandes autómatas de todos los tiempos, Jacques de Vaucanson (1709 – 1782) construyó un torno industrial en el que un tornillo manual hacía avanzar el portaherramientas deslizante. Hacia 1797 el ingeniero mecánico e inventor británico Henry Maudslay (1771 – 1831) patentó el primer torno integro de metal con un husillo guía patrón, que empleaba como medidor un micrómetro que podía medir hasta la milésima de pulgada. La combinación de introducir máquinas herramientas más eficientes y

organizar el proceso productivo siguiendo una secuencia de operaciones especializadas favoreció el incremento de la productividad del trabajo fabril.



El inventor estadounidense Eli Whitney (1765- 1825) es recordado por su invención de la desmotadora de algodón y la revolución que produjo en

su producción agrícola. Si bien esta máquina es expresión de importantes avances mecánicos que se producen en la época, Whitney debe reconocerse como el padre del método de producción masiva. Fue en 1798 cuando al firmar el contrato para producir 10 000 mosquetes, ideó cómo fabricarlos con la ayuda de máquinas y con un sistema organizativo que en cada puesto realizara una operación específica. El ensamblaje de las piezas intercambiables así producidas, originaba el producto final de la cadena. Se afirma que en el escenario estadounidense, la desmotadora de algodón fortaleció el poderío económico del Sur en tanto la tecnología de Whitney contribuyó a la victoria del Norte en la Guerra Civil.

La electrostática de Hauksbee a Galvani

En el campo de la electricidad, el inicio del siglo trajo los trabajos del discípulo de Boyle, Francis Hauksbee (1660 -1713), uno de los primeros en construir máquinas electrostáticas por fricción y estudiar los fenómenos de la descarga eléctrica, incluso a través de aire enrarecido, observando el resplandor producido en los primitivos barómetros. Estos estudios fueron antecedentes de la luminiscencia eléctrica en gases enrarecidos. Por otra parte, la principal fuente de electricidad para la mayor parte de las experiencias del siglo XVIII fueron tales máquinas eléctricas por fricción. La máquina fue sometida a diferentes innovaciones como la sustitución de la esfera de vidrio que giraba rápidamente mediante un sistema móvil por un disco y el acople de un tubo metálico que permitía la transmisión de la electricidad producida hasta el lugar deseado.

Precisamente en esta dirección se desarrollaron las investigaciones del astrónomo y físico inglés Stephen Gray (1666 – 1736). Durante los últimos años de la década del 20, Gray demostró que los materiales conductores pueden ser electrizados si están aislados, y que esta carga eléctrica adquirida puede ser trasladada distancias considerables (200 metros) desde un extremo electrificado conectado a un hilo conductor hasta el otro extremo convenientemente dispuesto para captar la señal recibida. Es por ello que estos estudios han sido considerados la antesala de los trabajos de la telegrafía que vinieron a cristalizar en la práctica algo más de un siglo más tarde.

El profesor de Química francés Charles Francois de Cisternay Dufay (1698-1739) abordó en la década del 30 el problema de determinar los tipos de carga eléctrica. A partir de sus estudios demuestra que hay solamente dos tipos de electricidad y le llama vítrea a aquella que se libera frotando vidrio (que se asocia luego a la carga positiva) y resinosa a aquella que se libera frotando ebonita (que corresponde a la carga negativa). Introduce el principio universal de que las cargas del mismo tipo se repelen y de diferente clase se atraen.



Henry Cavendish (1731-1810) comparó las conductividades eléctricas de soluciones equivalentes de electrólitos y expresó una primera versión de la ley de Ohm. Sus experimentos en electricidad fueron publicados un siglo después de haberlos realizado cuando Maxwell los redescubrió en 1879. Fue Cavendish el primero en determinar la constante gravitacional de Newton, junto con la masa y la densidad de la Tierra. La precisión de este resultado no fue mejorado hasta el siguiente siglo. A Cavendish corresponde también el mérito de haber determinado las constantes físicas que permitieron objetivamente diferenciar unos gases de otros. Así pudo descubrir en 1766 al gas más ligero de los conocidos, el llamado más tarde por Lavoisier, Hidrógeno.

En 1746 el físico holandés Pieter van Musschenbroek (1692 – 1791), profesor de la Universidad de Leiden, publica los resultados obtenidos en el intento práctico de acumular electricidad estática en una botella y provocar su descarga conectando su borne central a tierra. Casi simultáneamente

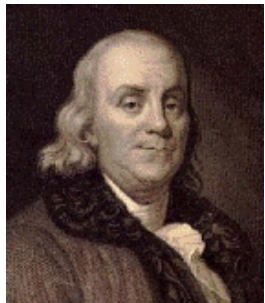
el inventor alemán Ewald Georg von Kleist (1700-1748) descubre un dispositivo similar al del holandés que pasa a la historia con el nombre de "Botella de Leiden", y que representa el antecesor de los condensadores modernos. El aparato que acumulaba o condensaba electricidad llegó a convertirse en un dispositivo útil para la experimentación.

Poco después de la difusión del dispositivo construido por Musschenbroek, el Abad Jean-Antoine Nollet (1700-1770) propuso en la Academia parisina el uso de la electrificación estática como técnica de recuperación física para diferentes casos de parálisis motora. Nollet describió en detalle el método para producir y aplicar la electricidad "friccional". La idea de que la electrificación podría tener valor terapéutico recorrió toda Europa. Sin embargo, los resultados de la electroterapia fueron muy contradictorios porque los médicos de la época lo aplicaron indistintamente sin distinguir las causas de la parálisis.

En la próxima década entran en el repertorio de nociones físicas la inducción eléctrica y la conservación de la carga. En torno a este desarrollo aparece la figura de Benjamín Franklin (1706-1790). En 1751 publica sus resultados en Londres con gran éxito. En el período que media entre 1746 y 1756 desarrolla importantes investigaciones que lo llevan a importantes inferencias a partir del principio de conservación de la carga.



Joseph Priestley, el genial físico-químico británico, fue amigo de Franklin y en su relación epistolar le confiesa (20 años antes de los experimentos de Coulomb) su deducción de que la atracción electrostática debía estar sujeta, de acuerdo con ciertas experiencias conducidas por Franklin, a leyes del mismo carácter matemático que las de la gravitación. Formado para ser Ministro de una Iglesia se convierte en un brillante investigador. Por su apoyo declarado a la Revolución Francesa una turba enardecida en 1791 le quemó la casa y sus pertenencias. Obligado a emigrar, muere diez años después en los Estados Unidos.



Benjamín Franklin no solo representa el científico que construye una teoría para explicar el fenómeno electrostático implicado en la botella de Leiden, el experimentador incansable que propone la hipótesis de que las tormentas son un fenómeno eléctrico, el inventor del pararrayos, y el político sagaz, sino también el investigador preocupado por la creciente emisión de gases contaminantes que idea sistemas para controlar el exceso de humo de las chimeneas y el inventor de estufas más eficientes que producen más calor con menos combustible. Benjamín Franklin fue el principal seguidor de los postulados de Isaac Newton en América. En su Pensilvania fue presidente de la Sociedad Abolicionista y dos meses antes de morir firmó una petición al Congreso de los EU instando a la abolición de la esclavitud.

La nueva teoría deducida por Franklin rechazaba la teoría de du Fay sobre la existencia de dos tipos de electricidad, y afirmaba que todos los cuerpos portan un fluido único que en exceso o defecto de un valor "normal" producía los efectos eléctricos. Franklin supuso que las propiedades atractivas y repulsivas observadas en diferentes materiales bajo distintas circunstancias eran debidas a las cantidades relativas de este fluido más que a diferentes tipos de fluidos. Concluyó también que este fluido se encontraba en todas las cosas, de modo que podía ser transferido de una cosa a otra. La pérdida del fluido en un cuerpo resulta en la ganancia de la electricidad en el otro. Este llegó a ser conocido como el principio de conservación de la carga eléctrica. También se debe a Franklin el primer convenio relacionado con la electricidad. Los materiales que ganan una carga según la teoría de Franklin eran positivos, mientras aquellos desde los que la carga se cedía eran negativos. La electricidad se mueve entonces desde el positivo (el cuerpo con mayor carga) al negativo (el cuerpo de menor carga). La teoría del fluido único asentada en los postulados de la mecánica newtoniana, abona el camino de progresos que en el campo del electromagnetismo se alcanzan en el siguiente siglo. La creatividad de Franklin lo lleva a combinar teoría y práctica de manera que realiza numerosas invenciones entre las que se destaca el pararrayos, la primera aplicación práctica que emerge del campo aún joven de la electricidad y

que tiene la inapreciable virtud de ahorrar incontables vidas. Franklin no sólo fue un eminente hombre de Ciencia sino se considera uno de los fundadores de los Estados Unidos de América.

El hito que inaugura la electrostática como disciplina científica viene representado por el descubrimiento de su ley fundamental en 1777 por el físico francés Charles Coulomb (1736 - 1806). Coulomb inventa la balanza de torsión para medir la fuerza de atracción entre cuerpos eléctricamente cargados y obtiene así la expresión matemática que recuerda a la ley de la gravitación universal y atrapa en lo cuantitativo el fenómeno de atracción o repulsión electrostática. La unidad de medida de la carga eléctrica, el Coulomb, perpetúa su memoria.

El último tramo del siglo XVIII nos trae en materia de electricidad los trabajos de uno de los pioneros en el campo de la biofísica, el médico italiano Luigi Galvani (1737-1798). En verdad cuando Galvani empezó sus trabajos estimulando eléctricamente patas de rana, el problema de la irritabilidad animal y de si los nervios eran conductores de un “fluido nervioso” análogo al eléctrico, ya era ampliamente debatido en los círculos médicos de la Universidad de Bolonia.



Galvani fue 33 años profesor de la Universidad de Bolonia y sus trabajos son los primeros que apuntan a la existencia de fuerzas bioeléctricas en el tejido animal. Fue este cirujano, que renunciara a su cátedra universitaria cuando la invasión napoleónica para morir un año después, el primer biofísico de la historia.

La teoría del fluido eléctrico animal fue rechazada por el también italiano Alessandro Volta y el debate Galvani - Volta fue uno de los episodios notables con que nacen las ideas modernas sobre la electricidad.

La pila de Volta, la primera batería eléctrica, hizo posible la construcción de dispositivos para mantener una corriente eléctrica por un circuito dado, y abordar el problema de los nexos entre la electricidad y el magnetismo. Una vez presentados sus trabajos en la

Academia francesa de la Ciencia, aceptó el título de Conde de Lombardía, territorio ocupado por las tropas napoleónicas.

Galvani propuso que la rana y todos los otros seres vivos poseían una electricidad inherente y sospechó que la electricidad era transferida a las fibras musculares desde los extremos de los nervios, actuando cada fibra muscular como una minúscula botella de Leyden. La principal contribución de Galvani fue abrir el camino para el estudio de los mecanismos de la generación y propagación de las señales eléctricas en el sistema nervioso. Al morir Galvani en 1798, el físico italiano Alejandro Volta había comenzado a cuestionar que el origen de las contracciones musculares de la rana observadas por su compatriota fuera la electricidad de naturaleza animal. Volta demostraría que usando discos de metales diferentes separados por telas humedecidas en ácido, se genera una corriente eléctrica. Hizo así uno de los inventos más grandes del siglo.

Adelantos en la termometría y las nociones sobre el calor

La idea de que el calor era una forma de movimiento de la sustancia ya había sido esbozada en el siglo anterior, primero por Galilei y sus discípulos y en la segunda mitad de la centuria por Robert Boyle y Robert Hooke.

Las nociones elaboradas por el sabio ruso Mijail Lomonosov (1711 – 1765) sobre el calor se inscriben en el desarrollo del atomismo que desde el siglo anterior lo relaciona con el movimiento corpuscular. Lomonosov comparte y critica la obra de Boyle, sosteniendo que la ley del irlandés sobre los gases debe sufrir una desviación notable para la región de las altas presiones debido al volumen ocupado por los átomos.

Los experimentos que pretendían medir los intercambios de calor entre los cuerpos exigían el desarrollo de la termometría que habían iniciado los académicos florentinos del siglo XVII. Ya en 1702 el instrumentista francés Guillaume Amontons (1663 – 1705) había demostrado la relación

entre la presión de un gas y su temperatura, proponiendo la construcción de un termómetro de gas a volumen constante. Estas ideas sugerían la existencia de una temperatura mínima.

El estudio sistemático de la combustión empleando las mejores balanzas y termómetros disponibles en esta época, llevó al médico holandés, profesor de la Universidad de Leiden, Hermann Boerhaave (1668-1738), considerado uno de los padres de la física – química, a demostrar que el agua es uno de los productos de esta reacción, probar que el calor es imponderable, y realizar las investigaciones calorimétricas iniciales. En esta empresa contó en las primeras décadas de este siglo con la colaboración de un discípulo que mostraba una especial vocación y aptitud para la fabricación de instrumentos de medición y el soplado del vidrio: el eminente instrumentista de origen polaco Daniel G. Fahrenheit (1686 – 1736).



A los 19 años el joven Mijail dejó su aldea natal y puso proa a Moscú cargado de avidez por los saberes. Trece años más tarde, dos antes de ser elegido académico y aún viviendo en condiciones de extrema pobreza, solicita de la Academia de Ciencias Rusa la creación de un laboratorio “para desarrollar las ciencias naturales en el Imperio Ruso y aplicarlas en la práctica”. La respuesta no se hizo esperar: “Negar la solicitud del auxiliar de catedrático pasante Lomonosov”. Supo sobreponerse a todos los obstáculos y su tesón y talento lo convirtieron en poeta brillante, reformador de la lengua rusa, fundador de la Universidad, y uno de los más fecundos hombres de ciencia de la primera mitad del XVIII.

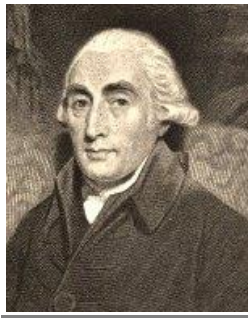
Fahrenheit continúa los trabajos por el sendero de la termometría. La práctica había demostrado que existían estados con temperatura constantes. Fahrenheit descubre que la temperatura de ebullición del agua es sólo constante a una presión barométrica dada y propone en 1714 la primera escala basada en dos puntos fijos: la temperatura de fusión del hielo al que asignó un valor de 32 y la temperatura del cuerpo de un hombre saludable, para la cual fijó un valor de 96.

La escala centígrada nacería cuando en 1741, el profesor de astronomía de la Universidad de Uppsala Anders Celsius (1701 – 1744) construye un termómetro de mercurio que marca el cero para la temperatura de ebullición del agua y el 100 para la temperatura de fusión del hielo. Celsius se haría inmortal cuando la Novena Conferencia General de Pesos y Medidas en 1948 aprobó referir los grados de la escala centígrada como “grados Celsius”.

No menos trascendentes resultaron los experimentos de Fahrenheit y Boerhaave al estudiar el intercambio de calor entre iguales masas de agua y mercurio puestas en contacto a diferentes temperaturas. Resultó que la temperatura final no es en este caso el promedio aritmético de las temperaturas iniciales.

La interpretación de este comportamiento experimental se debe al médico y físico químico escocés Joseph Black (1728 – 1799). Los complejos vasos comunicantes que conectaran los trabajos de Boerhaave con las ideas de Black se encuentran en la influencia recibida por su mentor William Cullen (1710-1790), primer profesor de Química en Escocia y descubridor del efecto de refrigeración producido por la evaporación de los líquidos, de parte de otro importante eslabón en esta cadena de transmisión, el introductor de la enseñanza de la química moderna en las islas británicas, discípulo de Boerhaave en Leiden, Andrew Plummer (1698-1756).

Black admitió como correcta la hipótesis de que la sustancia termógena cedida por la sustancia caliente era obtenida por la sustancia fría, pero estas cantidades de calor iguales varían de distinta forma la temperatura de iguales masas de agua y mercurio. El agua y el mercurio, según el razonamiento de Black presentaban diferentes capacidades para el calor. A él se debe también la introducción de los conceptos del calor específico y el calor latente de vaporización de las sustancias.



La actividad del médico y físico-químico escocés, de origen francés, Joseph Black (1728 – 1799) se centra en dos polos del conocimiento físico químico. Por una parte asiste al nacimiento de la Termodinámica y sus estudios, desde 1766 hasta 1796, en la cátedra de Química de la Universidad de Edimburgo influyen en el instrumentista James Watt (1736-1819), quien en 1769 patenta la máquina de vapor que perfeccionaba el ingenio creado por Thomas Newcomen (1663 – 1729) en 1725. De otro lado los descubrimientos de Black al investigar la descomposición de la piedra caliza y las reacciones de combustión demuestran que “los aires” tienen un comportamiento químico que puede ser estudiado, inaugurando una época que conduce directamente a la llamada Revolución de la Química.

Estas nociones desarrolladas por Black representan los primeros logros de la naciente termodinámica. Le corresponde además el mérito, no destacado lo suficiente, de haber influido sobre su ayudante, el instrumentista de la Universidad de Edimburgo, James Watt (1736-1819), quien con sus innovaciones a la primera máquina de vapor llevó a la práctica sus descubrimientos.

Cavendish, contemporáneo de Black, hizo contribuciones relevantes al desarrollo inicial de la termodinámica. Aplica nuevas técnicas cuantitativas para descifrar la interacción del calor con las sustancias, midiendo calores de fusión y evaporación de sólidos y líquidos. Es también Cavendish el primero en descubrir la existencia de composiciones en las disoluciones que ofrecen temperaturas mínimas de congelación.

El repertorio de resultados experimentales conformado hacia la segunda mitad del siglo cristaliza en la concepción del carácter sustancial del calor propuesto por Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794), explicada en los siguientes términos:

1. Es una sustancia sutil que no puede ser creada ni destruida, pero si fluir de un cuerpo a otro cuando estos estén en contacto.
2. Se comporta como un fluido elástico y sus partes se repelen entre sí, pero son atraídas por las partículas que componen los cuerpos y esta atracción depende de la naturaleza de cada cuerpo.
3. Se puede presentar en estado “sensible” o “latente” de forma que en el primer estado se encuentra rodeando a las partículas como si fuera una especie de atmósfera a su alrededor y en estado latente se halla combinado con las partículas materiales en formas semejantes a las combinaciones químicas.

En 1798, las ideas sobre la naturaleza sustancial del calor son rechazadas por los experimentos conducidos por el estadounidense Benjamín Thompson (1753 – 1814) que vienen a demostrar su naturaleza cinética. Thompson escribió: “todo aquello que un cuerpo o sistema de cuerpos aislados pueda continuar suministrando sin limitación, no puede, de manera alguna, ser una sustancia material, y me parece extremadamente difícil, si no imposible, imaginar algo capaz de producirse y comunicarse, como el calor en esos experimentos, a no ser el movimiento”.



En tanto la teoría sobre el calor iniciaba su desarrollo, la práctica de la reducción del hierro en los altos hornos había comenzado una revolución con la introducción del coque como agente reductor ya en la Inglaterra de 1711. El advenimiento de la máquina de vapor de Newcomen creó un importante mercado para el hierro y en 1758, la fundición de Abraham Darby III (1711-1763) había producido 100 cilindros para este ingenio. En 1779 en los hornos de Coalbrookdale, como símbolo de la nueva era del hierro, se fundían las piezas del primer puente de arco de hierro sobre el río de Severn, en la zona que se convirtiera en cuna de la Revolución Industrial.

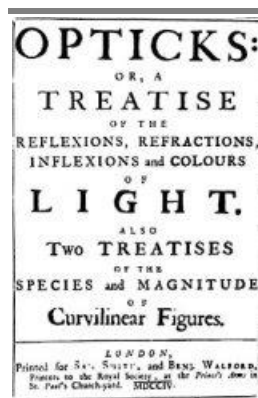
La comprobación de que el trabajo mecánico podía producir calor, debió fertilizar el camino para la aceptación del calor como una forma de energía y contribuir al desarrollo de la ley de conservación.

Sin embargo las ideas que prevalecieron en la comunidad científica de la época se corresponden con una etapa del desarrollo de las ciencias en que se introducen un conjunto de agentes sustanciales como el flogisto, el éter, y el calórico. Estas posiciones, un tanto ingenuas se basaban en el principio de no introducir la acción a distancia para explicar los fenómenos físicos al no disponer de conceptos y núcleos teóricos acerca de los campos, de las múltiples formas de energía, y de sus transformaciones de unas formas en otras. No sería hasta mediados del próximo siglo XIX que nuevos resultados experimentales permitieran la edificación de un cuerpo teórico acerca del calor, como energía en tránsito.

El debate en la Óptica y descubrimientos astronómicos

El prolífico matemático suizo Leonardo Euler entró en el debate sobre la naturaleza de la luz y consideró, en contra de la autoridad de Newton, que la luz no estaba constituida por partículas. La teoría de la luz de Euler se basaba en la existencia del éter que servía como medio de propagación de vibraciones luminosas. La mayor parte de sus ideas sobre la luz se recogen en el tratado Dióptrica, cuyo primer volumen se publicó en 1769. En Dióptrica se exponen las propiedades de los lentes, se establece el fundamento para el cálculo de los sistemas ópticos, y se proporcionan las descripciones de microscopios y telescopios.

Los astrónomos creyeron ver que el movimiento de los cometas seguía leyes diferentes al de los planetas hasta que Edmund Halley (1656-1742) se encargó de demostrar que estos cuerpos celestes estaban sometidos a las mismas atracciones gravitacionales. En su análisis de las observaciones de los cometas, Halley apreció que tres visitantes en 1531, 1607 y 1682 mantuvieron una trayectoria tan similar que debían tratarse del mismo cometa cuya órbita, según sus estimaciones, era una elipse elongada. De acuerdo con la periodicidad de su movimiento en 1705 propuso en *Synopsis of the Astronomy of the Comets*, que el objeto retornaría 76 años después de su última aparición es decir en 1758. La vida no le alcanzó para comprobar su predicción pero su nombre fue asociado para siempre con el cometa. Además de este estudio de los cometas, en 1718 Halley publicó el descubrimiento del movimiento de las estrellas que antes se creía que permanecían fijas en el firmamento.



La óptica del siglo XVIII se inicia a partir del tratado de Newton, "Opticks or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light", cuya primera edición data de 1704. En la obra se abordan los más variados fenómenos ópticos desde la reflexión de la luz, la refracción, la formación de imágenes por las lentes, la descomposición espectral, la recomposición de los colores, la invención del telescopio refractor, hasta la teoría del arco iris. Lo más destacado de la óptica newtoniana es la teoría corpuscular de la luz. Para Newton, la luz está constituida por pequeñas partículas desprendidas de los cuerpos luminosos o iluminados que al interactuar con el ojo producen el efecto de la visión. Según este modelo, los fenómenos ópticos son fenómenos puramente mecánicos, perfectamente explicables a partir de los Principios de la Dinámica newtoniana.

En 1728 el astrónomo inglés James Bradley (1693 - 1762) informó a la Real Sociedad de Londres que en la búsqueda infructuosa de la determinación del desplazamiento paraláctico de la estrella Eltanin, la más brillante de la constelación Dragón, había descubierto el fenómeno de la aberración de la luz. Bradley al encontrar un desplazamiento de la estrella en la dirección opuesta a la esperada, dedujo correctamente que la variación observada en la posición estelar era debido al movimiento que anima a un observador desde la Tierra respecto a la velocidad finita de la luz. Mediante el análisis de las mediciones del ángulo de la aberración estelar y teniendo el dato de la velocidad orbital de la Tierra, Bradley arribó a una estimación notablemente precisa de la velocidad de la luz en 295 000 km/s. Veinte años después de este descubrimiento y luego de observar durante un ciclo completo de 18,6 años el movimiento de los nodos de la Luna, Bradley

anunció un nuevo descubrimiento astronómico: el movimiento oscilatorio del eje de rotación de la Tierra, la llamada nutación del planeta. Cuando Halley murió en 1742, Bradley fue nombrado su sucesor como Astrónomo real del Observatorio de Greenwich.

Había cumplido los 35 años cuando el músico de origen alemán, nacionalizado británico, William Herschel (1738 - 1822) despertó un gran interés por la Astronomía que le condujo a manuales sobre los telescopios y a la fabricación de sus propios instrumentos. Ocho años de perseverante búsqueda astronómica y de perfeccionamiento de sus telescopios de reflexión le premió con un descubrimiento trascendente. Desde la Antigüedad se conocían seis planetas observables a simple vista, pero en 1781, Herschel apreció en la constelación de Géminis un nuevo objeto celeste que inicialmente confundió con un cometa al cual llamó "Estrella de Jorge", en honor del rey Jorge II pero poco después el astrónomo alemán Heinrich Olbers (1758-1840), quien en 1779 había elaborado un método para calcular las órbitas de los cometas, todavía hoy utilizado, descartó que se tratara de este tipo de objeto celeste y precisó que se trataba de un nuevo planeta. A partir de fines del XIX, el séptimo planeta del sistema solar fue rebautizado como Urano. Seis años después de su hallazgo, Herschel observó dos de los satélites de Urano, los de mayor tamaño, a los cuales nombró como Oberon y Titania, dioses de las hadas de la comedia de Shakespeare, "Sueño de una noche de verano" (1595).



Uno de los principales desarrollos de la "Mecánica Celeste" en el siglo XVIII se debe a la obra del matemático y astrónomo francés Pierre S. Laplace. La teoría de Laplace sobre el movimiento planetario ha resistido la prueba del tiempo. Su hipótesis nebular sobre la formación del sistema solar nutrió el arsenal de ideas de la cosmología de la época. Y por último, sus formalismos matemáticos no solo encuentran aplicación en la gravitación sino también en la electricidad y la termodinámica. En 1796 publica su "Exposición del sistema del mundo" que intenta resumir la historia de la Astronomía. En su "Sistema del Mundo", Laplace analiza la predicción del astrónomo inglés John Mitchel sobre la existencia de las "estrellas oscuras", estrellas tan masivas que impedirían la salida de la luz. Se formulaba la primera versión de los "agujeros negros" que en 1916 poco antes de su muerte, fueran descritos por el matemático alemán Karl Schwarzschild (1873-1916). Fue necesario esperar a fines del siglo XX para que el radiotelescopio Hubble instalado en una sonda espacial confirmara la existencia de un agujero negro en el centro de una enorme galaxia llamada M87.

La obra de Herschel en el siglo XIX estuvo fuertemente influida por los trabajos del geólogo y físico británico John Mitchell (1724 - 1793). En 1767 publicó una investigación sobre las estrellas dobles y los cúmulos de las Pléyades en la que concluye que muchas de las estrellas visibles en el cielo deben formar pares físicos o cúmulos de acuerdo con alguna ley general del universo. Pero la idea cósmica más interesante que desarrolló Mitchel, aparece en una carta de 1784 dirigida a Cavendish, su amigo de toda la vida, en la cual predice la existencia de "estrellas oscuras", estrellas tan masivas y compactas que tendrían un campo gravitatorio tan fuerte que ni la luz podría escapar. Sus ideas fueron publicadas en dos sucesivas ediciones del "Sistema del Mundo" de Laplace pero fueron excluidas en la tercera edición. Tal vez la noción de "los agujeros negros" no cabía aún en el pensamiento de la época sobre el universo. Estamos a 132 años de 1916, cuando poco antes de su muerte el matemático alemán Karl Schwarzschild (1873-1916) describiera las características de tales sistemas.

Contexto y progresos en las Matemáticas

Ni la Santa Alianza, concertada en el Congreso de Viena (1815) luego de la derrota definitiva en Waterloo de las tropas bonapartistas, ni las monarquías "legítimas" restauradas para supuestamente lograr la estabilidad europea consiguieron detener los profundos procesos en constante aceleración del desarrollo de las relaciones capitalistas.

El último tercio del siglo XIX resulta un período relativamente pacífico de expansión capitalista que fertiliza el camino para las grandes realizaciones que sobrevendrían en la ciencia y la técnica. Las mejoras asociadas a la civilización urbana en los escenarios en que estas se viene produciendo, aunque cargadas de desigualdades y contradicciones, provocan una explosión demográfica que eleva la cifra de los habitantes del planeta por encima de los 1 600 millones de seres y hace crecer las necesidades en un amplio abanico de esferas de la vida material y espiritual de la sociedad.

Las metrópolis europeas desde la Rusia zarista hasta la Corona británica realizaron importantes contribuciones al desarrollo científico decimonónico pero pueden advertirse tres polos exponentes de la vanguardia: La Confederación Germánica, el Reino Unido, y la Tercera República francesa.

La unificación tardía de Alemania, capitaneada por la Prusia de Bismarck a partir de 1871, se traduce en un arrollador auge económico que tiene un momento brillante en los años 90 e influye en el esplendor de las instituciones germanas y en su movimiento científico.

La economía británica, luego de siglo y medio de liderazgo absoluto observó cierto declive, y las clases dominantes convinieron una nueva ronda de expansión colonial. El mercado de las zonas subordinados a la Gran Bretaña experimentó entonces un notable crecimiento: Afganistán, Egipto, Sudán, Birmania y extensos dominios de los zulues sudafricanos fueron anexados. La producción científica británica principalmente a través de sus instituciones líderes continuó su brillante desarrollo.

La III República Francesa apostó también a la dominación colonial y resultaron conquistados los territorios de Túnez, África Ecuatorial, África Occidental, Madagascar y Vietnam. La Escuela Francesa heredera de la tradición de los fundadores de esta ciencia prosiguió generando personalidades y producción científica de primera línea.



Las postrimerías del siglo XIX se caracterizan por un crecimiento del empleo del acero que hace legítimo en cierta medida el bautizo de esta época como era del acero. Entre 1870 y 1900 la producción del acero aumentó en 56 veces. En justicia, a la producción del acero se ha de sumar la fabricación de la piedra artificial (el cemento Portland), y la obtención industrial del vidrio para completar la tríada de los materiales de construcción imprescindibles para levantar no sólo la monumental Torre Eiffel parisina o el Crystal Palace del Hyde Park londinense, sino los primeros rascacielos que siguieron al edificio neoyorkino de la Western Union.

Al otro lado del Atlántico, Estados Unidos conocía de una rápida expansión económica. En breve lapso concluida la Guerra de Secesión (1861-1865), la Unión avanzaba firmemente hasta alcanzar hacia la última década del siglo un lugar cimero en la economía mundial. Paralelamente al despliegue económico de la joven y pujante nación iban desarrollándose las doctrinas políticas de dominación hemisférica. La amalgama de estos factores con la emprendedora inmigración que experimentó el país lo transformó en una Meca de la innovación.

La emancipación de América Latina, nutrida por el ideario de la Revolución Francesa y la Independencia de los Estados Unidos y sustentada por la contradicción económica entre Metrópoli y territorios dominados, no condujo a la cristalización del sueño bolivariano de un gran escenario de naciones integradas por idioma, religión y cultura comunes, sino al nacimiento de un mosaico fragmentado de países de acuerdo a estrechos intereses de las burguesías locales que en lugar de orientar a la región hacia el progreso económico la sumergió en frecuentes escenarios de conflictos, marginándola de los procesos sociales de la ciencia y la tecnología.

En tales circunstancias históricas, se suceden apenas iniciado el siglo, como en reacción en cadena, aquellas invenciones que producirían primero una revolución en el transporte marítimo y terrestre y luego un diluvio de artefactos eléctricos.

En unos treinta años desde que el ingeniero norteamericano Robert Fulton (1765 - 1815) inventara el buque accionado por el vapor, la travesía por el Atlántico para enlazar los puertos industriales de América y Europa se convertiría en un recorrido de unos catorce días. Por estos tiempos, el transporte terrestre experimenta el nacimiento y meteórico desarrollo del ferrocarril. Si en 1814 el ingeniero inglés autodidacta George Stephenson (1781 – 1848) construye la primera locomotora a vapor, hacia 1870 doscientos diez mil kilómetros de vía férrea enlazaban los principales nudos y núcleos poblacionales del mundo industrializado.

Este fantástico incremento de la actividad del transporte trajo incontables consecuencias: abarató el traslado de las materias primas hacia las fábricas y de los productos industriales hacia los mercados de venta, contribuyó al crecimiento del mercado interior y exterior, aumentó la necesidad de metal y de combustible y por tanto impulsó las industrias correspondientes y los procesos de industrialización de una serie de países.



En 1876 Thomas Alva Edison (1847 - 1931) construyó en Menlo Park, una pequeña villa situada a 25 millas de Nueva York, un laboratorio de investigación. Pronto en este lugar se gestaron grandes inventos. La primera gran invención de Edison en Menlo Park fue el fonógrafo de una lámina de estaño en 1877. Dos años después era logrado su mayor desafío, el desarrollo de una bombilla incandescente práctica y en 1881 edifica en Nueva York una planta de corriente continua que genera y distribuye la energía a través de una red de líneas, tal como en ese entonces ya se hacía con el gas y el agua. En septiembre de 1882 se ilumina la primera calle que en Nueva York recibe los servicios de la planta.

Pero el sello de un nuevo paradigma en este siglo se asocia con la revolución en las comunicaciones y una nueva ola de invenciones en el transporte que están precedidas esta vez por los colosales descubrimientos en el área del Electromagnetismo.

A diferencia de momentos anteriores, en los que la práctica, precedía significativamente a la teoría, ahora la fuerza de los conocimientos de las nacientes ciencias impulsa y establece un complejo tejido de interacción con la tecnología. Si la máquina de vapor apareció en escena antes de la elaboración de la teoría de las máquinas térmicas, la construcción del motor eléctrico resultó posible solamente después de los avances de la teoría del electromagnetismo.

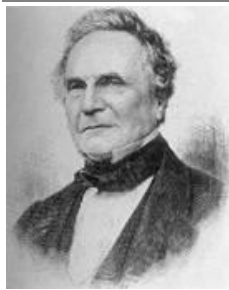
El dominio de una nueva forma de energía, la energía eléctrica inauguraba toda una época en el desarrollo de la sociedad. El tranvía eléctrico como forma de transporte público y el invento de la locomotora eléctrica, unidos a los primeros prototipos de móviles accionados por motores de combustión interna son los exponentes de la nueva oleada de equipos de transporte. El estreno del telégrafo y del teléfono y su rápida difusión, la grabación del sonido y la primera producción del fonógrafo, la instalación de las primeras plantas eléctricas y la iluminación de las ciudades con esta energía representan signos de los colosales cambios que se operan a la vista de una generación. No terminaría el siglo sin que las ondas hertzianas comunicaran a través del Canal de la Mancha a Inglaterra y Francia.

Así la faz del hábitat humano; sus medios de transporte; las vías de comunicación y de información; la producción de textiles, colorantes, explosivos, alimentos y medicinas van sufriendo a lo largo de este siglo una profunda revolución de la cual se sirve y a la cual apoya el progreso de las ciencias.

En una compleja dialéctica, al filo de la necesidad y la casualidad, siendo portadores de los progresos determinadas personalidades históricas que fueron fortaleciendo el papel de las

comunidades (Sociedades Científicas), en contextos sociales principalmente dados por las naciones que encabezan el desarrollo monopolista de la época, se produce el firme progreso de las ciencias.

En el campo de las Matemáticas se realizan trascendentales aportaciones que posibilitan el asalto que se produciría el próximo siglo al mundo de las partículas subatómicas; y se desarrollan nuevas ideas y mecanismos electrónicos que incuban revolucionarios diseños de máquinas de cálculo.



A partir de 1822 y hasta 1848, Charles Babbage proyectaría e intentaría construir sus máquinas de cálculo. Necesitó dinero y obtuvo préstamos. Incumplió con los plazos y padeció de crisis nerviosas. Pero la teoría y los principios de su "máquina analítica", es la de una computadora digital, una verdadera computadora que en el XIX sólo un genio pudo haber imaginado.

En 1991 científicos británicos construyeron una máquina diferencial a partir de las detalladas especificaciones dejadas por Babbage y en efecto, a más de un siglo de su diseño, la máquina fue capaz de realizar complejos cálculos con una gran exactitud.

El libro de Carl F. Gauss (1777-1855), *Disquisitiones arithmeticae*, con que nace el siglo XIX, marca el comienzo de la era moderna de la teoría de los números. Ya en su tesis doctoral planteó el teorema que aun hoy se conoce como teorema fundamental del Álgebra. En la teoría de la probabilidad, desarrolló el importante método de los mínimos cuadrados y las leyes fundamentales de la distribución de la probabilidad. El diagrama normal de la probabilidad se sigue llamando curva de Gauss. Es uno de esos científicos que pueden calificarse de físico-matemáticos pues desarrolla brillantes aplicaciones de la matemática a diversos campos de la Física, en particular, al electromagnetismo. Una unidad de inducción magnética perpetua su nombre.

La teoría de los grupos, que resultaría muy útil más tarde en el desarrollo de la Mecánica Cuántica, fue formulada en 1830 por el matemático francés Evariste Galois (1811-1832). Sus manuscritos se publican más de una década después para alcanzar la inmortalidad. Muchas de sus construcciones, que hoy se denominan grupo de Galois, cuerpos de Galois y teoría de Galois, permanecen como conceptos fundamentales en el Álgebra moderna.

En 1854, el matemático inglés George Boole (1815-1864) al emprender la investigación sobre las leyes del pensamiento, logra relacionar la Matemática con los argumentos lógicos y da origen a la Lógica Simbólica. El Álgebra de Boole es fundamental en el estudio de las Matemáticas puras y en la programación de las modernas computadoras.

El estadounidense Herman Hollerith (1860-1929) en 1880 inventa la calculadora electrónica y luego funda la Tabulating Machine Company (1896), que está considerada como una antecesora de la IBM (International Business Machines Corporation). Alrededor de medio siglo antes el matemático e inventor británico Charles Babbage (1792-1871) había concebido una máquina que debía funcionar con tarjetas perforadas como lo hace un telar, y que fuera capaz de almacenar respuestas parciales, utilizables posteriormente en otras operaciones.

En el año 1874, apareció el primer trabajo revolucionario de Georg Cantor (1845-1918) sobre la teoría de conjuntos. El estudio de los infinitos por parte de Cantor fue considerado por Leopold Kronecker (1823 -1891), una autoridad en la materia, como una locura matemática. Por este supuesto atacó vigorosamente a Cantor que mostró fragilidad y terminó a los 39 años en un manicomio. No obstante, en sus momentos de lucidez siguió trabajando, obteniendo en este periodo sus resultados más interesantes. La teoría de Cantor, forma hoy parte de los fundamentos de las Matemáticas y de la Lógica Matemática. Nuevas aplicaciones ha encontrado su teoría en el tratamiento de sistemas fluidos turbulentos. Murió en el manicomio de Halle en 1918.



El joven Galois, tendría una convulsa vida y trágica muerte. Rechazado su ingreso en la Escuela Politécnica de París; calificados sus trabajos como incomprensibles; expulsado de la Escuela Normal por su actividad política al lado de la República; y perdido su genio en duelo caballeresco, es Galois, en solo un lustro de actividad científica, uno de los gigantes de las Matemáticas del siglo XIX. Poco antes de su muerte, a la edad de 21 años, escribió de forma precipitada algunas de sus teorías algebraicas. Una década más tarde serían alcanzados sus manuscritos y alcanzado la inmortalidad.

Transcurridos más de dos mil años de las ideas de Euclides sobre el espacio, en el siglo XIX el matemático ruso Nikolai Lobachevski (1793-1856) formuló la Geometría no euclidiana (Hiperbólica), suponiendo que por un punto exterior a una recta pueden pasar infinitas paralelas, y no una sola como suponía Euclides. Bernhard Riemann (1826-1866), por su parte, fundamentó la nueva geometría esférica en el supuesto que por un punto exterior a una recta no exista ninguna paralela. El impacto de estas nuevas Geometrías con sus grandes abstracciones fue decisivo para el desarrollo de la Física Teórica Moderna.

La potencia motriz del calor y los nuevos ingenios para el transporte

En el universo de la Física los estudios sobre “la potencia motriz” del calor se apuntaron en la agenda del siglo XIX con el desarrollo de nuevas leyes y principios, y una desconocida hasta entonces mirada estadística hacia los sistemas moleculares.

La Escuela Francesa de físicos – matemáticos que aplican novedosas herramientas matemáticas al desarrollo de una teoría sobre el calor cuenta entre sus más sobresalientes representantes de inicios del siglo a Joseph Fourier (1768 – 1830). Fourier empleó una nuevas series trigonométricas (series de Fourier) en su tratado “Teoría analítica del calor” publicado dos años antes de la obra clásica de Carnot. En 1824 el joven ingeniero francés Sady Carnot (1796 - 1832), el mismo año del nacimiento de Lord Kelvin, publica su famosa memoria “Reflexiones sobre la potencia motriz del calor y sobre las máquinas apropiadas para desarrollar esta potencia”, en donde se dedicó a razonar sobre la pregunta general de cómo producir trabajo mecánico (potencia motriz) a partir de fuentes que producen calor. Carnot, en momentos en que se trabaja en el perfeccionamiento de estas máquinas, demuestra que no puede concebirse una máquina térmica más eficiente operando entre dos temperaturas prescritas que la suya y anuncia una de sus proposiciones fundamentales: La fuerza motriz del calor es independiente de los agentes usados en producirla; su cantidad está determinada unívocamente por las temperaturas de los dos cuerpos entre los cuales ocurre, finalmente, el transporte del calórico.

Antes de los trabajos del ingeniero y físico francés Émile Clapeyron (1799-1864) la obra de Carnot era poco conocida en los círculos científicos. En 1834 aportó su primera contribución a la creación de la termodinámica moderna, al publicar una memoria titulada Force motrice de la chaleur (Fuerza motriz del calor). En esta publicación Clapeyron desarrolló las ideas de Carnot sobre el calor de forma analítica, con la ayuda de representaciones gráficas. Sus trabajos ejercieron una notable influencia en las ideas de Thomson y Clausius que derivaron en el segundo principio de la Termodinámica.



Acaso la figura de Clapeyron refleje los intereses de la época en que el nacimiento de la locomotora por una parte empuja el desarrollo de ingenios térmicos más eficientes y por otra, demanda transformaciones en la construcción de puentes y caminos. Egresado en 1818 de la École Polytechnique parisina, Clapeyron asiste a Rusia, contratado durante diez años, para la formación matemática e ingenieril de los especialistas que debían levantar los ferrocarriles y puentes en esta gran nación. A su regreso, participa en el diseño de líneas férreas y de locomotoras en Francia. Entretanto elabora la formulación matemática del ciclo de Carnot, y publica obras fundacionales de la termodinámica.

Paralelamente con los trabajos iniciales que pretendieron analizar la eficiencia de las máquinas térmicas, el problema de la interrelación entre trabajo y el calor fue abordado por el médico alemán Julius Robert von Mayer (1814 – 1878). Mayer estableció, en 1842, que si la energía, en sus formas de energía cinética y potencial, se transformaba en calor, este debía poder transformarse en esas dos formas de la energía sentando las bases del principio de conservación en los fenómenos biológicos y en los sistemas físicos. Mayer fue capaz de encontrar una relación cuantitativa entre el calor y el trabajo basándose en los resultados de las mediciones de las capacidades caloríficas de los gases.

Unos años más tarde el también médico alemán Hermann von Helmholtz (1821 – 1894) pretende publicar un trabajo "Sobre la conservación de la fuerza" (1847) que defiende la conservación de la energía como un principio universal de la naturaleza así como la posibilidad de conversión de la energía cinética y potencial en "formas químicas, electrostáticas, voltaicas y magnéticas". La lectura de su trabajo en la Sociedad Física de Berlín fue considerado por sus miembros más viejos como demasiado especulativo y rechazada su publicación en la Revista alemana *Annalen der Physik*.

En la década de los cincuenta el físico británico James P. Joule (1818-1889) desarrolla los experimentos que permiten determinar el llamado "equivalente mecánico del calor". Joule considera el calor como movimiento y propone la estructura corpuscular de la sustancia, con lo cual inaugura la Teoría Cinético – Molecular de los gases, que intenta explicar el comportamiento de los gases ideales, teniendo como antecedentes los trabajos desarrollados por Boyle, Jacques A.C. Charles (1746 – 1823) y Joseph Gay Lussac (1778 – 1850).

En los años siguientes Joule alcanza la confirmación experimental de las ideas de von Helmholtz. Se formula entonces la ley de conservación y transformación de la energía, que se constituyó en principio de capital importancia. Las implicaciones de esta ley en el desarrollo ulterior de los conocimientos físicos tuvieron tal alcance que algunos autores consideran al periodo que le sucedió como una segunda etapa en el desarrollo de las Ciencias Físicas, basada en la aplicación de los principios de conservación.

A treinta años del Principio de Carnot aparece la expresión del llamado 2do principio de la Termodinámica en forma de dos enunciados que se complementan. El enunciado del irlandés William Thomson, Lord Kelvin (1824 - 1907) establece que no existen las máquinas térmicas perfectas pues no es posible construir un motor térmico que operando cíclicamente convierta en trabajo todo el calor absorbido.



Joule, hijo de un cervecero, fue discípulo de John Dalton en Manchester. Al igual que Faraday, fue un excepcional experimentador. Sus primeros trabajos fueron sobre electricidad, pues perseguía como propósito estudiar las eventuales ventajas del motor eléctrico sobre la máquina de vapor. Terminó por inaugurar lo que se considera una segunda etapa en el desarrollo de las ciencias físicas, basada en la aplicación de los principios de conservación. Fundó en su ciudad natal la "Manchester Literary and Philosophical Society".

Por su parte, en la visión complementaria del alemán Rudolf Clausius (1822 - 1888) para un ciclo refrigerante queda establecido la imposibilidad de extraer calor a una baja temperatura para entregar a una temperatura más alta sin que se suministre una determinada cantidad de trabajo al sistema.

Las aportaciones desarrolladas por Thomson entre 1848 y 1852 a la Termodinámica le colocan entre sus fundadores. En 1848 a partir de la noción de entropía desarrollada por Clapeyron propuso una escala de temperatura absoluta, cuyo cero lo situó en -273° C. En 1852, como resultado de la colaboración con Joule descubrieron y explicaron el efecto Joule-Thomson relacionado con el enfriamiento que experimenta un gas cuando se expande lentamente a través de un tabique poroso. Este fenómeno encuentra importantes aplicaciones pues se logra obtener temperaturas muy bajas. Más de medio siglo de ejercicio de la docencia en la Universidad de Glasgow le aseguraron la difusión de su obra en diferentes ámbitos de la Física.

Hacia 1866, en forma independiente de Maxwell, Ludwig Boltzmann (1844 – 1906) había formulado las bases de la teoría cinética de los gases. Esta teoría constituyó el primer eslabón de lo que más tarde se denominó Física Estadística como rama de la Física que estudia los sistemas de muchas partículas. Para estos sistemas existe objetivamente una dificultad en los cálculos que se supera mediante la descripción estadística. Su teoría significó un cambio de un concepto de certidumbre (el calor visto como un flujo de lo caliente hacia lo frío) hacia una noción estadística del movimiento de las moléculas. Su nueva visión no rechazó los anteriores estudios de termodinámica sino explicó mejor las observaciones y experimentos.

Todos los resultados anteriores posibilitaron enunciar ya en este siglo tres de los cuatro principios que constituyen los núcleos de la disciplina llamada Termodinámica: el Principio Cero que establece la posibilidad y el método de medición de la temperatura absoluta de un sistema como parámetro del equilibrio termodinámico; el Primer Principio en esencia reflejo de la expresión más general de la ley de conservación y transformación de la energía; y el Segundo Principio, también conocido como el principio de aumento de la entropía, que expresa el carácter irreversible de los procesos naturales y las relaciones entre el orden y el desorden empleando el concepto de entropía como una medida logarítmica del número de estados accesibles del sistema.



Es difícil sobreestimar la contribución de Boltzmann en el desarrollo de la Física. Gracias a él se unieron dos mundos: el de las propiedades macroscópicas con los parámetros del movimiento de los átomos y moléculas. Filosóficamente, la Termodinámica Estadística que construyen entre él y Maxwell significó un cambio de un concepto de certidumbre (el calor visto como un flujo de lo caliente hacia lo frío) hacia una noción estadística del movimiento de las moléculas. Su nueva visión no rechazó los anteriores estudios de termodinámica sino explicó mejor las observaciones y experimentos.

Pero las ideas vanguardistas de Boltzmann chocaron con los que defendían la dirección descriptiva en la Física. En particular su violenta polémica con Ernest Mach (1838 - 1936), profesor titular de la Cátedra de Filosofía de las Ciencias de la Universidad de Viena lo lleva a Leipzig, donde comienza a padecer de trastornos síquicos. Un día festivo, mientras su esposa e hija nadaban, termina con su vida. Poco después los experimentos confirmaban sus ideas.

En 1880 coinciden dos descubrimientos trascendentes: uno para la física de los gases y el otro para la física del estado sólido. Este año, el físico holandés Johannes Diderik van der Waals (1837 – 1926) produjo su segundo gran descubrimiento cuando publicó la Ley de los Estados Correspondientes. Esta ley mostraba que si la presión, el volumen y la temperatura se expresan respectivamente como una función simple de la presión crítica, el volumen crítico y la temperatura crítica, se obtiene una forma general de la ecuación de estado aplicable a todas las sustancias. Siete años antes, durante la defensa de su tesis doctoral “Sobre la continuidad entre el estado gaseoso y el líquido”, se convirtió en el primer físico en apuntar la necesidad de tener en cuenta el volumen de las moléculas y las fuerzas intermoleculares en el establecimiento de las relaciones entre la presión, el volumen y la temperatura de los gases.

La obra de van der Waals, según la opinión del premio Nobel de Física (1913), Heike Kamerlingh Onnes (1853 – 1926), fue una guía para el trabajo experimental del Laboratorio de Criogenia de Leiden donde se montó la primera planta de producción de aire líquido en 1894 y ya en el siguiente siglo se hicieron trascendentes descubrimientos sobre el comportamiento de gases y metales a temperaturas extremadamente bajas. En este camino de la licuefacción de gases un hito de fines del XIX fue la obtención del hidrógeno líquido por vez primera en 1896 en el laboratorio del físico y químico escocés James Dewar (1842 - 1923).

El otro descubrimiento, el efecto piezoeléctrico, fue reconocido en los círculos científicos de la época como un nuevo ámbito para la producción de electricidad que se distinguía de la electricidad estática generada por fricción o la piroelectricidad (originada mediante el calentamiento de cristales). No obstante, los hermanos Pierre (1859 – 1906) y Jacques Curie afirmaron que debería existir una correspondencia entre los efectos eléctricos observados por el cambio de temperatura, y por la presión ejercida sobre un cristal dado. Para ellos el hallazgo fue una confirmación de las predicciones que naturalmente derivaron de la comprensión de los orígenes microscópicos cristalográficos de la piroelectricidad (esto es a partir de ciertas asimetrías del cristal). Los hermanos sin embargo no predijeron que los cristales que exhibían el efecto piezoeléctrico directo (electricidad a partir de la presión ejercida) también podrían exhibir el efecto piezoeléctrico inverso (deformación como respuesta a un campo eléctrico aplicado). Esta propiedad fue deducida en 1881 a partir de los principios fundamentales de la termodinámica, por el físico luxemburgués Gabriel J. Lippmann (1845 - 1921), y casi inmediatamente confirmada por los Curie. Luego continuaron obteniendo pruebas cuantitativas de la reversibilidad completa de las deformaciones electro-elasto-mecánicas en cristales piezoeléctricos.



Van der Waals, con 30 años se gana la vida como Director de una Escuela Secundaria en el núcleo industrial de Deventer, al centro de los Países Bajos. Seis años después, en 1873, publica su tesis doctoral "Sobre la continuidad entre el estado gaseoso y el líquido" y se incluye en la vanguardia de los físicos que se esfuerzan por construir una ciencia al nivel molecular. Al conocer esta obra, Maxwell le dedica los más entusiastas elogios. En 1876 es designado como primer profesor de Física de la Universidad de Ámsterdam, en donde permanece hasta su retiro. En 1910 recibe el premio Nobel de Física.

Este andamiaje teórico contribuyó a la comprensión de innumerables hechos experimentales, los mecanismos del intercambio de calor, de masa y de momentos lineales, base de los actuales esquemas de transferencia que son propios de las tecnologías químicas, y lo que es más importante, ofreció los fundamentos de los sistemas llamados máquinas térmicas y de los mecanismos de refrigeración. A diferencia de la ciencia del XVIII que se mantuvo a la zaga de los avances técnicos en el período inicial de desarrollo de la máquina de vapor ya en el XIX las leyes de la Termodinámica que se descubren y toda la plataforma conceptual que se construye sirve de apoyo a la teoría de la máquina de vapor y a toda práctica relacionada con las transformaciones energéticas.

Inglaterra, la cuna de la revolución Industrial, había construido hasta 1840 más de 40 coches y tractores propulsados a vapor. Hacia la mitad del siglo circulaban regularmente unas 9 diligencias a vapor, capaces de transportar cada una entre 10 y 20 pasajeros a unos 24 km/h. Pero esta naciente industria británica tuvo una breve vida. Los intereses de la industria de las locomotoras frenó el desarrollo alternativo del transporte por carretera y trajo como resultado que los ingenieros ingleses, líderes en la tecnología de la máquina de vapor, no contribuyeran a las grandes invenciones que precedieron la revolución que significó la industria del automóvil.

En 1860 el ingeniero belga Étienne Lenoir (1822-1900) inventó y patentó en París un motor de combustión interna alimentado con gas de alquitrán, de doble acción con ignición por chispa

eléctrica. Tres años después mejoró el motor usando petróleo y un primitivo carburador y lo acopló a un vagón de tres ruedas que completó un histórico recorrido de 50 millas.

Inspirado en el motor diseñado por Lenoir, el ingeniero alemán Nicolaus A. Otto (1832-1891) junto con el técnico Eugene Langen (1833 – 1895) diseña el primer motor de gas con el cual ganan medalla de oro en La Exposición Mundial de París de 1867. En mayo de 1876 Otto construye el primer motor práctico con pistones y ciclo de cuatro tiempos. Para 1884, Otto había inventado el sistema de ignición magnético para bajo voltaje de ignición. A partir de entonces el monopolio de la innovación de los motores de combustión interna está principalmente en manos de los inventores alemanes.



Entre 1885 y 1887 se produjo el acoplamiento de un motor a un vehículo, cuando Karl Benz (1844-1929) y Gottlieb Daimler (1834-1900) introdujeron los primeros automóviles de gasolina eficaces. En 1889, Daimler inventó un motor con válvulas en forma de hongo, de cuatro tiempos con dos cilindros, en forma de V. El nuevo motor de Daimler estableció las bases para todos los motores de autos que se producirían más adelante.

También en 1889, Daimler y Wilhem Maybach (1846 – 1929) construyeron el primer automóvil en su totalidad, sin adaptar como había sido hecho hasta el momento otro vehículo. El nuevo automóvil de Daimler tenía transmisión de cuatro velocidades y

desarrollaba velocidades de 10 millas por hora.

En 1885, el ingeniero mecánico alemán, Karl Benz diseñó y construyó el primer automóvil práctico del mundo en ser impulsado por un motor de combustión interna: era un triciclo. Benz construyó su primer automóvil de cuatro ruedas con su marca en 1891. En 1893, el Benz Velo se volvió el primer automóvil barato, producido en masa en el mundo. La Compañía Benz, fundada por el inventor, se volvió el fabricante más grande del mundo de automóviles en 1900, llegando a producir para esa temprana fecha unos dos mil quinientos vehículos.

Un eficiente motor de combustión interna, utilizando gasoil como combustible, fue patentado en 1892 por el ingeniero alemán Rudolf Diesel (1858-1913). La eficiencia de este motor es mayor que cualquier motor de gasolina, llegando a superar el 40%. Los motores Diesel se aplicaron en instalaciones generadoras de electricidad, en sistemas de propulsión naval y en camiones y autobuses. En 1897 y luego de años de esfuerzos, Robert Bosch (1861 - 1942) consiguió desarrollar un magneto de encendido de aplicación práctica y casi simultáneamente comenzó a funcionar el motor de autoencendido de Diesel, que no requería de un sistema eléctrico de ignición.

Toda esta colosal revolución en los medios de transporte demandaba con urgencia el descubrimiento de fuentes de combustibles que convirtieran la energía química en mecánica. Por entonces no se avizoraban los peligros que entrañaría más tarde la despiadada explotación del petróleo, una reserva geológica del planeta. Sucedió entonces que en el Condado de Alberta, New Brunswick, el médico y geólogo canadiense Abraham Gesner (1797-1864) descubrió un mineral oscuro bituminoso, que al destilarse exhibe una llama excepcionalmente brillante para la época. La lámpara de keroseno, anunciada en 1846 a 34 años de la patente para la fabricación de la primera bombilla eléctrica por Thomas Alva Edison (1847 - 1931), se convertía en un poderoso estímulo para la prospección del petróleo y el desarrollo ulterior de la industria petrolera.

Mucho más allá fue el químico estadounidense Benjamín Silliman Jr. (1816 – 1885) en su "Report on Rock Oil, or Petroleum, from Venango County, Pennsylvania" publicado en 1855. En esta obra Silliman predice los usos del petróleo para los próximos 50 años y describe los métodos principales de preparación y purificación de sus productos. Silliman separó por destilación fraccionada diferentes componentes del petróleo crudo y evaluó las cualidades de cada fracción. Usando el fotómetro determinó que el petróleo destilado es mucho más brillante que los combustibles conocidos hasta el momento. También destacó el potencial uso de las fracciones

menos volátiles como lubricantes y el prolongado empleo que podía dársele a este producto. El estudio de Silliman constituyó un estímulo importante para iniciar la búsqueda del petróleo no sólo para dar respuesta a la crisis del combustible para la iluminación.



En el verano de 1859, la casualidad premió el esfuerzo de Edwin L. Drake (1819 - 1880) y a sólo 69 pies de profundidad en las tierras de Titusville, Pennsylvania se encontró un depósito rico en gas natural del cual emergía con fuerza el petróleo. Como si fuera poco, a este hallazgo sumó Drake tiempo después el método para separar del petróleo la fracción de queroseno, producto que Gesner había descubierto como un sustituto ideal del aceite de ballena para combustible en las lámparas. A pesar de sus dos trascendentes innovaciones, Drake muere en la pobreza al no patentar su método de extracción y llevar la empresa a la ruina, sin ver la expansión de la industria petrolera ni soñar tal vez siquiera la revolución que se produciría en el transporte.

Si al final del siglo XVIII, París había conocido el primer asalto del hombre a la conquista del aire, el segundo capítulo de esta conquista sería escrito a partir de la segunda mitad del siglo XIX y siguió diferentes caminos: los dirigibles -segunda generación de los globos- que aprovechaban la menor densidad de los gases ligeros para la ascensión y los mecanismos de la propulsión mecánica para enrumbar el vuelo; los planeadores, móviles alados para sostener un vuelo individual; y los aeroplanos que perseguían despegar una estructura más densa que el aire venciendo la gravitación, establecer un vuelo sostenido y guiado, y garantizar luego el aterrizaje suave. En semejante empresa se enrolaron aquellos que combinaron ideas ingeniosas y los últimos adelantos en materia de motores y otros aditamentos mecánicos, con una audacia a toda prueba.

El primer dirigible tripulado apareció en los cielos de París en 1852. Su inventor fue el ingeniero francés Henri Giffard (1825 - 1882). La nave aérea de Giffard propulsada por una hélice acoplada a un motor de vapor fue elevada utilizando un especie de balón en forma de tabaco de casi 40 metros de longitud lleno de dihidrógeno (el gas más liviano) y despegando del Hipódromo de París mantuvo una velocidad promedio de unos 10 km/h recorre una distancia de 27 km.

Por otro camino iba el inventor británico John Stringfellow (1799 - 1883) que entre 1846 y 1848 se ocupó de construir un pequeño modelo, de tres metros de envergadura, provisto de una máquina de vapor, que accionaba dos hélices propulsoras, situadas detrás de las alas. Probado en una gran nave de una fábrica abandonada realizó con éxito vuelos limitados por las paredes de la nave. A Stringfellow, por tanto, debe corresponder la gloria de ser el primer hombre del mundo que construyó un aeroplano manejable provisto de motor. Sin embargo, es dudoso que sus experimentos hubieran tenido éxito al aire libre.

La tragedia estuvo presente en estos primeros intentos de dominar las alturas. Este es el caso del inventor alemán Otto Lilienthal (1848 - 1896). Su primer monoplano fue construido en 1891 y mostró capacidad para hacer vuelos de considerable longitud, lanzándose desde lo alto de una colina. Lilienthal hizo más de mil vuelos exitosos con monoplanos y biplanos. Estaba precisamente a punto de adaptar un motor a su último planeador cuando se mató en agosto de 1896, a consecuencia de la rotura de su aparato.

El proyecto frustrado de Lilienthal en Alemania fue cumplido por el profesor de Física de la Universidad Occidental de Pensilvania, quién había estudiado los principios de la aerodinámica, Samuel Pierpont Langley (1834-1906). Langley en 1896 hizo volar en dos ocasiones un monoplano sin piloto que recorría unas diez cuerdas, antes de que su motor se apagara y descendiera suavemente en las aguas del río Potomac.



A un año del deceso de Lilienthal, el ingeniero brasileño Alberto Santos Dumont (1873-1932) inició su carrera de pruebas de vuelos con dirigibles construidos por él mismo. A su primer intento fallido realizado en París le siguió en el 98 un vuelo exitoso con un dirigible cilíndrico. Dumont inaugura el siglo XX haciendo volar un dirigible aditado con un motor de gasolina de una potencia de 4.5 caballos de vapor que cubre feliz vuelo de ida y vuelta entre la Torre Eiffel y el cercano poblado a orillas del Sena de Saint'Cloud, se había recorrido unos 20 Km.

El mundo de las ondas electromagnéticas y la lluvia de invenciones eléctricas

Mas el verdadero viraje en la carrera del binomio técnica - ciencia se produce con el descubrimiento del mundo de las ondas electromagnéticas, ahora la ciencia se convierte en el factor precedente de la invención técnica.

El debate Galvani - Volta fue uno de los episodios notables con que nacen las ideas modernas sobre la electricidad. Luigi Galvani (1737 - 1798) fue 33 años profesor de la Universidad de Boloña y sus trabajos son los primeros que apuntan a la acción fisiológica de la electricidad demostrando la existencia de fuerzas bioeléctricas en el tejido animal. Fue este cirujano, que renunciara a su cátedra universitaria cuando la invasión napoleónica para morir un año después, uno de los primeros biofísicos de la historia. La teoría del fluido eléctrico animal fue rechazada por el también italiano Alessandro Volta (1745 - 1827). A Volta se debe el invento en el 1800 de la primera batería eléctrica que hizo posible la construcción de dispositivos para mantener una corriente eléctrica por un circuito dado, y abordar el problema de los nexos entre la Electricidad y el Magnetismo. Una vez presentados sus trabajos en la Academia Francesa de la Ciencia, aceptó el título de Conde de Lombardía, territorio ocupado por las tropas napoleónicas.

En 1820 el físico y químico danés, profesor de Física de la Universidad de Copenhague Hans C. Oersted (1777 – 1851) descubrió que alrededor de un conductor por el que circulaba una corriente eléctrica se instauraba un campo magnético semejante al que se lograba con un imán permanente.

La relación conocida hoy como Ley de Ohm apareció publicada en 1827 cuando el profesor alemán Georg Simon Ohm (1787 - 1854) fue capaz de definir la relación fundamental entre voltaje, corriente, y resistencia. Ohm había cumplido los cuarenta años cuando haciendo uso de los recursos construidos por él mismo en un laboratorio escolar, descubre la ley considerada la verdadera apertura hacia el análisis de los circuitos eléctricos. Sin embargo entre la comunidad científica alemana los trabajos de Ohm fueron acusados de una excesiva formalización matemática e ignorada su trascendencia. Fue la Royal Society londinense la que en 1841 reconoce la importancia de su descubrimiento pero no es hasta ocho años más tarde que cumple sus sueños cuando le ofrecen la cátedra de Física Experimental de la Universidad de Munich.



A unas semanas de los trabajos de Oersted, el científico francés André Ampere (1775 – 1836) logró formular y comprobar experimentalmente la ley que pretende explicar en términos matemáticos las posibles interacciones que relacionan magnetismo y electricidad. Su memoria se perpetúa en la unidad de intensidad de la corriente eléctrica, el Amperio (A). Su vida personal ofrece el contraste entre una carrera exitosa y un destino desventurado. Su padre, notario público, murió ejecutado bajo la guillotina de la Revolución Francesa; perdió su primera esposa víctima de una cruel enfermedad.

Un momento trascendente en los estudios sobre el electromagnetismo se produjo al establecer M. Faraday en 1831, la llamada Ley de Inducción Electromagnética que establece que en cualquier punto de una región donde esté instaurado un campo magnético y exista una variación de su vector inducción magnética, aparecerá un campo eléctrico inducido. Esta la ley física sustenta el

funcionamiento tanto de los generadores de electricidad movidos por distintas fuentes de energía en las plantas generadoras; como de los transformadores, con sus múltiples aplicaciones.

La invención de un equipo eléctrico que permitiera emitir y captar señales según un código de impulsos eléctrico aparece disputada por dos pares de físicos renombrados en polos científicos de Europa y un profesor universitario de Arte al otro lado del Atlántico en la pujante atmósfera neoyorquina.

La historia reconoce que en 1831, el físico estadounidense Joseph Henry (1797 - 1878) diseñó y condujo un experimento que permitía la comunicación a larga distancia al enviar una corriente eléctrica por el cable a una milla de distancia para activar un electroimán que causaba el repiqueteo de una campana. Esta prueba significó el nacimiento del telégrafo eléctrico.

Uno de los primeros registros de comunicación telegráfica se reporta en la célebre Universidad de Gotinga. La intención fue dejar comunicados dos laboratorios donde trabajaban el profesor de electrodinámica Wilhem Weber (1804 - 1891), quien debió abandonar a los 33 años la Universidad por problemas políticos vinculados con su pensamiento liberal, y el físico matemático Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855).

La primera patente europea por la invención de un telégrafo eléctrico les fue concedida en 1837 al ingeniero William F. Cooke y el físico Charles Wheatstone (1802-1875) de la universidad londinense, por los mismos años que Samuel Morse (1791-1872), se asomaría con sorpresa al mundo de la transmisión y recepción de señales eléctricas.

Pero inobjetablemente la invención de Henry fue económicamente explotada mediante el ingenio del profesor de arte y diseño de la Universidad de Nueva York. En 1838, el primer mensaje teleográfico contenía una cita bíblica propuesta por la joven hija de un amigo, Annie Ellsworth: ¿Qué ha hecho Dios? El sistema primitivo de Morse producía una copia sobre papel con puntos y rayas que debía ser traducida por un operador adiestrado. Este podía llegar a transmitir 40 - 50 palabras por minuto.



Michael Faraday (1791 – 1867) es considerado un paradigma de experimentador, y lo clasifican, hecho ya no común en el siglo XIX, como físico y como químico. Y es que este hijo de herrero, y por feliz casualidad encuadernador de libros, hizo aportes relevantes para ambas ciencias. Pero lo immortaliza el descubrimiento de la llamada ley de inducción electromagnética. Esta ley revela un efecto inverso al descrito por Oersted, es decir que el movimiento de un imán en las proximidades de un cable induce en éste una corriente eléctrica. Fue por tanto el fundamento para la construcción de los generadores de electricidad, de los transformadores, y de los frenos magnéticos. No es exagerado decir que la lluvia de artefactos eléctricos que se inventan en la segunda mitad del siglo XIX, principios del XX tiene su principal aliento en la obra de Faraday.

La empresa Western Union en 1861 construyó a lo largo de las vías férreas su primera línea telegráfica transcontinental. Pronto se presentó la necesidad de ampliar la red telegráfica entre Europa y América. Fue gracias al gran talento del eminente físico inglés William Thomson, Lord Kelvin (1821-1907), que se hicieron los estudios necesarios para instalar en 1866 el primer cable trasatlántico que conectó a Wall Street en Nueva York con Londres.

Los litigios por los derechos para explotar un invento fue una constante en todos estos años de verdadero diluvio de invenciones. El nacimiento de una tecnología parecía conspirar con el florecimiento de otra, así el teléfono parecía que iba a destronar los intereses económicos desarrollados en torno del telégrafo.

La intención original de perfeccionar el sistema teleográfico obsesionaba a las mentes creativas. Este fue el propósito original del inmigrante de origen escocés Alexander Graham Bell (1847 - 1922), por entonces profesor de fisiología vocal de la Universidad de Boston, que fue girando

hacia el objetivo de transmitir por el cable conductor la propia voz humana. Para alcanzar el éxito ellos necesitaron construir un transmisor con una membrana capaz de variar las corrientes electrónicas y un receptor que invirtiera el proceso pudiendo reproducir estas variaciones de la corriente eléctrica en frecuencias audibles. El 14 de febrero de 1876 Bell presentó su solicitud de patente de invención de un dispositivo capaz de transmitir eléctricamente la voz. El mismo día Elisha Gray (1835 - 1901) asentaba en la oficina de patentes una solicitud de invención similar. Gray y Bell se enfrentaron a una batalla legal. Unas pocas horas de ventaja le adjudicaron a Bell y la Corte inclinó la balanza hacia el profesor de fisiología vocal. La historia reconoce muchos casos como este, la verdad es que el equipo estaba en el orden del día histórico, correspondió a uno llevarse la gloria.

El desarrollo del telégrafo y el teléfono creó la necesidad de contar con electricistas hábiles, y por consiguiente empujó a la apertura de escuelas técnicas y superiores de las que egresarían los que posteriormente se llamarían ingenieros electricistas. Los diferentes problemas técnicos que se presentaron en el tendido de los cables, en el mejoramiento de los equipos telegráficos, y en el desarrollo de la teoría de la transmisión de señales fueron materia de investigación en departamentos científicos de las universidades.



Pronto los físicos asediaron la posibilidad de transmitir y captar las señales eléctricas para inaugurar un nuevo sistema de comunicación a distancia, pero fue el ingenio del profesor de arte y diseño de la Universidad de Nueva York. Morse no sólo comprobó que las señales podían ser transmitidas por el alambre sino que usó pulsos de corriente para deflectar un electroimán que accionaba un dispositivo para producir códigos escritos sobre una tira de papel, que representaron gracias a su agudeza una especie de sistema alfabético electrónico. Morse hizo en 1838 una demostración pública de su invento pero solo seis años más tarde pudo cristalizar su realización al construirse una línea telegráfica a una distancia de 40 millas, desde Washington hasta Baltimore.

Entretanto en el mundo de la teoría, que se encargaba de iluminar la práctica y las invenciones de los artefactos eléctricos, tuvo lugar un trascendental paso que se convirtió en resumen y totalización del electromagnetismo en la región clásica. Este salto fue dado por James Clerk Maxwell (1831 – 1879) cuando en 1865 estableció la simetría que existe entre los campos eléctrico y magnético y completó el contenido de la llamada Ley de Ampere de forma que introduciendo el concepto de corriente de desplazamiento logró establecer que en un punto de una región donde esté instaurado un campo eléctrico variable con el tiempo, aparece un campo magnético inducido. Con esto se completó el sistema de ecuaciones que describen todos los fenómenos del electromagnetismo en la región clásica y se produjo la primera unificación conformando el concepto de un solo campo: el electromagnético, que puede presentar como manifestaciones particulares los casos del campo electrostático y el magnetostático.

La significación desde el punto de vista epistemológico de la obra de Maxwell es notable porque cristalizó la idea de la unificación de dos interacciones que se creían de naturaleza distinta y marcó pauta para la búsqueda de otras unificaciones entre otros tipos de interacciones, de modo que ya en el próximo siglo se establecería la unificación entre la interacción débil y la electromagnética (interacción electrodébil) y las explicaciones sobre el origen del universo en las cuales se supone que en los primeros instantes después de la gran explosión, solo existía un tipo de interacción y al irse rompiendo las simetrías, estas interacciones se fueron separando con características bien definidas y diferenciadoras.

A partir de este momento el nacimiento y desarrollo de la industria eléctrica, en contraste con otras más antiguas, tuvo desde sus inicios un carácter de empresa científica derivada de los logros de la investigación. En este afán brilló el inventor estadounidense Thomas Alva Edison. El alcance de la invención de Edison no se reduce a inventar solo la luz eléctrica incandescente sino también un sistema de iluminación eléctrica con todos los elementos necesarios para hacer la luz incandescente práctica, segura y económica. Después de año y medio de pruebas, obtuvo el éxito

cuando una lámpara incandescente con un filamento carbonizado trabajó durante trece horas y media.

La primera demostración pública del sistema de iluminación incandescente fue realizada en diciembre de 1879 cuando el complejo del Laboratorio de Menlo Park fue iluminado con luz eléctrica. Alrededor de esta invención mayúscula se gestan otras de menor trascendencia pero de esencial importancia práctica que fueron desarrolladas por los laboratorios de Edison y que en esencia llegan hasta los días de hoy. Estos siete sistemas inventados fueron: el circuito paralelo; la bombilla duradera; un dinamo perfeccionado; la red conductora básica; los dispositivos para mantener el voltaje constante; los fusibles de seguridad, los materiales aislantes; y por último los soques e interruptores.



En Cambridge donde cursa estudios superiores (1850 – 1854), Maxwell se vincula con un denominado Movimiento Socialista Cristiano y actúa como profesor de cursos nocturnos extraoficiales para la instrucción de modestos artesanos. Unos 20 años más tarde se convierte en el primer profesor de Física del Instituto Cavendish. A Maxwell se debe el resumen y totalización de la teoría sobre el electromagnetismo cuando en 1865 completó el sistema de ecuaciones que describen en la región clásica todos los fenómenos electromagnéticos y formuló la primera unificación conformando el concepto de un solo campo: el electromagnético, que puede presentar como manifestaciones particulares los casos del campo electrostático y el magnetostático.

Edison debió entonces impulsar la creación de una industria generadora de energía eléctrica. En 1881 Edison edifica en Nueva York una planta de corriente continua que genera y distribuye la energía a través de una red de líneas, tal como en ese entonces ya se hacía con el gas y el agua. En septiembre de 1882 se ilumina la primera calle que en Nueva York recibe los servicios de este revolucionario sistema.

A pesar de sus extraordinarios logros, el empleo de la corriente directa trajo no poco problemas. En primer lugar, la utilización de circuitos en paralelo requirió que los cables fueran muy gruesos, lo cual generaba costos altos. En segundo lugar, y de más importancia, al aumentar la demanda de iluminación se necesitaron cargas cada vez más altas que implicaban corrientes eléctricas enormes. Por lo tanto, se estaba ante la alternativa de enviar corrientes muy altas a través de grandes cables de cobre, lo cual era muy ineficiente, o de construir muchas plantas generadoras de electricidad cercanas a los usuarios, con el respectivo aumento considerable de los costos.

La solución a estos dilemas se encontró con la invención del transformador y la construcción de generadores de corriente alterna. Un inventor francés, Lucien H. Gaulard (1850 -1888), originalmente interesado en la química de los explosivos, obtuvo en 1882 una patente para un dispositivo que llamó generador secundario y que fuera una versión primitiva de lo que hoy llamamos transformador. Después de esta invención, Gaulard en 1884 instaló un sistema de iluminación en el cual usó corriente alterna y lámparas incandescentes. Su muerte prematura víctima de una fuerte depresión nerviosa le impidió ver coronado con éxito sus empeños iniciales. George Westinghouse (1846 - 1922), fue testigo de las demostraciones de Gaulard en Italia con motivo de la Exposición Internacional de Turín y advirtió el potencial de la electricidad.

En 1884 Westinghouse contrató a un joven ingeniero eléctrico, William Stanley (1858– 1916), quien un año después ya había superado la eficiencia de todos los transformadores diseñados hasta entonces. Dos años más tarde fundó la Compañía Eléctrica Westinghouse que pronto llegó a contar con una fuerza laboral de 200 hombres con el propósito de desarrollar y producir aparatos para la generación, transmisión y aplicación de la corriente eléctrica alterna.



En 1888 Tesla, investigador de origen croata, obtuvo una patente por un generador polifásico alterno que producía gran potencia eléctrica; muy pronto este tipo de máquina fue la más usada. Hoy en día se emplean generadores que son versiones muy mejoradas del generador polifásico de Tesla. Westinghouse obtuvo los derechos exclusivos de las patentes de Tesla y persuadió al inventor a unirse a su Compañía.

Al morir Tesla había sido destituido, perdido su fortuna y reputación científica. Hoy es considerado uno de los que pavimentaron el camino hacia el desarrollo de muchas tecnologías de los tiempos modernos. La unidad de medida de inducción magnética en el sistema internacional recibe en su honor el nombre de "Tesla".

En 1886 se edificó, bajo la dirección de Stanley, la primera planta eléctrica en el poblado de Great Barrington, Massachusetts, un centro de manufactura floreciente de poco más de 2 500 habitantes. Esta planta operó con corriente alterna, con un generador que produjo una corriente de 500 V y que por medio de transformadores redujeron a 100 V, que es el valor que se requiere para hacer funcionar las lámparas. El resultado fue un gran éxito y de inmediato Westinghouse inició la manufactura y venta de equipos para distribuir electricidad por medio de corriente alterna.

Haciendo uso de los inventos del ingeniero croata Nicola Tesla (1856 – 1943), la Compañía de Westinghouse diseñó e instaló el sistema de Iluminación de la Exposición Mundial de Chicago en 1893. Poco después asume la encomienda de construir la Hidroeléctrica sobre las Cataratas del Niágara y ya en 1896 se inaugura exitosamente la Planta del Niágara que transmitió la energía eléctrica hasta Búfalo, a 20 millas de distancia. Con esta planta quedó confirmada la superioridad práctica de la corriente alterna sobre la directa y la posibilidad de ofrecer la energía desde un circuito para múltiples propósitos.

Una vez que la electricidad pudo ser generada y distribuida para la iluminación, se aprovechó para ser utilizada como fuerza motriz. Se puso así a disposición de la industria y de los transportes un nuevo medio universal de distribución de energía que dio un gran impulso a la utilización de los motores eléctricos.

La naturaleza de la luz fue explicada por la perspectiva maxwelliana que desarrolla la Teoría Electromagnética Ondulatoria de la Luz (TEM). Siguiendo esta teoría, la luz en su sentido más amplio está formada por ondas electromagnéticas que no son más que las oscilaciones automantenido del campo electromagnético. Este logro científico de primer orden permitió al hombre explicar toda la Óptica Ondulatoria sobre bases científicas y desechar la idea del éter, amén de las múltiples aplicaciones que generó en el campo de las radiocomunicaciones y las telecomunicaciones.

Precisamente de los experimentos en búsqueda de la comprobación sobre la existencia del éter, y en particular de la obra del físico alemán Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894), se obtuvo el triunfo total de la teoría de Maxwell y se fueron preparando las ideas para el surgimiento, en el siglo XX, de la Teoría de la Relatividad. Entre 1885 y 1889, Hertz descubrió que la electricidad podía transmitirse en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz conforme Maxwell había anticipado. Este descubrimiento puso en la agenda histórica las invenciones de la telegrafía y la radio inalámbrica.

En 1892 el físico-químico William Crookes (1832-1919) publicó un trabajo en la revista inglesa *Fortnightly Review*, en el que proponía las bases para utilizar ondas electromagnéticas como medio para transmitir señales telegráficas a través del espacio, es decir, telegrafía sin hilos o inalámbrica.



Entre 1885 y 1889 el físico alemán Heinrich R. Hertz desde su cátedra en la Escuela Técnica de Karlsruhe descubrió que la electricidad podía transmitirse en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz conforme Maxwell había anticipado. Este descubrimiento puso en el orden del día histórico las invenciones de la telegrafía y la radio inalámbrica. Algunos le consideran su inventor pero lo cierto es que los 37 años de su breve existencia le impidieron ir más lejos y cristalizar en invenciones desarrolladas sus resultados experimentales. La unidad de frecuencia lleva su nombre y se simboliza por Hz.

Dos años después el ingeniero italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) leyó la biografía de Hertz e inmediatamente empezó a trabajar en la idea de usar las ondas electromagnéticas para transmitir señales. Construyó los aparatos descritos por Hertz, a los cuales les añadió un cohesor, que es un tubo de vidrio que contiene limaduras de hierro, y conectó tanto el transmisor como el receptor a una antena. Una señal eléctrica que pase por el cohesor hace que las limaduras se unan durante el intervalo que dura la señal; de esta manera este dispositivo detecta ondas electromagnéticas. En 1895 Marconi probó sus aparatos, con los cuales logró enviar señales hasta distancias de un par de kilómetros. En 1898 transmitió señales a través del Canal de la Mancha y ya en 1901 logró una transmisión a través del Océano Atlántico: desde Inglaterra hasta Canadá. Las señales inalámbricas probaron su efectividad en la comunicación para el trabajo de rescate durante accidentes marítimos. Numerosas líneas oceánicas instalaron equipos inalámbricos.

La óptica, la astronomía y el nacimiento de dos nuevas técnicas

El primer tercio del siglo XIX fue testigo de una revolución en el campo de la óptica. No había transcurrido aún un siglo de la publicación de *Opticks* cuando el médico y físico inglés Thomas Young (1773 - 1829) casi con el nacimiento del siglo desafiaba la teoría corpuscular de la luz desarrollada por Newton. La teoría de Young sobre la necesidad de aceptar la naturaleza ondulatoria de la luz para explicar el fenómeno de interferencia, a pesar de la relevante posición que ocupó desde 1802 hasta su muerte como secretario externo de la Royal Society, fue acogida con una buena carga de escepticismo por la ciencia británica. A una década de los trabajos de Young, el físico francés Augustin Jean Fresnel (1788 - 1827) formaliza matemáticamente con gran rigor las leyes que rigen los fenómenos de interferencia y difracción de la luz.

Desde el inicio del siglo se suceden los descubrimientos que demuestran la existencia de regiones del espectro de radiación solar invisible para el ojo humano. En 1800 el astrónomo británico de origen alemán William Herschel (1738-1822) determina experimentalmente la temperatura asociada a cada color del espectro solar y descubre que justamente por encima del rojo en la región del espectro visible existe una radiación que tenía más alta temperatura, que puede ser medida y sentida pero no ser vista: la región infrarroja.



En 1818 Agustín-Jean Fresnel presentó en la Academia de Ciencias de París un informe con un tratamiento matemático riguroso de los fenómenos de interferencia y difracción sobre la base de la teoría ondulatoria propuesta por Young que le merecieron el premio de la Academia del año siguiente. Anteriormente, en 1811 junto con el físico François Arago (1786-1853) habían establecido las bases de las leyes de la interferencia de la luz polarizada.

Fresnel había mostrado un lento aprendizaje durante la niñez y aún con ocho años no había aprendido a leer. Luego fue egresado de las instituciones de la ingeniería francesa, la Escuela Politécnica y la Escuela de Puentes y Caminos. Murió con sólo 39 años, víctima de la tuberculosis, cuando aún muchos de sus trabajos no habían sido publicados.

Un año después el joven físico alemán, con sólo 25 años de edad, Johann W. Ritter (1776 - 1810) descubre que hacia el otro extremo del espectro solar se extiende luego de la radiación correspondiente al violeta una radiación invisible que provoca un oscurecimiento más intenso y rápido de las sales de plata. El espectro de la radiación se ampliaba ahora y "nacía" la región ultravioleta.

En 1802, el médico inglés William Hyde Wollaston (1766 - 1828), descubrió las bandas oscuras en el espectro de la luz solar, que más tarde serían aclaradas por los estudios de Fraunhofer. Wollaston que había abandonado la práctica médica al perder parcialmente la visión se entregó a las investigaciones científicas con resultados notables. Por ejemplo invadió el campo de la mineralogía y al inventar en 1809 el goniómetro de reflexión, instrumento diseñado para medir los ángulos de los cristales, le dio a esta disciplina todos los caracteres de una ciencia exacta. También puso en manos de los artistas de la época un simple instrumento óptico compuesto por un prisma de cuatro caras sostenido sobre un pequeño soporte que le ayudaba a obtener la perspectiva de la imagen, la llamada cámara lúcida (1807).

Entre 1812 y 1814 el óptico y físico alemán Joseph von Fraunhofer (1787-1826) redescubre las líneas oscuras del espectro solar, e identifica una gran número de las 500 líneas que podía observar con el espectroscopio de red, inventado por él, que más tarde sería desarrollado para su aplicación en la espectroscopia ultravioleta y de rayos X. Las líneas de Fraunhofer serían utilizadas eventualmente para descubrir la composición química de la atmósfera solar. En 1821 inventa la red de difracción construida con 260 alambres dispuestos juntos paralelamente. Pertenece a la estirpe de talentos desaparecidos prematuramente, víctima de la tuberculosis, con lo cual la ciencia perdía ulteriores realizaciones.

Muchas de las innovaciones desarrolladas en el siglo XIX a la técnica de la microscopía se deben al egresado de ingeniería de la Universidad de Bolonia, y luego profesor de Matemáticas de la Universidad de Modena, Giovanni Baptiste Amici (1786 – 1863). En 1827 Amici inventó el primer sistema de lentes para un microscopio acromático y en 1840 introduce la técnica de inmersión en aceite que minimiza las aberraciones ópticas, y luego en 1855 desarrolla el objetivo de inmersión en agua. Su interés investigativo abarcó no solo el universo microscópico sino también el espacio sideral. Un cráter en el lado oscuro de la Luna perpetúa su memoria.



El efecto que se produce cuando una fuente en movimiento emite ondas fue descubierto y explicado por primera vez en 1842, durante las sesiones de un congreso de ciencias naturales celebrado en Praga por el profesor del Instituto Técnico de esta ciudad, el matemático austriaco Christian Johan Doppler (1803 – 1853). Este efecto consiste en que un observador situado delante de la fuente registrará la frecuencia de las ondas mayor que la realmente emitida, mientras que un observador situado detrás de la fuente reconocerá una menor frecuencia. Más tarde, el fenómeno pasaría a la historia como “el efecto Doppler”.

La demostración de que el efecto Doppler también era observado en la luz emitida por los astros que se acercaban o alejaban de nuestro planeta nunca fue demostrado antes de su muerte, provocada por la tuberculosis que padeció.

La teoría ondulatoria sobre la imagen microscópica fue formulada en 1872 por el físico-matemático alemán Ernest Abbe (1840 - 1905). Abbe y el fabricante de material óptico de Jena, Carl Zeiss (1816 - 1888) inventaron un nuevo aparato para la iluminación del microscopio. De acuerdo con las deducciones de Abbe, Zeiss comenzó a fabricar 17 nuevos objetivos de microscopios que pronto se ganaron una reputación universal por la excelente calidad de las imágenes obtenidas.

Como resultado de las investigaciones de Zeiss con el químico Otto Schott (1851-1935) sobre las formulaciones de nuevos vidrios de grado óptico introdujeron en 1886 un nuevo tipo de lente objetivo el apochromat. Los objetivos de Apochromat eliminaron la aberración cromática y llevaron el poder de resolución del microscopio al límite que disfruta hoy. Conforme Abbe había calculado, ningún refinamiento del vidrio o del cálculo teórico sobre la forma de la lente podría superar el límite de resolución para luz visible que está sobre la media micra.

La expansión del conocimiento cósmico estuvo relacionada con el perfeccionamiento de las lentes telescópicas, el estudio de las perturbaciones de las trayectorias de diferentes astros a partir

de la mecánica celeste newtoniana, y sobre todo con el análisis espectral de la radiación procedente de los astros.

Ya a comienzos del siglo XIX, el astrónomo británico, de origen alemán, William Herschel había descubierto las estrellas dobles. En sus sistemáticas observaciones de la bóveda celeste pudo apreciar que muy frecuentemente se encuentran dos estrellas brillantes muy cercanas una de la otra. Como no podía determinar si se trataba de un alineamiento casual o de un par físico, Herschel derivó de consideraciones estadísticas que el número de binomios ópticos observados era mucho mayor que el pronosticado por formación aleatoria. Concluyó que las estrellas constituyen pares físicos. Posteriormente logró detectar en algunos casos movimientos de una estrella en torno a la otra, lo que confirmó su afirmación inicial. Las investigaciones posteriores demostraron que la mayoría de las estrellas que se ven en el cielo son dobles o incluso múltiples. La espectroscopia permitía descubrir la existencia de estrellas dobles aún cuando se encontraran muy próximas y su movimiento orbital fue determinado por los diferentes efectos Doppler mostrados en sus espectros.



El asistente del laboratorio de Gay-Lussac y aspirante al puesto de profesor de Química de l'École polytechnique de París, Urbain-Jean-Joseph Le Verrier aceptó en 1837 la plaza de profesor de astronomía y geodesia y se consagró a la Mecánica Celeste. Por entonces el director del Observatorio Imperial de París Dominique F. J. Arago le sugirió estudiar las anomalías observadas en la órbita de Urano. En 1846 publica los elementos de la órbita de un planeta hipotético. Había descubierto con la fortaleza de los cálculos un nuevo planeta cuya existencia sería anunciada meses más tarde desde el Observatorio Imperial de Berlín por el astrónomo Johann Gottfried Galle (1812 - 1910). Existen los testimonios que demuestran que en septiembre de 1845 el astrónomo inglés John Couch Adams (1819 - 1891) le transmitió al entonces director del Observatorio de Cambridge, James Challis (1803-1882), el resultado de sus cálculos sobre la posición precisa de un nuevo planeta más lejano que Urano, pero inexplicablemente, una información tan valiosa no recibió la atención merecida y Adams, de acuerdo con su carácter, no reclamó el necesario examen de su solicitud.

Desde el Observatorio de Königsberg que dirigió desde los 29 años hasta su muerte, el matemático y astrónomo alemán Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846) emprendió en 1838 la tarea de determinar el paralaje de la estrella 61 Cygni, perteneciente a la importante constelación del hemisferio norte llamada Cisne (Cignus), y al resolverla calculó con exactitud por primera vez la distancia de una estrella a la Tierra en 10,3 años-luz. Sus "Observaciones astronómicas" fueron publicadas en 1842. Un año antes había anunciado que Sirio, la estrella más brillante del firmamento, tenía una estrella compañera, lo que se confirmó diez años más tarde, al calcularse la órbita de Sirio B. Esta estrella fue observada en 1862 por el fabricante estadounidense de potentes telescopios Alvan Graham Clark (1804 – 1887), después se comprobó que era una enana blanca.

El siglo cierra con resonantes éxitos de la ciencia y la técnica en el arte de atrapar las imágenes de las cosas sobre materiales fotosensibles. No sólo se hará a partir de ahora perdurable la reproducción en imagen del acontecimiento o del personaje para todos los tiempos, sino que el hombre ha aprendido a captar las señales de lejanos confines del universo, contribuyendo a descifrar su composición mediante una nueva técnica que ha sido llamada espectroscopia.

El descubrimiento de la espectroscopia fue el resultado del estudio de la interacción entre la radiación visible y la sustancia abordado hacia mediados de siglo por el físico alemán Gustav Kirchhoff (1824 - 1887) y el químico Robert Bunsen (1811-1899). Según sus resultados, cada elemento cuando se calienta hasta el estado incandescente emite una luz de color característico que separada en sus componentes origina un patrón único. Esto hizo posible el nacimiento del análisis espectroscópico para identificar la composición química de las sustancias. Pero más lejos aún llegaron con el descubrimiento de que los gases de los elementos absorbían luz de longitudes de onda específicas. Esto significó el descubrimiento de un método para identificar la composición química de remotos astros en el firmamento estelar.

En 1862, fascinado por los trabajos espectroscópicos de Kirchoff y Bunsen, el astrónomo francés Pierre Jules César Janssen (1824 – 1907) inició sus estudios del espectro solar. Después de sus observaciones del eclipse solar de 1868 en la India Janssen sugirió que algunas de las líneas espectrales observadas por encima del extremo del sol eran debidas a un elemento químico hasta entonces desconocido. Al año siguiente, trabajando en colaboración con el astrónomo inglés J. Norman Lockyer (1836 – 1920) descubrieron una línea espectral cromosférica de un elemento desconocido al cual llamaron Helio. Más de un cuarto de siglo después en 1895 el químico inglés William Ramsay descubrió al Helio en el laboratorio.



Cuando a mediados del siglo el físico alemán Gustav Kirchhoff y su compatriota el químico R. Bunsen descubren el carácter de “huella dactilar” de los espectros de emisión de los átomos excitados o de absorción de la radiación solar por los gases se estaba inaugurando una nueva técnica de poder analítico insospechado: la espectroscopia. Ella permitiría descubrir la composición química de remotos astros en el firmamento estelar y contribuiría a demostrar la unidad material del universo. Kirchhoff es conocido además por el descubrimiento de las leyes que describen el comportamiento de la corriente en un circuito eléctrico con derivaciones interconectadas y por ser el primero en predecir que un impulso eléctrico viaja a la velocidad de la luz.

Uno de los pioneros en combinar la espectroscopia con la fotografía fue el profesor de física de la Universidad de Upsala, Anders Jonas Angstrom (1814 – 1874). En 1862, descubre al hidrógeno en la atmósfera solar mediante el análisis de su espectro. Angstrom fue el primero en analizar el espectro de la aurora boreal, en 1867. Después, en el año 1868, publicó un mapa espectrográfico del sol: "Recherches sur le spectre solaire", que incluye medidas detalladas de más de 1000 líneas espectrales. Para expresar las longitudes de onda propuso como unidad de medida la diezmillonésima parte de un milímetro que en su homenaje se llama Ångström. A pesar de no ser reconocida por el sistema internacional de unidades el Ångström (símbolo Å) se utiliza en las medidas atómicas y para las longitudes de onda de la radiación electromagnética.

El empleo de la espectroscopia combinado con el método que ideó para fotografiar los espectros, condujo al astrónomo británico William Huggins (1824 — 1910) y su esposa Margaret Lindsay (1848 – 1915) a relevantes descubrimientos. En 1864 logra la primera evidencia que permite distinguir entre nebulosas y galaxias. Huggins descubre que algunos sistemas tienen espectros típicos de gases (como la nebulosa de Orión), mientras otros tienen espectros característicos de las estrellas (galaxia gigante de Andrómeda). Por otra parte los espectros estelares de Huggins demuestran la unidad material del universo al evidenciar que las sustancias que componen las estrellas se encuentran también en la Tierra.

Un problema que desborda la imaginación del hombre fue dilucidado por la investigación científica justamente en la mitad del siglo XIX. El físico francés Jean Bernard Leon Foucault (1819 - 1868) registró la velocidad de la luz en 298 000 km por segundo usando el método del espejo rotatorio. Un año más tarde descubrió que la velocidad de la luz depende del medio de propagación al encontrar diferencias en el agua y en el aire.

En 1865 Maxwell determina matemáticamente que las ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz. Maxwell no cree que esto sea una simple coincidencia y concluye que la luz es un tipo de ondas electromagnéticas. Al respecto escribiría: "Se nos hace difícil evitar la conclusión de que la luz consiste en ondas transversales del mismo medio que causa los fenómenos eléctricos y magnéticos". Esta noción no sólo unifica las teorías sobre la electricidad y el magnetismo sino también de la óptica. La electricidad, el magnetismo y la luz pueden ser consideradas a partir de ahora como aspectos de un fenómeno común: las ondas electromagnéticas.



La alianza de la ciencia con la técnica en el nacimiento de la fotografía se expresa en un primer plano por las contribuciones de John W. Herschel (1792 - 1871) en el escenario inglés y el apoyo al desarrollo de la técnica en Francia por el eminente físico François Arago. El científico británico, publica ya en 1819 sus estudios sobre la impresión fotoquímica de las imágenes y durante los siguientes 20 años establece los fundamentos científicos, los términos básicos de la fotografía, descubre la acción del tiosulfato de sodio sobre las sales de plata y brinda valiosa ayuda privada a Fox Talbot.

En París, Arago actúa como promotor de los trabajos de Daguerre tanto en la Academia de Ciencias como en la Cámara de Diputados de la capital francesa.

Maxwell también contribuye en el terreno de la práctica al desarrollo de la fotografía en colores. En 1861, su análisis sobre la percepción del color condujo a la invención del proceso tricromático. Mediante el uso de los filtros rojo, verde y azul creó la primera fotografía en color. El proceso tricromático es la base moderna de la fotografía en color.

Atrapar la imagen en materiales fotosensibles fue una tarea que tocó a las puertas de físicos y químicos y exigió la alianza de la ciencia y la técnica. A los 61 años, el físico francés Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833) en la París de la tercera década del XIX, expone una placa de estaño recubierta con un betún (derivado del asfalto) durante unas ocho horas en la cámara oscura enfocada hacia el patio de su casa y obtiene la imagen que es considerada por los expertos como la primera fotografía obtenida.

Este proceso fue bautizado por Niépce como Heliografía o "grabado con la luz solar". Desde otro frente francés, el pintor Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851) fijaba la imagen mediante largas exposiciones, en la cámara oscura, con placas de cobre recubiertas con plata pulida y sensibilizadas con vapor de yodo hasta que la imagen aparecía en ellas.

Mientras en Francia tenían lugar los estudios de Daguerre, en Londres el científico William Henry Fox Talbot (1800 - 1887) iba por un camino diferente hacia el objetivo común. Se discute si el descubrimiento de la imagen latente y posterior revelado es obra de Daguerre o de Talbot, pero se conoce que fue Talbot el primero en emplear como sustancia fotosensible el yoduro de plata, como revelador el ácido gálico y como fijador el tiosulfato sódico. El calotipo, que así le llamó a su técnica, fue reemplazado a los pocos años pero sentó las bases de la fotografía moderna y produjo la más decisiva revolución en el dominio de la imagen: el negativo que permite sucesivas copias.

Talbot publicó en 1844 el primer libro ilustrado con fotografías, "The pencil of Nature", el cual contiene una detallada explicación de sus trabajos. A partir de entonces se desarrolla una carrera de invenciones que persiguen emplear medios de fijación más eficaces y que permitieran reducir los tiempos de exposición. Cuatro décadas más tarde George Eastman (1854-1932), inventor estadounidense, patentó la primera película en forma de carrete que empezó a ser práctica. Se habían superados las principales barreras para la inauguración de la era fotográfica.

Ya en tiempos de la Grecia antigua se conoció el fenómeno de la persistencia de la imagen en la retina. Pero su cabal comprensión sólo fue posible a partir de los estudios del físico belga Joseph Antoine Plateau (1801 -1883).



Sesenta y tres años después de la invención del disco mágico de Plateau los hermanos Lumière, Louis (1864-1948) y Auguste (1862-1954), patentaron el cinematógrafo, un dispositivo que funcionaba como cámara de cine, proyector e impresor de copias. Se cumplía en este ingenio el principio establecido por Plateau: una manivela se ocupaba del arrastre intermitente de la película a una velocidad de 16 imágenes por segundo. Casi al finalizar el 1895, un 28 de diciembre, se estrenaba en París las primeras películas rodadas cada una con un minuto de duración. La época del séptimo arte había nacido y con él una nueva industria generalmente dominada por las leyes del mercado.

Plateau no sólo condujo los experimentos demostrativos de los factores influyentes en la persistencia retiniana sino que inventó en 1832 un dispositivo precursor del cine, el llamado disco mágico de Plateau que rodando las imágenes a una velocidad superior a 10 cuadros por segundo, lograba dar la impresión de animación de las imágenes. Plateau perdió la vista en medio de su consagración a los experimentos y no pudo arribar a la invención del cine. El tremendo impacto que tuvieron las primeras proyecciones en el nuevo público espectador anunciaron las potencialidades de la nueva técnica naciente. La primera cinta filmada por los hermanos Lumiere: "Salida de los obreros de la fábrica Lumière" constituyó un importante documento social antecesor de los primeros documentales.

Antecedentes de un nuevo paradigma atómico

Por otra parte, en los últimos 25 años del siglo se producen los antecedentes inmediatos para un cambio de paradigma en la concepción del átomo y la consiguiente necesidad de la elaboración de un modelo atómico:

- En 1879, William Crookes (1832 – 1919) investigando el paso de la electricidad a través de un gas enrarecido en un tubo de descarga, pudo descubrir la emisión de un haz de rayos que se propagan en trayectoria rectilínea, a los que llamó rayos catódicos.
- Johann Jakob Balmer (1825 –1898), al estudiar el espectro de emisión del Hidrógeno, establece en 1885 que sus líneas espectrales se pueden agrupar en series cada una de las cuales converge a una frecuencia dada. Más tarde, Rydberg (1854 – 1919) obtiene la ecuación empírica para calcular la longitud de onda de la luz correspondiente a cada línea espectral en la serie de Balmer.
- Dos años después de que en 1893 el mundo conociera asombrado el espectáculo de la iluminación eléctrica en la Exposición Mundial de Chicago, los resultados de la experimentación con el paso de la electricidad a través de un gas enrarecido en un tubo de descarga estremecerían las concepciones físicas de la época. Jean Perrin (1870 – 1942), en 1895, al estudiar el comportamiento de los rayos catódicos en el tubo de Crookes, cuando se exponen a la acción de un campo magnético, demuestra que constituyen partículas cargadas negativamente. Este propio año de 1895 nos trae el reporte de Roentgen acerca de una nueva radiación observada en el tubo de descarga de Crookes, emitida esta vez por el anticátodo a la cual llamó, ante la polémica surgida acerca de su naturaleza corpuscular u ondulatoria, rayos X.



El 8 de noviembre de 1895, el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen (1845 – 1923) descubre unos extraños rayos que exhiben un alto poder de penetración. Ante el desconocimiento de su naturaleza, los llama rayos X, como en álgebra se designa a la incógnita. En diciembre él los había usado para tomar fotos de los huesos humanos, y al año era bien comprendido su extraordinario valor práctico. La rápida difusión de los rayos X a través del mundo, demostró la forma en que científicos, ingenieros, e inventores podrían convertir descubrimientos fundamentales en revolucionarias tecnologías en el entrante siglo XX.

- Un año después del descubrimiento de Roentgen, Antoine H. Becquerel (1852 – 1908), físico por herencia, descubre casualmente que ciertas sales de uranio emiten una radiación invisible. En 1898, a dos años del descubrimiento de la radiación de Becquerel, Marie Sklodowska (1867 – 1934) y Pierre Curie (1859 – 1906), al analizar ciertos minerales uránicos descubrieron un metal vecino del Bismuto en la Tabla Periódica al cual llamaron, en honor al país natal de Marie, Polonio. Otros dos radioelementos serían descubiertos en el laboratorio de los Curie antes del fin de siglo: el radio y el actinio. A los

elementos de núcleos inestables “los transuránicos” le correspondería jugar un papel sin precedentes en la historia del hombre: el dominio de la llamada energía nuclear.

- Al determinar experimentalmente la relación carga –masa de los rayos catódicos, Sir Joseph John Thomson, (1856 - 1940) demuestra inequívocamente que se tratan de partículas subatómicas y por consiguiente es universalmente reconocido como el científico que descubre e identifica el electrón. Sucesor de Maxwell en la dirección del Laboratorio Cavendish en Cambridge, Thomson recibe el Premio Nobel de Física en 1906, y archiva el mérito de que siete de sus investigadores asistentes, incluyendo a su hijo George merecieron igualmente este galardón.

Estos hechos experimentales reclamaban la construcción de un modelo atómico. Tales modelos aparecieron ya en el siglo XX dando así lugar al nacimiento de la Física Atómica y a la Física Nuclear y al dominio por el hombre de inusitadas fuentes de energía.

Al siglo XIX pertenece la primera patente sobre un sistema de televisión electromecánico. Esta fue obtenida en 1884 por un estudiante de ingeniería, alemán, Paul G. Nipkow (1860 –1940). Nipkow imaginó la posibilidad de provocar la disección secuencial de una imagen, su transmisión y su recepción sincrónica, recomponiéndola en una pantalla. Al hacer esto estaba apuntando hacia el principio de exploración de la imagen en el sistema de televisión. Un disco rotatorio con un sistema de rendijas que permitía el barrido de la imagen y la proyección de las diferentes intensidades de luz sobre un elemento de selenio fotosensible capaz de generar una señal eléctrica proporcional a la luminosidad del punto explorado, fueron los elementos de la primitiva imagen de 18 líneas que lograba. Algo más de un lustro después de la patente de Nipkow, que adelantaba el primer sistema de televisión electromecánico, el ingeniero eléctrico Alan Archibald Campbell Swinton (1863 – 1930) expone en la Sociedad Roentgen de Inglaterra un esquema que en principio constituye el sistema de la tecnología televisiva actual. Otros 24 años hicieron falta para que la idea de Campbell se transformara en el primer sistema mundial de fotografía electrónica.



Doctorado en 1872 bajo la dirección de von Helmholtz, el físico alemán Karl F. Braun (1850 – 1918) es célebre por inaugurar el estudio de la conductividad de los cristales de sulfuros metálicos que más tarde se convertirían en los detectores de cristal, y en 1897 inventar el tubo de rayos catódicos o tubo de Braun que ha sido empleado en los receptores de televisión, los oscilógrafos y los radares. La combinación del disco de Nipkow como cámara con el tubo de Braun como receptor fue el éxito ya en 1910 del primer sistema de televisión. En 1909 Braun compartió con Marconi el premio Nobel de Física.

La era atómica y el desarrollo de la Física en el siglo XX

FÍSICA 2º Bachillerato

Contexto mundial y algunos hitos en el ámbito de las Matemáticas. El desarrollo de la Mecánica Cuántica. Las ideas sobre la variabilidad del espacio y el tiempo. La desintegración radiactiva y la teoría del átomo nuclear. El empleo de la energía nuclear y la posición de la comunidad científica. Algunas tecnologías derivadas de las teorías físicas y su aplicación. Los avances en los programas de exploración del Cosmos. El nacimiento de la Electrónica y de la Informatización.

Contexto mundial y algunos hitos en el ámbito de las Matemáticas

El siglo XX traería al escenario mundial dos grandes guerras que paradójicamente darían un impulso al desarrollo del conocimiento científico en aquellas áreas en que se advertían necesidades internas y principalmente con fines relacionados con la tecnología militar. Este desarrollo dio lugar, incluso, al holocausto nuclear de la década de los años cuarenta.

El progreso de las ciencias debió navegar en medio de tales circunstancias históricas. Desde inicios de la centuria comenzó a manifestarse la principal característica de su desarrollo consistente en la transformación, de producto social, elemento de la superestructura de la sociedad humana, en una fuerza productiva con rasgos muy especiales. Esta característica estuvo precedida por una explosión en el ritmo de la producción de los conocimientos científicos que alcanzó un crecimiento exponencial. Las relaciones Ciencia – Sociedad se hicieron más complicadas.

Un proceso de fortalecimiento de los nexos en la comunidad científica, que se habían iniciado con las Sociedades fundadas en el siglo XVIII, se advierte desde los comienzos del siglo, sufriendo en los períodos de duración de ambas guerras un inevitable debilitamiento. En este contexto se destacan los Congresos realizados en Bruselas, con el apoyo financiero del químico industrial belga Ernest Solvay (1838-1922), que congregaron a los más brillantes físicos de la época.

El Congreso Solvay de 1911 inaugura el reconocimiento de la comunidad científica a las ideas de la Teoría Cuántica, verdadera revolución en el campo de las Ciencias Físicas. En el transcurso del evento se arribó a un consenso de que la Física de Newton y Maxwell si bien explicaba satisfactoriamente los fenómenos macroscópicos era incapaz de interpretar los fenómenos de la interacción de la radiación con la sustancia, o las consecuencias de los movimientos microscópicos de los átomos en las propiedades macroscópicas. Para cumplir este último propósito era necesario recurrir a las ideas de la cuantificación. Ello demostraba la comprensión de la vanguardia de las Ciencias sobre el carácter temporal, histórico en la construcción del conocimiento científico.



El famoso químico-físico Walter Nernst (1864 – 1941) logró que el industrial belga Ernest Solvay (1838 – 1922) patrocinara un congreso, que fue el primero de los famosos Congresos Solvay que se han efectuado desde 1911 en Bruselas, Bélgica. Este congreso resultó muy importante en la historia de la Física, ya que en su transcurso la comunidad de físicos más relevantes renunció explícitamente a la validez universal de la Física desarrollada hasta fines del siglo XIX, sostenida por la Mecánica de Newton y el Electromagnetismo de Maxwell.

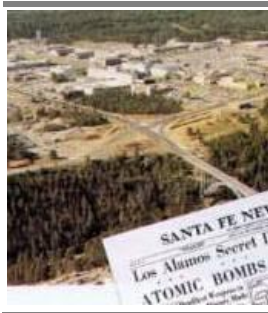
Las representaciones cuánticas y las ideas sobre la naturaleza dual de la luz y las partículas van a invadir el pensamiento físico de la época.

El siglo XX traería también una organización de la ciencia en Instituciones que debían concentrar sus esfuerzos bien en estudios fundamentales como en aquellos de orden práctico. Los políticos se darían cuenta, desde la Primera Guerra Mundial, de la importancia de sufragar los gastos de aquellas investigaciones relacionadas con la tecnología militar.

El Laboratorio Cavendish en Cambridge, fundado en el siglo XIX, hizo época no sólo por la relevancia de sus investigaciones fundamentales para la determinación de la estructura atómica, sino por la excelencia mostrada por sus directores científicos, Joseph John Thomson (1856 – 1940) y Ernest Rutherford (1872 – 1937), que lograron con su liderazgo la reproducción de los valores de la producción científica (siete investigadores del Laboratorio alcanzaron el Premio Nobel de Física).

En las primeras décadas del siglo el Laboratorio "Kaiser Guillermo" de Berlín se erigió en modelo de institución investigativa y en el período de la Primera Guerra Mundial contó con la asistencia de los más célebres científicos alemanes vinculados a proyectos de desarrollo de nuevas armas. Fritz Haber, notable químico alemán jugó el triste papel de introductor del arma química en los campos de batalla.

En la década del 40, se crea en Nuevo México, el Laboratorio Nacional de los Álamos, verdadera empresa científica multinacional, con el objetivo de dar cumplimiento al llamado Proyecto Manhattan para la fabricación de la bomba atómica. La movilización de hombres de ciencias de todas las banderas tuvo el propósito de neutralizar cualquier tentativa de la Alemania hitleriana de emplear el chantaje nuclear. El propio Einstein, con su enorme prestigio y autoridad moral, inicia el movimiento enviando una misiva al presidente de los Estados Unidos. Cinco años después, enterado de los éxitos ya obtenidos en los ensayos de la bomba atómica, vuelve a usar la pluma esta vez para reclamar prudencia en el empleo de este engendro de la Física Nuclear. El resto de la Historia es bien conocido.



En la década del 40, bajo el mayor secreto, se desarrolla el llamado Proyecto Manhattan, verdadera empresa científica multinacional, con el objetivo de fabricar la bomba atómica. Una red de laboratorios estadounidenses se comparte los trabajos a los cuales concurren científicos de todas las banderas, alarmados con la posibilidad de que la Alemania hitleriana pudiera acceder primero al arma nuclear.

Cuando el engendro destructivo estuvo listo pero aún no se había provocado el holocausto de Hiroshima, un equipo del Laboratorio de Metalurgia de la Universidad de Chicago proclamó su oposición al lanzamiento de la bomba. La mayoría de la comunidad científica abrazó la causa del uso pacífico de la energía atómica.

El 9 de agosto de 1945 la humanidad se aterrorizaba con la hecatombe nuclear en Hiroshima, días después se repetía la escena esta vez en Nagasaki. Se inauguraba la época del arma nuclear con un saldo inmediato en Hiroshima de unos 140 mil muertos de una población estimada en 350 mil habitantes, y una multiplicación a largo plazo de las víctimas como resultado de las manifestaciones cancerígenas y las mutaciones genéticas inducidas por la radiación nuclear.

Los más relevantes exponentes, y la mayoría de la comunidad científica reaccionaron vigorosamente contra el desarrollo del armamento nuclear y abrazó la causa del uso pacífico de la energía nuclear. Poco antes del lanzamiento de la bomba en Hiroshima, como expresión de las ideas de los científicos que trabajaban en el proyecto Manhattan, 68 participantes en las investigaciones desarrolladas en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad de Chicago firmaron una carta de petición al presidente de los E.U. para impedir el empleo del arma nuclear. El propio Albert Einstein (1879 -1955) abogó por el desarme internacional y la creación de un gobierno mundial. No faltaron, sin embargo aquellos que como el físico húngaro, nacionalizado estadounidense, Edward Teller (1908 – 2003), arquitecto principal de la bomba H, consideraron oportuno continuar la espiral armamentista, confiados en que el liderazgo de un país podía resultar ventajoso para todo el mundo.

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial se conformaron dos grandes bloques militares, económicos y políticos, que se enfrascaron en una guerra fría, desarrollaron una irracional carrera armamentista, y fomentaron la hipertrofia de un complejo militar industrial. El ruido de la guerra ha tenido una huella que no ha sido evaluada con suficiente precisión. De acuerdo con los resultados del primer "ensayo nuclear" en las Islas Marshall, las superpotencias trasladaron sus polígonos de prueba para sitios protegidos por extensas zonas desérticas, e incluso llevaron las pruebas al nivel del subsuelo evitando la contaminación atmosférica y las lluvias radiactivas que suelen llevar impulsados por los vientos, residuos radiactivos a miles de kilómetros del lugar de la explosión. De cualquier forma el planeta ha sufrido la sacudida telúrica, y el pulso electromagnético de radiaciones ionizantes provocados por más de dos mil explosiones nucleares, más de la mitad lanzadas por los Estados Unidos, el 85 % por las dos grandes superpotencias del siglo (E.U. y la URSS), el 10% en el orden Francia, China y Gran Bretaña. Cinco pruebas se reparten entre dos países asiáticos envueltos en un litigio histórico: Paquistán y la India. Una bomba atómica fue lanzada en el océano Índico por el régimen sudafricano del apartheid en 1979, para emplear el chantaje en sus relaciones con los vecinos africanos. Desde 1992, logrado un Tratado Internacional de no proliferación del arma nuclear, se han silenciado notablemente "los ensayos nucleares". Pero India y Paquistán desoyendo el clamor universal, en 1998 realizaron un par de pruebas por parte en demostración mutua de fuerza. Al grupo de ocho países responsables de esta demencial carrera se ha sumado recientemente Corea del Norte.



El impacto de la guerra sobre los hombres de ciencias dependió del escenario histórico en que les tocó vivir. Georges Charpak (1924-), físico francés de origen polaco, premio Nobel de Física en 1992 por sus novedosos métodos para la detección de las partículas subatómicas que significó un notable avance en el estudio de los procesos nucleares, tenía 19 años cuando, acusado de terrorista por su actividad en la heroica resistencia francesa, sufre el horror de la prisión en un campo de concentración nazi.

La rivalidad dominante este – oeste del siglo se reflejó también entre las instituciones científicas hasta bien avanzado el siglo. A la competencia y el intercambio que alentó, en lo fundamental, el desarrollo de las investigaciones en las primeras décadas entre las Escuelas de Copenhague, Berlín, París, y Londres, le sustituyó un cerrado silencio. El intercambio fue tapiado y supuestas filtraciones al bando opuesto adquirieron la dramática connotación de espionaje político. Los logros publicables que obtenían los laboratorios nucleares de Dubna, en la ex - Unión Soviética, Darmstad en Alemania, y Berkeley de los Estados Unidos eran sometidos a encendidas polémicas sobre prioridad, como es el caso del descubrimiento (acaso sería mejor decir "la fabricación" en los aceleradores lineales) de los elementos transféricos que ocupan una posición en la tabla periódica posterior al elemento número 100.

El proceso de descolonización en África y Asia experimentó una aceleración en el período de la posguerra. Pero el cuadro del desarrollo socioeconómico de los países a lo largo del siglo se mantuvo tan desigual y asimétrico como irracional resultaría la distribución de riquezas heredada del pasado colonial. La brecha entre ricos y pobres continuó ampliándose y se reflejó necesariamente en el estado de la ciencia y la técnica. Los países "en vías de desarrollo" debieron sufrir otro fenómeno: la fuga de cerebros. El capital humano, tal vez el mayor capital que atesora un país, se ve tentado en los países en desarrollo por las oportunidades que ofrecen las Mecas contemporáneas de las ciencias y al triste fenómeno de la emigración selectiva asisten sin posible defensa ante el mercado de la inteligencia, los países pobres.

Un panorama similar se advierte si se recurre a cifras que ilustren el financiamiento por países en el área de investigación y desarrollo, así como si se analizan la producción de patentes de invención. En esta última esfera un nuevo problema viene a matizar el progreso científico.

La protección de la propiedad industrial en todo el siglo XIX operó como un elemento de financiamiento de nuevas investigaciones que alentaron y permitieron nuevos logros en la invención. Pero con el siglo XX se van haciendo borrosos los contornos de los descubrimientos y las invenciones para la pupila de las grandes transnacionales interesadas más que todo en competir con éxito en el templo del mercado. Una encendida polémica se viene gestando en la opinión pública que gana creciente conciencia de los peligros que entraña semejante política. Afortunadamente, entre los propios investigadores se desarrolla un movimiento tendiente a preservar como patrimonio de toda la humanidad los descubrimientos científicos de mayor trascendencia.



El estudio de las heteroestructuras semiconductoras, que tuvieron una gran repercusión como uno de los soportes de la electrónica moderna encontró en el físico bieloruso Zhores I. Alferov, premio Nobel de Física del 2000, uno de sus más destacados investigadores.

En tema tan estratégico como resultan las fuentes energéticas futuras, Alferov ha declarado que a finales del siglo XXI la energía solar será determinante en el desarrollo de la energética en general "porque el Sol no se podrá nunca privatizar".

La Universidad de la Habana le confirió en 1986 el título de Doctor Honoris Causa y en el 2006 aprovechando la visita del científico a Cuba, le fue entregado personalmente este alto reconocimiento. Alferov ha mantenido una invariable actitud de amistad hacia Cuba.

Ya a finales de la década de los años ochenta, con el derrumbe del sistema socialista en el este europeo, se establecieron las bases de un mundo unipolar, caracterizado por un proceso de globalización, que si en principio pudiera considerarse en bien del intercambio científico, potencialmente representa un desafío para la supervivencia del mosaico de culturas de las naciones emergentes y de sus identidades nacionales.

Por otra parte, la desaparición de la guerra fría y el clima de universal entendimiento que parecía poder alcanzarse brindaban la posibilidad de congelar la irracional carrera de armamentos y desviar estos enormes recursos financieros hacia la esfera del desarrollo. Esto equivale a decir que podría al fin inaugurarse la era en que Ciencia y Tecnología alinearan sus fuerzas en bien de toda la humanidad. Pronto el optimismo inicial, derivado de semejante razonamiento se evaporó ante las nuevas realidades.

En el ámbito de las Matemáticas el siglo se inicia con el Congreso Internacional de París que concentró a las más relevantes figuras del momento y tuvo la significación de contar con las predicciones de David Hilbert (1862 -1943), notable matemático de la célebre Universidad de Gotinga forja académica de Gauss y Riemann y uno de las instituciones dónde se generó la actual interpretación de la Mecánica Cuántica, sobre los problemas más candentes que deberían ser resueltos por el esfuerzo de la comunidad de matemáticos. En efecto, a lo largo del siglo estos problemas serían abordados, pero lo que no pudo Hilbert pronosticar fue que las más significativas aportaciones en las Matemáticas guardarían relación con el mundo de la informatización y la inteligencia artificial. Así aparecen una nueva rama de la Geometría, esta vez la Geometría de los fractales, una nueva Lógica, la llamada Lógica Difusa, un Álgebra de nuevo tipo, conocida como el Álgebra de Neumann, y una teoría que había sido relegada por la complejidad inherente a su abordaje, la Teoría de los Sistemas Caóticos.

En el año 1946 se construye en Estados Unidos el primer ordenador electrónico digital de uso práctico (Eniac), sin pieza mecánica alguna. Desde entonces estos artefactos han tenido un vertiginoso desarrollo, alcanzando su cima en la inteligencia artificial.

La teoría de los juegos aparece a fines de los años 20, impulsada principalmente por John von Neumann (1903-1957), matemático estadounidense nacido en Hungría. La teoría de juegos se aplicó a los negocios y las guerras y Neumann extiende sus conceptos para desarrollar nuevos operadores y sistemas conocidos como anillos de operadores que reciben el nombre de Álgebra de Neumann que resultan muy útiles en la Mecánica Cuántica.



Cuando hoy se agitan las banderas de la xenofobia conviene recordar el inmenso aporte de los inmigrantes y sus descendientes al desarrollo de las sociedades más ricas del mundo actual. La lista se haría demasiado larga y abarca todos los campos de las ciencias. Sirva de ejemplo Lotfi Zadeh, autor de la lógica difusa, una de las teorías que sustentan los avances en el campo de la inteligencia artificial. Nació en 1921 en Irán, se educó en Arzeibaijan y finalmente se radicó en Berkeley, donde en la Universidad de California desarrolló su nueva lógica.

A pesar de los grandes adelantos en la optimización computacional ocurridos durante los últimos 20 años, el método Simplex inventado por George B. Dantzig (1914-2005) en 1947 es aún la herramienta principal en casi todas las aplicaciones de la Programación Lineal. Las contribuciones de Dantzig abarcan además la teoría de la descomposición, el análisis de sensibilidad, los métodos de pivotes complementarios, la optimización en gran escala, la programación no lineal, y la programación bajo incertidumbre. De ahí en adelante la Teoría del Caos, y la Lógica Difusa vienen emergiendo con gran fuerza en el panorama científico y tecnológico.

La Teoría del Caos se ocupa de sistemas que presentan un comportamiento impredecible y aparentemente aleatorio, aunque sus componentes estén regidas por leyes deterministas. Desde 1970 se viene aplicando esta teoría en la esfera de los fenómenos meteorológicos y en la Física Cuántica entre otras, siendo el físico estadounidense Mitchell Feigenbaum (1944-) uno de los exponentes más representativos. Estos sistemas tienen afinidades con la Geometría Fractal y con la teoría de catástrofes.

La Geometría Fractal fue descubierta en la década de los setenta por el matemático polaco, nacionalizado francés, Benoit B. Mandelbrot (1924 -). Ya no se limita la Geometría a una, dos o tres dimensiones, sino que se plantea el trabajo con dimensiones fraccionarias. Las montañas, nubes, rocas de agregación y galaxias se pueden estudiar como fractales. Estos vienen siendo usados en gráficos por computadora y para reducir el tamaño de fotografías e imágenes de vídeo.

La Lógica Difusa fue introducida en 1965 por Lotfi Zadeh (1921-), profesor de la universidad de Berkeley. La gran diferencia con la teoría de conjuntos clásica, enunciada por el alemán George Cantor a finales del siglo XIX, es que un elemento puede pertenecer parcialmente a un conjunto; en contradicción con la concepción tradicional que solo brinda dos posibilidades: "se pertenece o no se pertenece". La Lógica Difusa constituye una de las técnicas que sustentan la inteligencia artificial y se viene aplicando en Medicina y Biología, Ecología, Economía y Controles Automáticos.

Las Matemáticas invaden en el siglo XX todas las esferas de la sociedad, de la técnica y la ciencia, y sus más significativas aportaciones se relacionan con las nuevas áreas de la informatización y la inteligencia artificial. La modelación matemática reina en los procesos de ingeniería, de control automático, de la robótica, se introduce en los procesos biológicos y hasta algunos lo han evocado, a nuestro juicio con excesivo entusiasmo, en la solución de complejos problemas sociales.



Mitchell Feigenbaum, considerado uno de los fundadores de la teoría del caos, es hijo de Abraham, un químico analítico de padres polacos, y de Mildred Sugar, cuyo apellido debe haberse nacionalizado, pues sus padres proceden de la lejana capital ucraniana de Kiev. Mitch era el segundo de tres hermanos, y a diferencia del primogénito que parecía tener un gran talento, aprendió a leer con dificultad en las escuelas de Brooklyn donde cursó sus primeros estudios. Sin embargo, a los 16 ingresó en el Colegio de la Ciudad de Nueva York y en cuatro años recibió su primer título de ingeniero eléctrico. Luego, decidió hacer su doctorado en el MIT, y su contacto con la obra de Landau decidió su inclinación hacia la Física. En los años 80, luego de haber sido rechazados dos de sus trabajos en revistas especializadas, la Comunidad Científica lo reconocía como uno de los pioneros en los estudios teóricos que demuestran el carácter universal de los sistemas no-lineales e hicieron posible penetrar el mundo del caos

La Revolución en el campo de la Física se abrió paso en el siglo XX a través de la superación de profundas crisis en el campo de las ideas, que exigieron lo que se ha dado en llamar un cambio de paradigma. La construcción en paralelo de las teorías que pretendían explicar el universo de las micropartículas y ofrecer una nueva visión del mundo macroscópico, en lugar de encontrar un punto convergente se distanciaban desde sus propios enfoques de partida.

Las páginas que siguen hacen un vertiginoso recorrido por los principales momentos en la evolución de estas ideas que traen nuevas nociones para las coordenadas esenciales de la existencia humana y cósmica: el tiempo y el espacio, al tiempo que se esfuerzan por explicar y dominar la estructura interna del átomo y de las propias partículas subatómicas. Por este camino, inundado por complejas teorías se abren paso colosales realizaciones prácticas que implican el gobierno de aquella energía fuente de todo el movimiento del sistema solar: la energía nuclear.

En el campo de las Ciencias Físicas una trascendental revolución se producía en:

Las ideas sobre la cuantificación de la luz y la sustancia que permitieron el desarrollo de la llamada Mecánica Cuántica.

Las ideas sobre la variabilidad del tiempo y del espacio, desarrolladas inicialmente casi en solitario por A. Einstein al crear su Teoría de la Relatividad.

Las ideas sobre la desintegración radiactiva y el desarrollo de la teoría del átomo nuclear.

El desarrollo de la Mecánica Cuántica

El primer período en el desenvolvimiento meteórico de la Física Cuántica abarca desde el propio año inicial del siglo hasta 1913. Si tuviera que bautizarse esta etapa recurriendo a los protagonistas fundacionales, como el paradigma mecánico se reconoce como la época de Newton-Galileo, o la concepción electromagnética del mundo se asocia al par Faraday-Maxwell, habría que llamar a este momento histórico como el de Planck-Einstein-Rutherford-Bohr. Y al así hacerlo tendríamos en cuenta que ellos lideraron la búsqueda y solución de los problemas esenciales que condujeron a la teoría cuántica del átomo de Bohr:

- La distribución de la energía en el espectro de emisión del cuerpo negro absoluto.
- La elaboración de un modelo atómico constituido por partículas positivas y negativas.
- La determinación de las leyes que rigen en los espectros de rayas y de bandas.

El surgimiento de las ideas de la cuantificación de la luz nace con el inicio del siglo XX. Los trabajos de Max Planck (1858 – 1947) al explicar el comportamiento de la radiación por temperatura del radiador ideal, considera la existencia de paquetes de energía que depende de la frecuencia de la radiación. Por primera vez la Física se encontró con las representaciones cuánticas que modificarían la faz de esta Ciencia.



Max Planck (1858-1947) fue un pionero de las ideas de la cuantificación de la energía en los procesos de emisión de la radiación. La ecuación $E = h\nu$ lo inmortaliza a través de la constante universal h que recibe su nombre, constante de Planck. Su enorme prestigio hace que lo elijan en 1930 presidente de la Sociedad Científica alemana más importante, la Sociedad Kaiser Guillermo para el progreso de la ciencia. Sus críticas abiertas al régimen nazi le forzaron a abandonar la Sociedad a la cual regresa como presidente al terminar la Segunda Guerra Mundial. Hoy esta sociedad lleva su nombre, Sociedad Max Planck.

Las representaciones cuánticas fueron aplicadas por Albert Einstein (1879 – 1955) en 1905 a la teoría del efecto fotoeléctrico. Einstein a diferencia de Planck formuló la hipótesis de que los cuantos de magnitud $h\nu$ existen no solo en el proceso de emisión o de absorción, sino que tienen, además, existencia independiente. A partir de esta concepción explicó las particularidades de este efecto, inexplicables desde el punto de vista de la teoría ondulatoria de la luz, y enunció la ley básica del efecto fotoeléctrico.

La ecuación que resume esta concepción teórica fue comprobada experimentalmente por Arthur Holly Compton (1892 – 1962) en 1912. La explicación del efecto fotoeléctrico externo establece las bases de la Teoría Fotónica de la Luz.

Finalmente, Niels Bohr (1885- 1962) en 1913, abre la etapa de la cuantificación de la energía para las partículas al proponer un modelo inicial del átomo basado en el postulado de cuantificación del momento angular y la energía de los electrones en sus órbitas para los átomos hidrogenoides. La noción de los estados estacionarios del electrón rompía con la electrodinámica clásica y apuntaba hacia una nueva manera de entender el mundo de las micropartículas.

En 1914, Bohr visitó las universidades de Munich y Gotinga y establece relaciones con famosos físicos como Max Born (1882- 1970) y Arnold Sommerfeld (1868-1951). La Primera Guerra Mundial interrumpió su gira por Alemania y ya en 1916 abre una cátedra de Física Teórica en Copenhague. Cinco años después funda el Instituto de Física Teórica de la Universidad de Copenhague. En los próximos años, el Instituto de Bohr y la Universidad de Gotinga se convierten en los baluartes de la naciente Mecánica Cuántica.



Niels Bohr es el autor del sistema planetario de la estructura electrónica de los átomos. Su imagen de la envoltura electrónica deriva de la aplicación del principio de cuantificación a las órbitas posibles de los electrones. Durante la segunda guerra mundial emigró con su familia a EEUU y participó en el proyecto de los Átomos para la construcción de la bomba atómica. Fue un enérgico defensor de poner en manos del control internacional el armamento atómico y al concluir la guerra regresó a la universidad de su natal Copenhague, donde se consagró al desarrollo del uso pacífico de la energía atómica.

Un segundo período nacido con la posguerra, nos trae las ideas duales para las partículas que tienen su origen en los trabajos teóricos de Louis De Broglie (1892 – 1987). Hasta entonces todos los fenómenos relacionados con el electrón se explicaban sólo desde el punto de vista corpuscular.

De Broglie busca obstinadamente una idea generalizada, en la cual los puntos de vista corpuscular y ondulatorio estuviesen íntimamente integrados. A partir de su hipótesis deduce de una forma sorprendentemente sencilla la condición de cuantificación de las órbitas electrónicas de Bohr.

La confirmación experimental del carácter ondulatorio de los electrones fue espectacularmente obtenida en 1927 por los científicos norteamericanos Clinton Joseph Davisson (1881-1958) y Lester H. Germer (1896-1971) y de forma independiente en Aberdeen por George P. Thomsom

(1892- 1975) al obtener el espectro de difracción de un haz de electrones convenientemente acelerados.

En los años cruciales para el desarrollo de la Mecánica Cuántica del 1921 al 27, en Zurich, Erwin Schrodinger (1887 – 1961) llevó a cabo las investigaciones fundamentales que culminaron en su famosa ecuación de onda. La ecuación de onda de Schrodinger permite, a través del instrumental matemático con que opera, obtener valores discontinuos para la energía, que cuantifican el movimiento de las partículas no relativistas; y al mismo tiempo plantea el problema del sentido físico de la función de onda. Estas investigaciones basadas en la objetividad de las ondas existentes y en su comportamiento causal fueron aplaudidas desde Berlín por Planck y Einstein que por entonces ejercían la docencia en la Universidad berlinesa.

En el mismo año en que Schrodinger establece su famosa ecuación de onda, Werner Karl Heisenberg (1874 – 1956) enuncia el principio de indeterminación (incertidumbre). Heisenberg demuestra mediante un experimento imaginario que cuanto mayor es la precisión con que determinemos la posición de la micropartícula tanto menor es la precisión con que se determine su velocidad.



El físico austriaco Erwin Schrodinger pudo haber retenido su cátedra en Berlín puesto que él tenía afiliación católica, pero decidió mostrar su rechazo al régimen nazi abandonando Alemania. Su excepcional formación cultural se refleja en su concepción sobre la Historia: "La Historia es la más fundamental de todas las Ciencias, porque no hay conocimiento humano que no pierda su carácter científico cuando los hombres olvidan las condiciones en que fue originado, las preguntas a las que respondió y las funciones para las cuales fue creado" . What is life? And other scientific essays, p 132, 1956.



Werner K. Heisenberg, físico alemán, mereció el premio Nobel en 1932 por ser uno de los padres de la Mecánica Cuántica. Su principio de la incertidumbre ha tenido una profunda influencia tanto en la Física como en la Filosofía. Reanimó la polémica sobre el clásico problema de la cognoscibilidad del mundo. El curso ulterior de los acontecimientos continúa demostrando la capacidad humana para penetrar en los enigmas de la naturaleza. Un estrecho nacionalismo lo llevó a dirigir el plan nuclear de la Alemania nazi que afortunadamente no tuvo éxito.

El sentido de la relación de indeterminación ha sido objeto de encendidas polémicas. Compartimos el criterio de que estas relaciones no constituyen barreras para la cognición del mundo de las micropartículas sino que expresan su peculiar esencia. Al establecer un enfoque probabilístico en la descripción del micromundo no se está intentando evadir las grandes dificultades representadas por el gran número de partículas de los sistemas abordados en la Física Molecular y la Termodinámica, pero que al menos en principio podían ser descritos con arreglo a leyes bien determinadas.

El Congreso de Solvay de 1927 dejó como saldo para la Historia el rico debate alentado principalmente por Bohr y Einstein sobre los principios de la nueva Mecánica Cuántica. A partir de este Congreso la Comunidad de los físicos teóricos reconoció como válida la interpretación de la Escuela de Copenhague (liderada por Bohr). Einstein aceptó la coherencia alcanzada por la teoría cuántica pero siempre creyó en la posibilidad de crear una teoría más completa.

En el caso del micromundo, no existe la posibilidad de descripción determinista y es necesario el reconocimiento de la existencia de leyes objetivas con un carácter probabilístico.

El trabajo fundamental que fija el sentido de probabilidad de la función de onda pertenece a Max Born (1882 - 1970) quien, al examinar esta cuestión en 1926 llegó a la conclusión de que si el

sistema consta de un punto, la función de onda expresa la probabilidad de encontrar la partícula en el punto del espacio tridimensional; ahora bien si se trata de un sistema de n partículas la función de onda cambia de un punto a otro del espacio de representación con $3n$ dimensiones. Born fue uno de los pocos físicos que edificaron la estructura filosófica de la Mecánica Cuántica. Su principal contribución fue la interpretación probabilística de las ondas de Schrodinger, una interpretación que eleva la probabilidad a categoría primaria de la Mecánica Cuántica.

En 1928, el eminente teórico inglés Paul Dirac (1902-1984) deduce la famosa ecuación relativista cuántica que describe el comportamiento del electrón. Se considera la ley que generaliza las ecuaciones relativistas cuánticas del movimiento de las partículas.



La teoría de Dirac auguraba la existencia de antipartículas para casi todas las partículas elementales, lo que se confirmó en lo sucesivo. En 1955 fueron descubiertos los antiprotones y luego otras antipartículas, en fin fue descubierto el antimundo. Los pronósticos de Dirac iban más lejos y aseguraban que durante su encuentro ocurriría el aniquilamiento mutuo de partículas y antipartículas con la correspondiente liberación de energía. El proceso de aniquilación fue una confirmación más de la ecuación de Einstein que interrelaciona masa y energía.

La resolución de las ecuaciones obtenidas por Dirac indicaba que debía existir una partícula con la misma masa del electrón pero con carga positiva. Era la predicción del antimundo, por primera vez apareció el concepto de antipartícula, nació así teóricamente el positrón. Cuatro años más tarde, el físico norteamericano Carl D. Anderson (1905 – 1991) logró observar en la cámara de Wilson la traza de una partícula extraordinaria que poseía la masa del electrón pero era desviada por el campo magnético en sentido contrario. Se había hallado experimentalmente el gemelo del electrón predicho por Dirac.

En octubre de 1985, en el Laboratorio Nacional "Enrico Fermi" de Illinois, probaron un nuevo y superpotente acelerador de partículas con el cual colisionaron protones y antiprotones. La energía descargada durante la colisión superó cualquier cantidad conseguida hasta el momento: se produjo una energía equivalente a 1,6 trillones de electrón- volts.

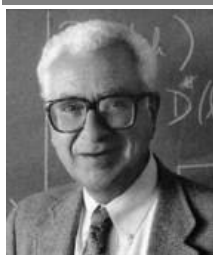
El impetuoso avance de la Física Atómica permitió una mayor profundización en los niveles de la naturaleza e hizo posible el surgimiento de la Teoría de los Quarks. La explicación de la estabilidad del núcleo atómico, que confinaba en regiones muy reducida a los protones de carga positiva, exigió el postulado de nuevas partículas nucleares.

El físico japonés Hideki Yukawa (1908 – 1981) fue el primero en emitir la hipótesis de que las partículas que garantizan la estabilidad de los núcleos pueden poseer una masa mucho mayor que la del electrón. Estas partículas luego fueron llamadas mesones, y la comprobación experimental de su existencia debió esperar 11 años cuando se investigaban los rayos cósmicos. Fue entonces que se encontraron partículas con una masa 273 veces la masa del electrón y otras con 207 masas del electrón. A estas partículas se les llamaron mesones π o piones y mesones μ o muones. El pión resultó ser el mesón propuesto por Yukawa.

El progreso de la Teoría Dual de la Luz se fortalece con la llamada estadística de los bosones propuesta en los trabajos de A. Einstein, en 1924, y de Satyendra Nath Bose (1894 – 1974), de los cuales el fotón es un caso particular, y al incorporar, según las concepciones actuales, los fotones al sistema de partículas básicas consideradas por la Teoría de los Quarks.

En unos cincuenta años, se consolidó la Teoría Atómica, con el desarrollo de modelos, tanto para el átomo de hidrógeno, con cálculos exactos, como para los átomos multielectrónicos, con cálculos aproximados, pero muy eficientes, y edificado la Teoría del Núcleo que dio lugar a la

utilización de la energía nuclear en las distintas ramas de la economía, aunque lamentablemente también en el terreno bélico.



El camino que tomaron las investigaciones en el campo de las micropartículas demostraba la inagotabilidad de la materia. En 1961, el físico norteamericano Murray Gell-Mann (1929-) diseñó una especie de tabla periódica que agrupaba a las partículas subatómicas en familias de ocho. Este esquema fue confirmado por descubrimientos posteriores. Tres años después Gell-Mann propuso la existencia de los quarks, partículas constituyentes de las partículas "elementales". Según la profundización alcanzada en los niveles del micromundo, hay bariones (de masa mayor o igual a los protones); mesones (de masa inferior a los protones y mayor que los electrones) y luego hay quarks.

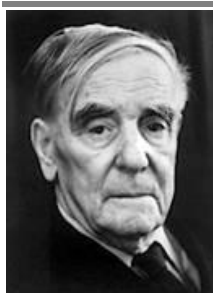
Por razones estructurales se clasificaron los quarks en seis grupos teóricos. A fines de la década de los sesenta, en el laboratorio de aceleración de micropartículas de la Universidad de Stanford el equipo integrado por el físico canadiense Richard E. Taylor (1929-) y los físicos estadounidenses Henry W. Kendall (1926-1999) y Jerome I. Friedman (1930-), descubrieron los quarks y por este descubrimiento, compartieron el Premio Nobel de Física en 1990. En los noventa se probó la existencia del último de los seis grupos.

Las realizaciones de la Escuela de Física soviética, fundada hacia los años treinta entre otros por Piotr Kapitsa (1894-1984) y Lev Landau (1908-68), abarcan un amplio campo de trabajo que incluye la superconductividad y la superfluidez, la electrodinámica cuántica, la física nuclear y la física de partículas. En la segunda mitad del siglo aparecen como continuadores sobresalientes de las investigaciones en la superconductividad y la superfluidez los rusos, premios Nobel de Física del 2003, Alexei A. Abrikosov (1928-), declarado científico distinguido del Laboratorio Nacional de Argonne, naturalizado en los Estados Unidos, y el nonagenario Vitali L. Ginzburg (1916-), jefe del Grupo de Teoría del Instituto de Física P.N. Lebedev de Moscú.

La Mecánica Cuántica y sus múltiples aplicaciones en otras ramas concretas de las Ciencias, han traído importantes derivaciones epistemológicas y filosóficas. Entre ellas destaca el debate sobre la cognoscibilidad del mundo, dado por diferentes interpretaciones del Principio de Indeterminación. En realidad este principio debe entenderse que define un límite de validez para la aplicación de los conceptos que el hombre ha aplicado a una determinada esfera de fenómenos naturales, y acusa el riesgo de una generalización no fundamentada.

Los avances en esta rama de las ciencias han tenido importantes aplicaciones prácticas, en particular sobresalen las aportaciones en la rama de las comunicaciones, la codificación de información, los diversos tratamientos con la utilización de los láseres, las aplicaciones en la medicina de técnicas basadas en el láser y en la resonancia magnética nuclear, los átomos marcadores para la datación de hallazgos arqueológicos, y el desarrollo de la rama de la energética nuclear.

El siglo XX conoció de la construcción en paralelo de las teorías que pretendían explicar el universo de las micropartículas y ofrecer una nueva visión del mundo macroscópico. Estos esfuerzos en lugar de encontrar un punto convergente se distanciaban desde sus propios enfoques de partida.



La ciencia soviética, heredera de la tradición rusa, archivó resonantes logros en el desarrollo de la Física Cuántica. Entre los más destacados representantes en esta dirección se hallan los premios Nobel de Física, Piotr L. Kapitsa y Lev D. Landau. Ambos científicos, en momentos determinados de sus vidas, sufrieron la política represiva de las autoridades stalinistas que empañó los logros de la ciencia soviética y estratégicamente contribuyó a empeñar el destino de la primera sociedad socialista. Se afirma que Kapitsa alegó razones de conciencia para alejarse del programa soviético de desarrollo de armas nucleares pero fue uno de los líderes científicos del proyecto inicial de satélites de la URSS.

Las ideas sobre la variabilidad del espacio y el tiempo y la Teoría de la Relatividad

Las páginas que siguen hacen un vertiginoso recorrido por los principales momentos en la evolución de las ideas que traen nuevas nociones para las coordenadas esenciales de la existencia humana y cósmica: el tiempo y el espacio. En este otro extremo de la cuerda, el cuadro físico del mundo experimentaba una profunda reestructuración, en lo fundamental, por los trabajos del genio alemán Albert Einstein.

La teoría de la relatividad de Einstein es uno de los grandes logros de la Física contemporánea. Si la Mecánica de Newton representa en el siglo XVII el acto fundacional de la Física, la Mecánica Relativista desarrollada en este siglo provoca una nueva cosmovisión del universo y constituye lo que se ha dado en llamar un cambio paradigmático a partir de la interpretación dada por el físico Thomas Samuel Khun (1922-1996) en su clásico "Estructura de las Revoluciones Científicas".

De cualquier modo compartimos el criterio expresado por Steven Weinberg (Premio Nobel de Física en 1979) en una retrospectiva sobre el trabajo de Kuhn:

"No es verdad que los científicos sean incapaces de conectarse con diferentes formas de mirar hacia atrás o hacia delante" y que después de una revolución científica ellos sean incapaces de comprender la ciencia que le precedió. Uno de los desplazamientos de paradigmas a los cuales Kuhn brinda mucha atención en "Estructura" es la sustitución al inicio de esta centuria de la Mecánica de Newton por la Mecánica relativista de Einstein. Pero en realidad, durante la educación de los nuevos físicos la primera cosa que les enseñamos es todavía la buena mecánica vieja de Newton, y ellos nunca olvidan como pensar en términos newtonianos, aunque después aprendan la teoría de la relatividad de Einstein. Kuhn mismo como profesor de Harvard, debe haber enseñado la mecánica de Newton a sus discípulos".

Einstein, en 1905, ya había demostrado al proponer la Teoría de la Relatividad Especial, que la Mecánica de Newton no tenía validez universal; demostró que si los cuerpos se mueven con velocidades comparables a la de la luz, entonces la Mecánica de Newton no puede describir los fenómenos correspondientes. La Teoría de la Relatividad es una generalización de la teoría newtoniana, que amplía su dominio de aplicación. Si en la Teoría de la Relatividad se consideran fenómenos en los cuales la velocidad de los cuerpos es mucho menor que la de la luz, como son la mayoría de los fenómenos cotidianos, entonces se recupera la mecánica de Newton. Es decir, la teoría newtoniana es un caso particular de la relativista, para velocidades muy pequeñas.



La teoría general de la relatividad es uno de los grandes logros de la Física contemporánea. Si la Mecánica de Newton representa en el siglo XVII el acto fundacional de la Física, la Mecánica Relativista desarrollada en este siglo provoca una nueva cosmovisión del universo que porta originales nociones para las coordenadas esenciales de la existencia humana y cósmica: el tiempo y el espacio. Su construcción es obra casi exclusiva, hecho insólito en este siglo, de Einstein lo que se explica al recordar que en el período que abarca de 1905 al 1916 la atención de la comunidad de físicos se centra en el desarrollo de la Teoría Cuántica del átomo.

Tanto la llamada Teoría Especial para el caso de los sistemas inerciales que fue, en lo fundamental enunciada en 1905, como su ulterior extensión, la llamada Teoría General de la Relatividad que consideraba el caso de los sistemas no inerciales, les permitieron a Einstein desarrollar su Teoría sobre la Gravitación Universal a partir de la propiedades del espacio – tiempo en la cercanías de las grandes aglomeraciones de masa.

Es necesario destacar que la Teoría General de la Relatividad pertenece no solo a la Historia de la Ciencia sino a la Física contemporánea. Constituye una síntesis, desde postulados relativistas, de la teoría newtoniana de la atracción gravitatoria, de la teoría del espacio-tiempo tetradimensional

curvo y, finalmente, de la generalización del principio de relatividad de movimientos uniformes respecto a movimientos acelerados.

Como expresión de una teoría revolucionaria, en el ámbito que abarca, va a exigir de nuevas concepciones sobre el espacio, el tiempo y el movimiento, a la vez que se apoya en novedosos instrumentos matemáticos de trabajo.

Asentada principalmente en la Teoría Especial de la Relatividad; en las observaciones de Poincaré (1854 – 1912) sobre la gravitación; y en la interpretación cuatridimensional de Minkowski (1864 – 1909); así como en los trabajos geométricos de Lovachevski y Riemann, su construcción fue obra casi exclusiva de A. Einstein. Este hecho, insólito ya en la Física del siglo XX, repleta de ejemplos del trabajo en "Escuelas", se explica al recordar que en el período que abarca de 1905 al 1916 la atención de la comunidad de físicos se centra en el desarrollo de la Teoría Cuántica del átomo.

No parecía entonces que los problemas de la atracción gravitatoria y de la generalización de la Teoría Especial de la Relatividad, fuera a ofrecer resultados trascendentes. De hecho, una característica de este descubrimiento que puede resultar, a primera vista sorprendente es que si bien la Teoría General de la Relatividad señala un giro radical en nuestras ideas sobre categorías tan generales como el espacio, el tiempo y la gravitación, esta no presentó la menor trascendencia técnica.

Sin embargo, después de su formulación y sobre todo luego de la confirmación experimental por Eddington (1882 - 1944) del entonces llamado efecto Einstein acerca de la pequeñísima desviación de los rayos de luz de las estrellas al pasar cerca de la superficie del sol, una nueva promoción de físicos se sintió inclinada a participar en nuevas búsquedas, emitir audaces hipótesis, y someter las nuevas ideas a confirmación astronómica. Desde entonces se han repetido los intentos de estructurar una teoría única del campo, y elaborar la Teoría Cuántica de la Gravitación.



La cosmología relativista entró en una nueva fase en 1922, cuando el físico y geofísico ruso A.A. Fridman (1888 – 1925) publicó dos obras clásicas que se oponían al modelo estacionario propuesto por Einstein, y abrían paso a las ideas sobre un universo en expansión. Sólo siete años después de los trabajos de Fridman, en 1929, el astrónomo norteamericano E. Hubble (1889 – 1953), que trabajaba en el reflector más grande de aquellos tiempos en el observatorio de Mount Wilson, llegó a la conclusión, a partir del desplazamiento hacia el rojo de las rayas espectrales de todos los sistemas estelares distanciados, de que todas las estrellas se alejan de nuestra galaxia.

En el propio año de 1916 en que se publica la teoría general de la relatividad, poco antes de su muerte, el matemático alemán Karl Schwarzschild (1873-1916), predijo la existencia de los agujeros negros. Sobre la base de la relatividad einsteniana, postuló "el radio de Schwarzschild", magnitud cósmica relacionada con el hipotético círculo, que se generaría durante la explosión de una supernova, tan compacto que nada ni siquiera la luz podría escapar de su intenso campo gravitatorio. A estos objetos se les conoció más tarde como agujeros negros. Fue necesario esperar a fines del siglo XX para que el radiotelescopio Hubble instalado en una sonda espacial confirmara la existencia de un agujero negro en el centro de una enorme galaxia llamada M87.

Estos trabajos fueron proseguidos por el sacerdote y astrónomo belga Georges Lemaitre (1894 – 1966) que fundamentó una teoría cosmológica según la cual, la expansión del Universo habría comenzado con una enorme explosión de un "núcleo primordial". Este "núcleo primordial", según sus deducciones matemáticas, increíblemente denso contenía toda la materia del Universo dentro de una esfera unas 30 veces mayor que el Sol.

1948 representa el año en que se desarrollan dos teorías cosmológicas contrapuestas: el llamado modelo estacionario y la más conocida teoría de la gran explosión. La teoría del universo estacionario resultante de la creación continua de materia que se condensa para la formación de

nuevas galaxias fue desarrollada en Cambridge por los astrofísicos Hermann Bondi (1919-2005), Fred Hoyle (1915-2001), y Thomas Gold (1920-2004). La teoría de la Gran Explosión se enriquece con los trabajos del físico teórico ucraniano, nacionalizado estadounidense, George Gamow (1904-1968) que explica la expansión del universo y desarrolla nuevas hipótesis sobre la creación de los elementos en los primeros momentos del descomunal estallido.

Los progresos del período de investigaciones aceleradas en plena guerra habían legado un instrumental avanzado para escudriñar ahora la infinitud del universo. En 1960, desde el Observatorio de Monte Palomar en California, el astrónomo estadounidense Allan Rex Sandage (1926-) consigue la primera imagen espectrográfica de un objeto estelar caracterizado por dos fenómenos enigmáticos: sus líneas espectrales de emisión resultan inidentificables al tiempo que emiten enormes cantidades de energía.



En el verano de 1967, Jocelyn Bell se encontraba investigando en la Universidad de Cambridge, bajo la asesoría del radioastrónomo Antony Hewish (1924-), la escintilación de los quásares. En este empeño descubrieron una señal inusual recibida a un intervalo constante cercano al segundo. Semejante señal pulsante fue inicialmente interpretada como el resultado de una emisión de seres inteligentes, pero luego la detección de una señal análoga desde el extremo opuesto del cielo evaporó esa probabilidad. Un año después la mayoría de los físicos aceptaban la naturaleza de los púlsares como estrellas de neutrones de una increíble densidad que giran rápidamente en un pequeño círculo con intensos campos electromagnéticos, emitiendo ondas de radio.

Los púlsares fue el primer paso en la verificación de la existencia de un fenómeno teórico muy extraño: los agujeros negros.

Los quásares (acrónimo de quasi-stellar radio source, fuente de radio cuasiestelar), fueron sometidos a sistemática observación a partir de este momento y en 1963, el astrónomo estadounidense de origen holandés Maarten Schmidt emitió la hipótesis de que estas líneas de emisión no identificadas en el espectro eran líneas ya conocidas pero que mostraban un desplazamiento hacia el rojo mucho más intenso que en cualquier otro objeto conocido, lo cual se interpreta como que el quasar se aleja rápidamente de nuestro planeta como resultado de la expansión del Universo. El análisis de observaciones posteriores y su correspondencia con las teorías existentes indican como única explicación satisfactoria para que un quásar variable produzca tal cantidad de energía en un volumen relativamente pequeño es la absorción de grandes cantidades de materia por un agujero negro. Los astrónomos creen que los quásares son agujeros negros supermasivos rodeados de materia que gira a su alrededor; esta materia emite energía al caer en el agujero negro.

En este debate sobre la cosmovisión del universo, el descubrimiento en 1965 de una misteriosa radiación de fondo cósmica correspondiente a las microondas de 3 K (-270oC) que no tiene fuente específica y se detecta desde todas las direcciones del universo fue interpretada como una prueba a favor de la teoría que apuesta a un universo que se expande producto de una colosal explosión original. Esta radiación detectada por el astrofísico estadounidense, de origen alemán, Arno Penzias (1933-) y el radioastrónomo estadounidense Robert W. Wilson (1933-) se comprendió como el remanente cósmico de las elevadísimas temperaturas que acompañaron al instante inicial del Gran Bang.

En 1979 el físico estadounidense Alan Guth (1947-), desarrolló una nueva teoría acerca de la expansión del Universo, continuadora de la hipótesis inflacionaria desarrollada 30 años atrás por Gamow, que ha servido de base para la interpretación contemporánea de los primeros momentos del Universo. Guth combina las ideas cuánticas con la teoría del campo unificado para demostrar la posibilidad de que toda la materia del Universo podría haber sido creada por fluctuaciones cuánticas en un espacio 'vacío' y que una región de aquel estado caótico original podía haberse hinchado rápidamente para permitir que se formara una región observable del Universo.



El físico teórico Stephen Hawking (1942-) es la figura líder de la moderna cosmología. Los sentidos del hombre se resienten con las concepciones emergentes de la teoría de la gran explosión. Una edad del universo estimada en $13,7 \pm 0,2$ mil millones de años, un modelo que advierte un período de inflación cósmica de 10-35 segundos, la expansión y el enfriamiento que condujo a la bariogénesis produciendo de alguna manera la asimetría observada entre materia y antimateria, son elementos en que se asienta la prevalecte cosmovisión actual.

Hawking, con un extraordinario espíritu y la alta tecnología puesta a su servicio es uno de los grandes en el propósito de enlazar la Mecánica Cuántica y la Relatividad las dos principales teorías de la Física Moderna, desarrollando la teoría cuántica de la gravedad.

En la Cosmología actual prevalece el modelo del Bing Bang, y la teoría del relevante físico Stephen Hawking (1942 -). Las ideas relativistas de Einstein posibilitaron así el nacimiento de una ciencia del Cosmos y adelantar hipótesis sobre el surgimiento del universo conocido.

En el campo del micromundo, el impacto de las aportaciones de A. Einstein, ha sido enorme y merece destacarse que todo progreso de la Mecánica Cuántica ha tomado en cuenta el carácter relativista de las micropartículas introduciéndose magnitudes para la descripción de los fenómenos del universo subatómico que no tienen su similar en el mundo clásico como por ejemplo son el momento de espín, las cargas bariónica y leptónica, y la hipercarga, entre otros. Por otro lado al aprovechar el carácter relativo del espacio y del tiempo se han podido construir aceleradores de partículas con el objetivo de estudiar las propiedades más íntimas de la materia.

Hacia 1948, veinte años después de los trabajos fundacionales de Dirac en la versión cuántico-relativista de la formulación de Maxwell, la electrodinámica cuántica se consideraba una teoría completada, en lo esencial, por los físicos estadounidenses Richard Feynman (1918 -1988), y Julian Schwinger (1918 -1994) y por el físico japonés Sinitiro Tomonaga (1906 – 1979). En 1965 compartirían el premio Nobel de Física.

En 1967 el físico de Harvard, Steven Weinberg (1933-) dio un gran paso adelante hacia la realización de una «teoría del campo unificado». Ésta comprendería las cuatro fuerzas aparentemente distintas de la naturaleza: gravedad, electromagnetismo y las fuerzas nucleares débil y fuerte. La fuerza nuclear débil se manifiesta al expulsar partículas del núcleo en la desintegración radiactiva y la fuerza fuerte une las partículas nucleares. El modelo de Weinberg describe el electromagnetismo y la fuerza nuclear débil como distintas manifestaciones del mismo fenómeno.

Notables aportaciones a la teoría electrodébil, aplicable a las partículas elementales, fueron desarrolladas por el físico paquistaní, profesor de Física Teórica del Imperial College de Londres, Abdus Salam (1926 – 1996). A partir de entonces se conoció el modelo de Weinberg - Salam. En 1970 Sheldon Glashow (1932-), otro físico de Harvard, extendió la teoría de este modelo a todas las partículas conocidas. En 1979, Weinberg, Salam y Glashow compartirían el Premio Nobel de Física.

A finales de los años setenta, una teoría del campo sobre la fuerza nuclear fuerte, Cromodinámica Cuántica, se integró con la teoría electrodébil de Weinberg y Salam para formar el modelo estándar. De las cuatro fuerzas, la única que queda fuera de esta teoría unificada es la gravedad. El científico holandés Gerardus't Hooft (1946-) y su colega Martinus J Veltman (1931-) merecieron el premio Nobel de Física de 1999 por sus relevantes aportaciones en el desarrollo de las matemáticas necesarias para explicar el modelo estándar.

En el terreno epistemológico la Teoría de General de la Relatividad permitió una concepción más profunda sobre las nociones acerca del espacio y el tiempo y su relación con el movimiento al desechar o refutar las viejas ideas sobre el carácter absoluto o de receptáculos de estas entidades y analizar su variabilidad en dependencia del estado de movimiento de los sistemas. Además hizo posible comprender las relaciones entre la masa y la energía como magnitudes que expresan

medidas cuantitativas de las propiedades inerciales y gravitatorias de las micropartículas por una parte y de las propiedades del movimiento de tales partículas por otra.

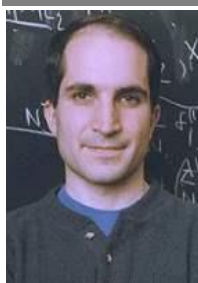


Abdus Salam nació en Jhang, un pequeño pueblo paquistaní en 1926. Graduado en Cambridge, mereció el Premio Nobel de Física en 1979. El dinero recibido de sus premios internacionales ha sido dedicado totalmente para posibilitar que jóvenes talentos en Física de su país y de otros países subdesarrollados visiten el Centro Internacional de Física Teórica fundado por Salam en Trieste. Abdus Salam fue un devoto musulmán cuya religión no ocupó un compartimento separado de su vida; fue inseparable de su trabajo y su vida familiar.

Otra importante derivación epistemológica de esta teoría radica en hacer evidente, tal vez por primera vez en el campo de la Ciencias Físicas, la importancia del llamado Principio de Correspondencia, considerado por muchos como el segundo criterio de la verdad sobre una determinada teoría científica, al establecer que toda nueva teoría, además de demostrar su valía en el campo de la práctica social, debe comprender o englobar a la teoría anterior sobre el mismo campo o dominio de aplicación, como un caso particular o límite. Tal era el caso entre la Teoría de la Relatividad y la Mecánica de Newton, de forma que la primera abarcaba a la segunda para el caso de bajas velocidades en comparación con la rapidez de propagación de la luz en el vacío.

Pero el gran mérito de la obstinada búsqueda de Einstein, radica en indicar el camino para que mas de medio siglo después una nueva generación de físicos fundara una teoría que, estremeciendo preceptos establecidos, se esforzara por cumplir sus sueños de encontrar un principio universal para explicar las propiedades y fuerzas observadas en dos mundos "antagónicos" el microcosmos y el universo de los objetos ordinarios.

Al cierre del siglo el sueño de Einstein de encontrar un principio integrador de los mundos gravitatorios, electromagnéticos (y más tarde nucleares) parecía comenzar a cristalizar con la emergente teoría de las cuerdas. La teoría de las supercuerdas reconoce una estructura interna para las partículas fundamentales del universo que han identificado los físicos –electrones, neutrinos, quarks, y otras, las letras de toda la materia. De acuerdo con esta teoría si nosotros examinamos estas partículas con una mayor precisión, una precisión de muchos ordenes de magnitud mayor que la alcanzable con la capacidad tecnológica actual encontraríamos que cada partícula no es puntual sino consiste de un diminuto anillo. Como una banda de goma infinitamente delgada cada partícula contiene un filamento vibrante que los físicos han llamado cuerda. El electrón es una cuerda vibrante de un modo, el quark es una cuerda vibrante de otro modo, y así sucesivamente.



El físico argentino Juan Maldacena (1967-), formado en la Universidad de Buenos Aires, y actualmente investigador en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, es considerado uno de los impulsores de las últimas proyecciones de la teoría de las supercuerdas. Maldacena es hoy un destacado exponente de esa minoría de científicos de origen hispano que desarrollan su actividad en instituciones élites estadounidenses.

Un estudio reciente de la National Science Foundation reveló que los estadounidenses de origen hispano, africano e indígena tan solo comprenden el 6 por ciento de la fuerza laboral del país en los campos de la ingeniería y las ciencias. No obstante las ricas sociedades del norte continúan actuando como un agujero negro para la luz, el capital humano, de las naciones del sur...

Aunque no resulte obvio esta simple sustitución de partículas puntuales constituyentes de los materiales con las cuerdas resuelve la incompatibilidad entre la mecánica cuántica y la relatividad general. La teoría de las cuerdas proclama por ejemplo que las propiedades observadas para las partículas fundamentales y las partículas asociadas a las cuatro fuerzas de la naturaleza (las fuerzas nucleares fuertes y débiles, el electromagnetismo y la gravedad) son un reflejo de las variadas

formas en que una cuerda puede vibrar. Justamente como las cuerdas de un violín tienen frecuencias resonantes a las cuales ellas prefieren vibrar, lo mismo se mantiene para los anillos de la teoría de las cuerdas. Pero en lugar de producir notas musicales cada una de ellas prefiere determinadas masas o cargas de fuerzas según el modo oscilatorio de la cuerda.

La misma idea se aplica a las fuerzas de la naturaleza. Las partículas de la fuerza son también asociadas con los modos particulares de vibración de la cuerda y de ahí que cada cosa, todo material y todas las fuerzas se unifican bajo la misma rubrica de oscilaciones microscópicas de las cuerdas, las notas que las cuerdas pueden tocar.

Por primera vez en la historia de la Física se dispone de un cuadro con la capacidad de explicar cada característica fundamental sobre la cual el universo es construido. Por esta razón la teoría de las cuerdas es con frecuencia descrita como la "teoría de todo". Este término hace pensar en el advenimiento de la teoría de mayor profundidad posible que incluye todas las otras. Y esto enciende otra violenta polémica. ¿Qué significa la teoría del todo? ¿Pretende abarcar esta teoría en un solo principio la divina diversidad de "nuestros mundos"?

Si el debut del siglo XX abrió un nuevo capítulo en el desarrollo de la Física que supuso la superación de una crisis de sus nociones sobre el mundo de las micropartículas y el advenimiento de un nuevo paradigma, con el cierre del siglo se anunciaba el descubrimiento de un principio integrador que explicaba el mundo cósmico, electromagnético y nuclear. No era precisamente la Teoría del "Todo" pero representa una nueva conquista del inagotable conocimiento científico.



Brian Greene (1963-), profesor del Departamento de Física de la Universidad de Columbia, es uno de los fundadores de la Teoría de las Supercuerdas, también llamada teoría del "Todo" por su supuesta capacidad para explicar completamente los atributos de las partículas fundamentales del Universo e integrar en un único cuadro, apasionada ambición de Einstein, las fuerzas físicas conocidas hasta hoy por el hombre. Greene se ha esforzado en "traducir" las complejas nociones que emergen de considerar un mundo de n -dimensiones que no atrapan nuestros sentidos, a símiles comprensibles.

Ha defendido también la hipótesis que esta teoría no puede considerarse que agote los enigmas de la naturaleza y detenga el desarrollo del conocimiento científico.

La desintegración radiactiva y la teoría del átomo nuclear

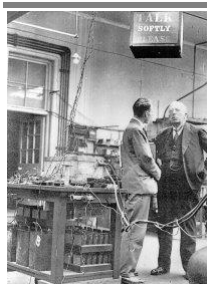
A continuación intentaremos llevar a cabo un breve recorrido por aquellos descubrimientos trascendentes de la estructura nuclear del átomo. Al hacerlo revelaremos el protagonismo de hombres de ciencias e instituciones élites en momentos cruciales vividos por la humanidad, asistiendo a conflictos de género, peligros de subsistencia, compromisos políticos, y en fin al drama de las ideas que los acompañó.

Casi desde estos primeros momentos comenzaron las tentativas por describir un modelo atómico. J.J. Thomson concibe inicialmente la carga positiva distribuida uniformemente por todo el átomo mientras los electrones en número que compensaba esta carga se encuentran en el interior de esta nube positiva. Un año más tarde, supone a los electrones en movimiento de tipo oscilatorio alrededor de ciertas posiciones de equilibrio dentro de la carga positiva distribuida en una esfera.

Luego de otros intentos para describir un modelo atómico que explicara el espectro de rayas y de bandas y el fenómeno de la radioactividad, aparece en 1911 la publicación del físico neozelandés Ernest Rutherford (1872 – 1937) "La dispersión por parte de la materia, de las partículas alfa y beta, y la estructura del átomo" en la que propone el modelo nuclear del átomo. Según Rutherford la carga positiva y prácticamente la masa del átomo se confinan en una porción muy reducida, 104 veces menor que las dimensiones del átomo, mientras los electrones quedan

alojados en una envoltura extranuclear difusa. La carga positiva nuclear es igual a Ze , siendo e , la carga del electrón y Z aproximadamente la mitad del peso atómico.

Rutherford fue más allá y en diciembre de 1913 expone la hipótesis de que la carga nuclear es una constante fundamental que determina las propiedades químicas del átomo. Esta conjetura fue plenamente confirmada por su discípulo H. Moseley (1887 – 1915), quien demuestra experimentalmente la existencia en el átomo de una magnitud fundamental que se incrementa en una unidad al pasar al elemento siguiente en la Tabla Periódica. Esto puede explicarse si se admite que el número de orden del elemento en el sistema periódico, el número atómico, es igual a la carga nuclear.



Rutherford fue director del Laboratorio de Cavendish en Cambridge, desde dónde condujo o dirigió trascendentales estudios sobre la estructura atómica. Entre sus predicciones, que experimentalmente comprobaría su discípulo James Chadwick más de diez años después, se encuentra la existencia de las partículas nucleares llamadas neutrones. En plena guerra fría de los años 60 los balcones ordenaron el desarrollo de la tristemente célebre bomba de neutrones. Ella exhibía la maquiavélica virtud de solo exterminar a los hombres en tanto dejaba intactas las edificaciones. La espiral de la irracionalidad belicista se anotaba otro alarmante éxito.



Henry Moseley (1887-1915), discípulo de Rutherford, desarrolló brillantemente la aplicación de los espectros de rayos X al estudio de la estructura atómica y arribó a una nueva formulación de la ley periódica de los elementos químicos 50 años después de Mendeleev. La carga nuclear y no la masa atómica era la propiedad clave para explicar la periodicidad de las propiedades de los elementos químicos. No había cumplido aún los treinta años cuando muere en los campos de batalla de la Primera Guerra Mundial, tras enrolarse en la Royal Army. Otra vez la guerra cegaba la vida de un científico. ¿Cuántas vidas irrepetibles se han perdido?

Durante este primer período la atención de la mayor parte de la vanguardia de los físicos teóricos se concentraba en extender los razonamientos cuánticos iniciados por Planck; mientras, la construcción de un modelo para el núcleo atómico era un problema relativamente relegado y frente al cual se levantaban enormes obstáculos teóricos y prácticos. Rutherford sugirió desde sus primeras investigaciones que muy probablemente el núcleo estaría constituido por las partículas alfa emitidas durante la desintegración radioactiva. Ya para entonces el propio Rutherford había cuidadosamente comprobado que las partículas alfa correspondían a núcleos del Helio, es decir, partículas de carga $+2$ y masa 4. Otra línea de pensamiento conducía a suponer que los electrones (partículas beta) emitidos durante la desintegración radioactiva eran lanzados desde el mismo núcleo.

Frederick Soddy (1877 –1956), uno de los primeros y más sobresalientes radioquímicos, premio Nobel en 1921, al pretender ubicar el creciente número de productos de la desintegración radioactiva en la Tabla Periódica colocó los elementos que mostraban propiedades químicas idénticas en la misma posición aunque presentaran diferentes masas atómicas. Al hacerlo estaba ignorando la ley de Mendeleev y modificando el propio concepto de elemento químico. Ahora surgía una nueva categoría para los átomos, el concepto de isótopos (del griego iso: único, topo: lugar). Poco después, el descubrimiento de Moseley apoyaría su decisión, al demostrar que la propiedad fundamental determinante de las propiedades químicas y de la propia identidad de los átomos era la carga nuclear.

Con la Primera Guerra Mundial se levantaron obstáculos para el progreso de los estudios fundamentales recién iniciados, quedarían interrumpidos los intercambios científicos, detenidas las publicaciones, el campo de acción de las investigaciones desplazado a la práctica de la tecnología militar.

Pero en Berlín una pareja de investigadores, Lise Meitner (1879 – 1968) y Otto Hahn (1878 – 1968), una física y un químico, venían investigando sobre el aislamiento y la identificación de radioelementos y de productos de la desintegración radioactiva. Ante el alistamiento de Hahn en

el ejército para llevar a cabo estudios vinculados con la naciente guerra química, Meitner continúa las investigaciones y descubre en 1918 el protactinio.



Egresado de una de las Universidades más antiguas de América, la Universidad Mayor de San Marcos, el científico peruano Santiago Antúnez de Mayolo (1909-1967), merece un reconocimiento mayor de su obra. Existen las referencias de que Antúnez, ocho años antes del descubrimiento de Chadwick, predijo la existencia del neutrón en el III Congreso Científico Hispanoamericano celebrado en Lima en 1924. El apoyo oficial necesario para que el profesor peruano presentara sus resultados en Europa y alcanzaran "visibilidad" no llegó a tiempo y es preciso reivindicar, al menos en el ámbito hispanoamericano, su mérito histórico.

Perú le rinde tributo al fundar la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" en su Departamento natal de Huaraz.

En 1919, Rutherford, que encabeza a partir de este año el laboratorio Cavendish en Cambridge, al estudiar el bombardeo con partículas alfa sobre átomos de nitrógeno, descubre la emisión de una nueva partícula, positiva, y evidentemente responsable de la carga nuclear del átomo, los protones. La existencia en el núcleo de partículas positivas y de los electrones emitidos como radiaciones beta, llevó a este relevante investigador a concebir una partícula que constituyese una formación neutral, un doblete comprendido como una unión estrecha de un protón y un electrón, el neutrón. Durante más de 10 años Rutherford y su principal asistente James Chadwick (1891 – 1974) intentaron en vano demostrar experimentalmente la existencia del neutrón.

Las señales alentadoras vendrían de París, del laboratorio de los Joliot. Jean Frederick (1900 – 1958) e Irene Joliot- Curie (1897 – 1956) reportaron en 1932 que al bombardear con partículas alfa, provenientes de una fuente de polonio, átomos de berilio se producía una radiación de alto poder de penetración, nombrada originalmente "la radiación del berilio", que ellos asociaron a rayos γ . Pero Chadwick no compartió este supuesto y procedió a verificar que estas partículas eran los escurridizos neutrones. Chadwick fue acreditado para la Historia como el descubridor de los neutrones.

La nueva oportunidad que se les presentó dos años más tarde a los Joliot fue esta vez convenientemente aprovechada. En 1928 Paúl Dirac (1902-1984) había predicho la existencia de la antipartícula del electrón, el positrón, que cuatro años después, experimentalmente descubre el físico norteamericano C. Anderson (1905 – 1991). Ellos encontraron que al bombardear aluminio con partículas alfa, la emisión de positrones continuaba después de retirar la fuente de plutonio, y además el blanco continuaba emitiendo conforme a la ley exponencial de la descomposición de radionúclidos. Se había descubierto la radioactividad artificial.

Inmediatamente después del descubrimiento del neutrón, W.Heinseberg propone el modelo del núcleo del protón – neutrón. Conforme con este modelo los isótopos descubiertos por Soddy se distinguen sólo por el número de neutrones presentes en el núcleo. Este modelo se verificó minuciosamente y obtuvo una aprobación universal de la comunidad científica. Algunos cálculos preliminares estimaron la densidad del núcleo en $\sim 10^{12} \text{ kg/m}^3$, lo cual es un valor enorme.



Frederic Joliot e Irene Curie constituyen una pareja que logra asaltar el Olimpo de la ciencias. Comparten el premio Nobel de Química de 1935 por el descubrimiento de la radioactividad artificial. Frederic merece algo más que la frase común de ser "un hombre de una intensa actividad pública". Su adhesión a la heroica Resistencia francesa contra la ocupación nazi y su consagrada lucha por la paz, lo convierten en un paradigma de hombre de ciencias comprometido con las causas más nobles de su época.

Por otra parte, la presencia de los protones, partículas cargadas positivamente, confinadas a distancias del orden de las dimensiones del núcleo $\sim 10^{-15} \text{ m}$ implicaba la existencia de fuerzas de repulsión coulombianas (de origen electrostático) gigantescas, que deberían ser compensadas por

algún otro tipo de fuerza de atracción para mantenerlas no solo unidas, sino con una cohesión tal que su densidad tuviera los valores antes citados. Estas son las fuerzas nucleares, las cuales son de corto alcance, muestran independencia respecto a la carga (ya que actúan por igual entre protones que entre neutrones) y presentan saturación dado que un nucleón solo interactúa con un número limitado de nucleones.

La naturaleza de este nuevo tipo de fuerza, que se añadía a las conocidas anteriormente fuerzas gravitacionales y electromagnéticas, fue considerada como el tipo de intercambio, un nuevo concepto cuántico que involucra en la interacción entre nucleones el intercambio de una tercera partícula. En 1934 los científicos soviéticos Ígor Y. Tamm (1895-1971), premio Nobel de 1958 y el profesor Dmitri D. Ivanenko (1904- 1994) intentaron describir las fuerzas nucleares como fuerzas de intercambio en que las dos partículas interactúan por medio de una tercera que intercambian continuamente. Ellos además comprobaron que no se podía explicar las fuerzas nucleares mediante el intercambio de ninguna de las partículas conocidas en aquel momento.

En 1935 el físico japonés Hideki Yukawa dio una respuesta a este problema al suponer que ese intercambio se realiza mediante una nueva partícula: el mesón. En los dos años que siguieron se detectaron primero por Carl Anderson y luego por el británico Cecil Powell (1903 – 1969) partículas con similares características en los rayos cósmicos.

Conjuntamente con el descubrimiento de las diferentes partículas constitutivas del núcleo fue surgiendo la necesaria pregunta de cuál era la estructura del mismo, o sea, de qué manera pudieran estar dispuestos los nucleones y así surgieron los primeros modelos del núcleo. Entre estos vale la pena citar el modelo de la gota líquida y el modelo de las capas.

Cada uno de estos modelos se fundamenta en determinados resultados experimentales y logra explicar algunas de las características del núcleo. Por ejemplo, el modelo de la gota líquida se apoya en la analogía entre las fuerzas nucleares y las que se ejercen entre las moléculas de un líquido puesto que ambas presentan saturación. A partir del mismo se puede calcular la energía de enlace por nucleón teniendo en cuenta la energía volumétrica, la de tensión superficial y la de repulsión coulombiana, la cual tiene un aspecto similar a la curva experimental. Sin embargo, no puede explicar los picos que tiene dicha curva para los núcleos de elementos tales como el He, C, O, Ca, etc.



Tres pioneros de la física nuclear, Yukawa, Powel, y Joliot-Curie, firmaron el Manifiesto de Londres en 1955, que encabezado por Russel y Einstein convocaba a un Congreso Internacional de los hombres de ciencia para impedir que la loca carrera armamentista que se avecinaba pudiera incluir las armas nucleares con su poder devastador. El Congreso de Pugwash en 1957 reunió a 22 científicos de la élite mundial que reclamaron de los políticos la prohibición de continuar las investigaciones del núcleo con fines militares.

El modelo de la capas admite que el núcleo posee una estructura energética de niveles semejante a la estructura de capas electrónicas del átomo. En este sentido reproduce el esquema atómico para el núcleo. Este modelo explica satisfactoriamente la existencia de los números "mágicos", que corresponden al número total de nucleones de los núcleos más estables: 2, 8, 20, 50, 82 y 126. También justifica adecuadamente el valor de los espines nucleares, las grandes diferencias entre los períodos de semi-desintegración de los núcleos alfa-radiactivos, la radiación gamma, etc. No obstante, los valores de los momentos magnéticos muestran discrepancias con los valores experimentales.

Otros modelos nucleares más desarrollados han sido concebidos de manera que tienen en cuenta elementos de los anteriores y en este sentido resulta su síntesis. Es preciso aclarar que aún en la actualidad no existe un modelo universal del núcleo capaz de explicar todas sus características.

Sin embargo numerosas interrogantes quedaban en pie, entre otras flotaba la pregunta: ¿de dónde proceden los electrones resultantes de la desintegración radiactiva beta? Para responder a esta pregunta el eminente físico teórico suizo Wolfgang Pauli (1900 – 1978) supuso, en el propio 1932, que durante la desintegración beta junto con los electrones se emite otra partícula que acompaña la conversión del neutrón en un protón y un electrón y que porta la energía correspondiente al defecto de masa observado según la ecuación relativista de Einstein. Lo trascendente en la hipótesis de Pauli es que semejante partícula, necesaria para que el proceso obedeciera la ley de conservación y transformación de la energía, no presentaba carga ni masa en reposo.

Esta vez fueron 24 años, la espera necesaria para que la partícula postulada por Pauli y bautizada por Enrico Fermi (1901 - 1954) con el nombre de neutrino, fuera observada mediante experimentos indirectos conducidos de modo irrefutable por el físico norteamericano F. Reines (1918 -). Con este descubrimiento se respaldaba la teoría desarrollada por Fermi sobre la desintegración beta y las llamadas fuerzas de interacción débil entre las partículas nucleares.

Pero antes de esta espectacular verificación de la teoría, aún en la memorable y triste década de los 30, el propio Fermi y su grupo de la Universidad de Roma, inició el camino hacia la fisión nuclear, considerando por el contrario que se dirigía hacia el descubrimiento de nuevos elementos más pesados.



La perseverancia y la imaginación premiaron al equipo liderado por el científico japonés Masatoshi Koshiba que en 1987 pudo identificar neutrinos, provenientes de la explosión de una supernova. Para ello debió emplear un tanque gigantesco lleno de agua, ubicado en la profundidad de una mina japonesa hasta donde lograban llegar estas partículas de alto poder de penetración. Los neutrinos al incidir sobre el agua interactuaban y se liberaba un pequeño flash de luz, que podía ser capturado por componentes del detector. Se confirmaban los resultados acopiados durante tres décadas por el astrofísico estadounidense Raymond Davis (1914-2006).

La academia sueca consideró la tarea conducida por estos investigadores "más difícil que encontrar un grano particular de arena en el desierto de Sabara" y les concedió el premio Nobel de Física, compartido, en el 2000.

En 1934 Fermi y sus colaboradores, pensando en la mayor facilidad que debían tener los neutrones para penetrar en los núcleos respecto a las partículas alfa, bombardearon diferentes sustancias con neutrones. Apoyándose en los resultados anteriores, usaban en calidad de fuente de neutrones una ampolla de vidrio que contenía una mezcla de berilio y gas radón, el cual se conocía como emisor de partículas alfa. Ellos investigaron 60 elementos, de los cuales 40 resultaron radiactivos luego del bombardeo con neutrones.

En Berlín, un equipo de investigación compuesto por Otto Hahn (1879-1968), Fritz Strassmann (1902 – 1980) y Lise Meitner (1878 -1968), pretendió verificar los estudios del grupo de Roma e inició el bombardeo de átomos de uranio con neutrones, esperando poder descubrir nuevos elementos más pesados. En vez de esto, a finales de 1938, Hahn y Strassmann (la Meitner había sido clandestinamente sacada de Alemania ya que peligraba su integridad por su origen judío) descubren no un elemento más pesado como resultado del bombardeo nuclear del uranio sino un elemento más ligero, llamado bario.

Sin poder darles una explicación, envían estos resultados inmediatamente a Meitner, entonces en Estocolmo, donde ella y su sobrino, el físico Otto Frisch (1904 – 1979), investigaron el misterio. Llegaron a la conclusión de que el núcleo del uranio, en vez de emitir una partícula o un pequeño grupo de partículas como se suponía, se rompía en dos fragmentes ligeros, cuyas masas, unidas, pesaban menos que el núcleo original del uranio. El defecto de masa, según la ecuación de Einstein, podía aparecer en forma de energía cinética de los fragmentos y factible de transformarse a su vez en calor por frenado de los mismos transformarse en energía.

Dos años después, en la Universidad de Berkeley, California, un grupo de jóvenes científicos demostraron que algunos átomos de uranio, en vez de dividirse, absorbían los neutrones y se convertían en las sustancias que había predicho Fermi. Los investigadores de Berkeley, Edwin McMillan (1907 – 1991) y Philip Hauge Abelson (1913 – 2004) realizaron experimentos en los que obtuvieron un elemento que poseía un protón más que el uranio, de modo que su número atómico era 93. Se le llamó Neptunio, por el planeta Neptuno, más allá de Urano. Luego, Glenn Seaborg (1912 – 1999) dirigió un colectivo del propio Berkeley, que demostró la conversión de los átomos de Neptunio en un elemento cuyo número atómico era 94. Este elemento fue llamado Plutonio recordando al último planeta de nuestro sistema solar. El primer isótopo descubierto fue el Plutonio 238. Un segundo isótopo, el plutonio 239, resultó ser tres veces más fisionable que el Uranio 235 (el material que finalmente se utilizó en la bomba de Hiroshima). En teoría, 300 gramos podían generar una carga explosiva equivalente a 20.000 toneladas de TNT.



En el otoño de 1907 empezó una fructífera colaboración entre Otto Hahn y Lise Meitner. Por entonces, Hahn laboraba en el Instituto Fischer de Berlín y para ingresar a Meitner, por su condición de mujer, tuvo que solicitar una autorización especial. Luego continuaron en el pequeño departamento de radiación del Instituto de Química de la Sociedad Kaiser Guillermo inaugurado en 1912, hasta 1938. Entonces, por su origen judío, la austriaca Meitner, se vio obligada a emigrar a Suecia. El resto es conocido, Hahn descubre las condiciones en que el núcleo de uranio se escinde; la propia Meitner con su sobrino Otto Frisch, desde Estocolmo, se encargan de apoyarlo en la interpretación física del fenómeno. Pero Meitner, que acuñó el término de "fisión nuclear", es despojada de todo reconocimiento sobre el fabuloso descubrimiento.

En octubre de 1942, un equipo de científicos dirigido por Fermi empezó a construir una pila atómica (uranio colocado entre ladrillos de grafito puro) bajo las gradas de un estadio en la Universidad de Chicago. La investigación formaba parte del proyecto Manhattan para la fabricación de la bomba atómica y pretendía demostrar que los neutrones liberados en la fisión de un átomo de uranio podían "disparar" un mecanismo en cadena que generaría una enorme cantidad de energía. La pila atómica de Fermi es precursora de los reactores termonucleares para generar energía eléctrica. Una nueva fuente energética plantearía nuevos desafíos.

El empleo de la energía nuclear y la posición de la mayoría de la comunidad científica

Nueve años después de inventada la pila atómica, y a seis años del holocausto de Hiroshima y Nagasaki, científicos estadounidenses emplearon por primera vez la tecnología nuclear para generar electricidad. En 1951, bajo la supervisión de la Comisión de Energía Atómica se iniciaron las pruebas del funcionamiento de un reactor nuclear experimental instalado en una central eléctrica construida por los Laboratorios Nacionales Argonne en Idaho. El reactor experimental produjo energía suficiente para poner en funcionamiento su propio sistema de puesta en marcha; como llegaría a ser común en todas las plantas de energía atómica, el calor del núcleo haría hervir agua y el vapor impulsaría una turbina.

En 1954, los soviéticos abrieron la primera planta nuclear civil en Obninsk. La planta fue capaz de generar sólo 5 MW de energía eléctrica. La planta civil de Calder Hall representó la inauguración del programa nuclear británico en 1956. Pero la primera planta electronuclear comercial fue levantada en 1957 por la compañía Westinghouse en Shippingport, Pensilvania. Pronto empezaron a funcionar centrales nucleares en todo el mundo. Al finalizar la centuria las más de 400 centrales nucleares instaladas en 18 países generaban casi la quinta parte de la producción mundial, que se había decuplicado en la segunda mitad del siglo superando la astronómica cifra de 10 billones de kWh. Francia, líder mundial, producía el 75% de su generación eléctrica en plantas nucleares.



Enrico Fermi había mostrado virtudes relevantes como físico teórico y como investigador experimental liderando el grupo de la Universidad de Roma hasta que emigró de la Italia fascista hacia EEUU para evitar el sufrimiento de su esposa de origen judío. En la Universidad de Chicago, como parte del proyecto Manhattan, inventó la manera de controlar la reacción de fisión nuclear. La pila atómica de Fermi es precursora de los reactores termonucleares para generar energía eléctrica. Una nueva fuente energética plantearía nuevos desafíos.

Fermi se opuso al desarrollo de los armamentos nucleares en la posguerra y su trágica desaparición, víctima de un cáncer cuando apenas cumplía los 53 años fue una sensible pérdida para la ciencia.

Pero las predicciones de un futuro impulsado por energía atómica resultaron poco realistas. Las centrales nucleares, caras de construir y de mantener, también resultan peligrosas por los residuos radiactivos y la posibilidad de accidentes catastróficos. Entretanto las grandes potencias se esfuerzan por lograr el monopolio de la energía nuclear, preocupadas por el posible desarrollo paralelo de la tecnología nuclear con fines militares, sin dedicar los recursos necesarios para las búsquedas de fuentes alternativas de energía que den solución, no a los proyectos de un modelo neoliberal basado en las leyes del mercado, sino al hambre energética que experimentan vastas zonas del planeta.

Por lo menos cuatro accidentes principales han sido registrados en las plantas nucleares. En todos se reporta como causa una combinación de errores humanos (como factor principal) con fallas en el diseño de los equipos. La Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA) ha implantado una escala para categorizar la magnitud de los accidentes (conocida por sus siglas INES) en siete niveles. La categoría máxima está representada por un accidente de consecuencias comparables al ocurrido en la Central de Chernóbil.

Resulta sorprendente que en los diferentes informes sobre la catástrofe se acepte la increíble versión de que se sumaran tantas negligencias para desatar la tragedia. Primero, el equipo que operaba en la planta el día del accidente, se propuso, con la intención de aumentar la seguridad del reactor, realizar un experimento a un régimen de baja potencia, que exigía desconectar el sistema de regulación de la potencia, el sistema de emergencia refrigerante del núcleo y otros sistemas de protección. Segundo, los operadores quedaron responsabilizados con la manipulación de las barras de control del reactor y de las 30 barras de la aleación de acero al boro que debieron permanecer bajadas, según establecen como mínimo las reglas de seguridad, sólo quedaron introducidas en el núcleo 8 de ellas. Casi cuatro horas después de iniciada "la experiencia", en la sala de control se dio la señal de alarma de que el reactor experimentaba una subida de potencia extremadamente rápida. Se ordenó bajar de inmediato las barras de moderación pero cumplir el mandato exigió "liberarlas" pues el sistema de descenso no funcionó, y entonces sobrevino la explosión que levantó por los aires el techo de 100 t del reactor provocando un incendio en la planta y lanzando una gigantesca emisión a la atmósfera de productos de fisión.

Las consecuencias del "accidente nuclear" han sido evaluadas de muy diferentes maneras por distintas fuentes. Ha quedado reconocido que 31 personas murieron en el momento del accidente, alrededor de 350.000 personas tuvieron que ser evacuadas de los 155.000 km² afectados, permaneciendo extensas áreas deshabitadas durante muchos años. La radiación se extendió a la mayor parte de Europa, permaneciendo los índices de radiactividad en niveles peligrosos durante varios días. Se estima que se liberó unas 500 veces la radiación de la bomba atómica arrojada en Hiroshima en 1945.

En septiembre de 2005, el borrador del informe del Fórum de Chernobyl (en el que participan entre otros el OIEA, la OMS y los gobiernos de Bielorrusia, Rusia y Ucrania) se predicen 4000 muertes entre las 600.000 personas que recibieron las mayores dosis de radiación. La versión completa del informe de la OMS, publicado en 2006, incluye la predicción de otras 5000 víctimas en áreas significativamente contaminadas de Bielorus, Rusia y Ucrania, con lo que se alcanzarían las 9000 víctimas de cáncer. Esta cifra coincide con la estimación admitida por la Agencia Cubana de Prensa (ACP) que fija entre ocho mil y 10 mil las víctimas, mientras otras 500 mil podrán

afectarse por diversos cánceres en los próximos 10 años, muchos de ellos muy lejos del área del accidente.



El 26 de abril de 1986 a las 1:23 horas, explotó el reactor número 4 de la central nuclear de Chernobil. La catástrofe fue el resultado de la combinación de fallas técnicas, de diseño de la planta y sobre todo de errores humanos. Enormes cantidades de material radioactivo fueron lanzadas a la atmósfera contaminando grandes extensiones de Bielorrusia, la Federación Rusa y Ucrania. Las nubes trasladaron el polvo radiactivo hacia vastas regiones del norte europeo. Los modelos matemáticos anunciaron que un incremento no menor al 20% en la tasa normal de cáncer sufrirán los 135.000 habitantes de los alrededores que recibieron una dosis alta de radiaciones.

Al informarse sobre la catástrofe varias naciones ofrecieron ayuda humanitaria inmediata a los afectados, además de realizar promesas a largo plazo, que nunca cumplieron. Solo Cuba ha mantenido desde 1990, sin ningún apoyo financiero de institución internacional alguna, un programa de socorro para las víctimas de este accidente nuclear. El sistema de salud de Cuba ha atendido a 18 153 pequeños de Ucrania y Bielorus con diversas enfermedades y ha acogido además a 3 427 adultos acompañantes. Más de 300 infantes con padecimientos hematológicos, 136 con tumores y 1 552 con afecciones dermatológicas, han recibido tratamiento. Se han realizado 14 operaciones cardiovasculares y seis trasplantes de médula ósea. Un por ciento alto de los niños de Chernobyl atendidos en Cuba provienen de orfanatos y escuelas para niños sin amparo filial.

En el peligroso polo del desarrollo de las armas nucleares también se vieron envueltos eminentes físicos y radioquímicos. A fines de los años 30 el panorama de la 2da Guerra Mundial se presentaba muy complicado. El odioso Reichstag alemán había amenazado con estar desarrollando un arma de potencia desconocida que rendiría a la humanidad a los pies del nazifascismo.



Durante las décadas del 20 al 40 el profesor sueco en física-médica Rolf M. Sievert (1896 – 1966) hizo las más importantes contribuciones al campo de la física clínica. En particular a la solución de los problemas físicos relacionados con el empleo de la radiación en la diagnosis y la terapia. Sievert desarrolló las bases de como calcular la dosis absorbida para los tumores, nuevos equipos para la irradiación de pacientes, e instrumentos de medición de dosis, entre ellos la mundialmente conocida cámara que lleva su nombre.

A este científico se debe la determinación de los efectos biológicos de la radiación ionizante, con particular énfasis en los efectos que las dosis bajas de radiación ionizante recibida por los radiólogos en su trabajo diario. Hasta su muerte en 1964, Sievert jugó un rol muy activo en la cooperación internacional en el campo de protección y de la medición de las dosis de radiación. En 1979, la Comisión General de Pesos y Medidas aprobó que la unidad para una dosis de radiación ionizante equivalente llevara su nombre (sievert, Sv).

En 1939 Einstein junto con otros físicos envió una carta al presidente Roosevelt solicitando el desarrollo de un programa de investigación que garantizara el liderazgo de los aliados en la construcción del arma atómica. Científicos de diferentes generaciones y países concurrieron a la convocatoria del Proyecto Manhattan, para producir el arma atómica antes de que el eje nazifascista pudiera obtenerla. Al finalizar la guerra, el profundo carácter humanista y la inteligente pupila de la mayoría de estos científicos quedaron revelados por la firme oposición mostrada a la continuación de las investigaciones en el arma nuclear.

Desde 1942, Julius R. Oppenheimer (1904 – 1967), físico norteamericano, de origen judío, actúa como director científico del Proyecto Manhattan para la fabricación de la bomba atómica. Formado en los momentos de esplendor de la Universidad de Gottinga al lado de físicos de la talla de su mentor James Franck (1882- 1964), y su colega Eugene Rabinovitch (1903 -1973),

.Oppenheimer mostró una incuestionable capacidad de liderazgo en el círculo de científicos participantes del proyecto. Estimuló una atmósfera de confianza y respeto que produjo enormes progresos. Con consagración se mantuvo al frente del complejo proyecto, aunque su vida privada se resintió enormemente.

Toda una red de establecimientos investigativos, en particular de universidades estadounidenses, y de instalaciones especialmente diseñadas para este propósito se compartieron las tareas del Proyecto Manhattan. Dentro de esta comunidad científica multinacional se destacaba el colectivo estadounidense que creció alrededor del Colegio de Química y del Laboratorio de Radiación de la Universidad de California en Berkeley, y jugó un papel extraordinario en el descubrimiento de radioisótopos y elementos transuránicos, su aplicación en nuevos dominios de la ciencia y la técnica, y también en el desarrollo del arma nuclear.

Durante este período, Seaborg era ya uno de los más brillantes radioquímicos de la época, y según se comentó brevemente arriba, dirigió el colectivo que se enfrascó con éxito en la obtención del material nuclear fisionable. En febrero de 1941, continuó los estudios sobre la fusión nuclear iniciados por McMillan, reclamado en ese momento para investigaciones relacionadas con la guerra, en el nuevo ciclotrón del laboratorio de radiación y descubrió que el Plutonio-239 es fisionable con neutrones lentos producidos en el ciclotrón de 37 pulgadas. Esto demostraba la utilidad del plutonio como componente explosivo en el arma nuclear y lo más importante abría paso al uso del uranio como combustible nuclear para reactores generadores de la energía necesitada por el mundo.



Leo Szilard (1898 - 1964), físico de origen húngaro, fue uno de los personajes que tiene la enorme responsabilidad de haber persuadido a Einstein para alentar en Roosevelt el desarrollo de un programa para la fabricación del arma atómica. Más tarde, formó parte del contingente científico del proyecto Manhattan y junto a Fermi en la Universidad de Chicago, comparte el honor de haber sido coautor de la primera reacción nuclear en cadena. Condenó enérgicamente el lanzamiento de las bombas en Hiroshima y Nagasaki y posteriormente fue un ferviente partidario de la destrucción del arma nuclear.

En 1946 detuvo sus investigaciones en el campo nuclear y se reorientó hacia la biofísica.

Casi veinte años más tarde Seaborg intervino de forma relevante en la redacción del Tratado para la Prohibición de Pruebas Nucleares de 1963, cuyo fin era prohibir los ensayos nucleares en el espacio, la atmósfera o bajo las aguas.

Pero apenas a dos meses antes del lanzamiento de la bomba atómica en Hiroshima el secretario de la guerra de EU recibió un documento firmado por científicos de las investigaciones conducidas en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad de Chicago, que pasó a la historia como "Franck Report". Entre los firmantes se encontraba Seaborg, y lo encabeza el jefe de la división de Química, el físico y químico alemán, naturalizado en los EU, James Franck (1882-1964).

El copioso documento intenta frenar el lanzamiento de la bomba atómica de forma unilateral por los EU. Su sumario parece redactado más que por científicos por políticos profundos y sensatos que comprendieron, amén de la tragedia que le tocaría vivir a las víctimas de semejante engendro destructivo, el espectro de la guerra fría y el clima de recelos mutuos que se entronizarían en las relaciones internacionales a partir de este momento. Leamos a continuación los convincentes argumentos sintetizados en los últimos párrafos del reporte:

"Nosotros creemos que estas consideraciones hacen el uso de las bombas nucleares inadmisibles si antes no se anuncia el terrible poder destructivo de esta arma, que con menos de una tonelada, es capaz de arrasarse un área urbana de más de 10 millas cuadradas y cuyos efectos a largo plazo no conoce la humanidad.

Si los EEUU fueran los primeros en lanzar este nuevo medio de indiscriminada destrucción sobre el género humano, con seguridad estaríamos sacrificando el apoyo público internacional, precipitaríamos la carrera armamentista y perjudicaría la posibilidad de alcanzar un acuerdo internacional sobre el control futuro de tales armas.

Si el gobierno decidiera a favor de una demostración previa de las armas nucleares, entonces tendría la posibilidad de tomar en cuenta la opinión pública de este país y de otras naciones antes de decidir si estas armas deben ser usadas contra el Japón. De esta manera otras naciones podrían compartir la responsabilidad de tan fatal decisión.



El físico alemán, naturalizado en EU, James Franck (1882- 1964), es en los años del esplendor de Gotinga como plaza fuerte de la Física Cuántica, mentor que inspiró a un círculo de colaboradores entre los que se encontraban: Patrick J. Blackett (1897- 1974), Julios R. Oppenheimer y Eugene Rabinovitch. En 1925, comparte el premio Nobel con Gustav Hertz (1887-1975) por sus investigaciones conjuntas que significaron una prueba experimental de la teoría atómica desarrollada por Bohr.

El profesor Franck fue uno de los primeros que se manifestó abiertamente contra las leyes raciales en Alemania y renunció a su cátedra en la Universidad de Gotinga en 1933 como una protesta contra el régimen nazi. Más tarde en 1945 se unió a un grupo de científicos del Proyecto Manhattan para preparar el renombrado Franck Report dirigido al Departamento de la Guerra, urgiendo a que EU no lanzara la bomba atómica contra Japón, y denunciando la peligrosa carrera armamentista que se desataría a partir de este momento.

Nosotros urgimos que el uso de las bombas nucleares en esta guerra sea considerada como un problema de la política nacional estratégica mas que una decisión evaluada desde posiciones militares y que esta política sea dirigida al alcance de un acuerdo que permita un control internacional efectivo de los medios de la guerra nuclear".

Esta exhortación aunque no alcanza su objetivo principal, ya que en junio de este mismo año la humanidad se despierta aterrorizada ante el holocausto de Hiroshima, queda como un monumento testimonial del rechazo de los científicos al uso de la ciencia para la destrucción e intimidación en los asuntos políticos.

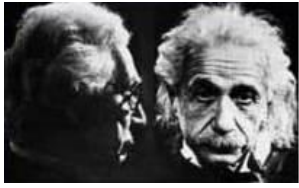
Las terribles consecuencias del lanzamiento de la bomba atómica sirvieron de detonante para estremecer la conciencia de un grupo de científicos que pronto comprendieron la horrible significación de trabajar para el desarrollo del armamento nuclear.

En plena guerra fría, el propio año del fallecimiento de Einstein, se publica el llamamiento a los científicos que pasa la historia como el Manifiesto de Russel – Einstein. No pudo ser más oportuno este aldabonazo para unir las voluntades de científicos de diferentes credos y orientaciones políticas en la lucha por la paz pero diversas circunstancias no hicieron posible el encuentro propuesto hasta 1957, en que el filántropo estadounidense Cyrus Eaton ofreció la villa de Pugwash en Nova Scotia, Canadá, como sede del evento que pasó a la historia como Primera Conferencia del Pugwash. A partir de entonces se inauguró un movimiento a favor de la solución pacífica de los litigios entre naciones que ha tenido una creciente capacidad de convocatoria entre la comunidad científica con el propósito de examinar los problemas más candentes que aquejan a la especie humana.

Una vez detonada la bomba atómica sobre Japón declaró que la humanidad condenaría la fabricación de esta arma. Luego, aunque aceptó la dirección de la Comisión de Energía Atómica (CEA) de los EEUU, se opuso públicamente al nuevo plan para fabricar la bomba H. En 1954, J. Edgar Hoover, director del FBI, redactó un informe para la Casa Blanca apoyando la acusación de que Oppenheimer era un "agente de espionaje". Por esta acusación el comité de seguridad de la CEA, aunque sin hallarlo culpable, lo separó de toda participación en los nuevos proyectos investigativos. En 1963,



cuatro años antes de su muerte fue rehabilitado y la CEA le confirió el premio Enrico Fermi.



El Manifiesto de Einstein-Russell, una urgente convocatoria en plena guerra fría a la comunidad científica para definir las estrategias a seguir con el propósito de librar al planeta del espectro de las armas nucleares, encuentra en Rotblat uno de los firmantes junto a Max Born, Percy Bridgman, Leopold Infeld, Frederic Joliot-Curie, Herman Muller, Cecil Powell, Hideki Yukawa y Linus Pauling.

El último párrafo del manifiesto reza: "Nosotros apelamos como seres humanos a seres humanos. Recuerden su humanidad y olviden el resto. Si puedes hacer esto, el camino quedará abierto para un nuevo paraíso; si no puedes quedará ante ti el riesgo de la muerte universal".

Entre los que mostraron un temprano alistamiento en la causa a favor de la paz y el desarme se encuentra el físico nuclear polaco Joseph Rotblat (1908 - 2005) que apoyó sin reservas este Manifiesto firmado por Einstein dos días antes de su muerte y por otros nueve científicos relevantes en el campo de la Física Nuclear.

Rotblat que había trabajado en el laboratorio de Chadwick en Liverpool en el desarrollo de experimentos básicos para evaluar la factibilidad de fabricar una bomba atómica, se ve enrolado en la delegación británica que asiste en 1941, luego de la entrada de los Estados Unidos en la guerra y la decisión del gobierno de iniciar el Proyecto Manhatann, al Laboratorio de los Álamos, Nuevo México. Se contó entre el grupo de científicos que tan pronto comprendieron que la amenaza fascista había desaparecido, abandonaron inmediatamente el proyecto.

En 1950 Rotblat se traslada al Colegio Medico del Hospital de San Bartolomé de la Universidad de Londres, donde su carrera profesional fue orientada a la aplicación de la Física Nuclear a la Medicina, desarrollando trabajos pioneros en radiología, radioterapia con acelerador lineal, y radiobiología.

Pero la principal contribución de Rotblat al desarrollo de la paz mundial fue la organización de aquel movimiento que naciera del Manifiesto de Russel – Einstein en la pequeña villa de Pugwash. A partir de este momento casi una vez al año se reúnen más de 100 participantes de unos 40 países, principalmente de USA, Rusia y Gran Bretaña con el propósito de evaluar las vías para lograr un mayor entendimiento y viabilizar acuerdos internacionales en materia de regulaciones y prohibiciones de desarrollar nuevas generaciones de armamentos nucleares. Rotblat es durante largos periodos secretario general del movimiento (1957 - 1973), su presidente desde 1988 – 1997 y en 1995 resulta galardonado con el Premio Nobel de la Paz.

Otra gran figura en el activismo a favor de la paz y la comprensión entre los pueblos es el físico – químico estadounidense Linus Pauling (1901- 1994). Su esposa Ava Helen Miller se interesó primero que Pauling por los temas de los derechos humanos, la paz y la prohibición de los ensayos nucleares llegando a ser miembro de la Liga Internacional de Mujeres por la Paz y la Libertad. Pero pronto Linus que era ya un profundo conocedor de la estructura de las moléculas, y de su transmisión a través de la herencia, despertó una honda preocupación por los efectos potenciales malignos de las emisiones nucleares sobre las estructuras de las moléculas humanas.

Desde fines de los cuarenta, Pauling, se afilió al Comité de Emergencia organizado por Einstein entre los científicos atómicos, y sirvió como activista de apoyo de muchas organizaciones por la paz. Intentó demostrar con cálculos la probabilidad de las deformaciones congénitas en las futuras generaciones resultantes de los productos de la fisión nuclear emitidos por las pruebas nucleares, y los publicó; protestó por la producción de la bomba de hidrógeno, abogó por la prevención de la proliferación de las armas nucleares; y promovió la suspensión de las pruebas de armas nucleares, como un primer paso hacia el desarme multilateral. En 1958, Pauling presentó

en Naciones Unidas la petición firmada por más de diez mil científicos de muchas naciones de suspender las pruebas nucleares. Por esto debió rendir cuentas al Comité Senatorial de Seguridad Interna que deseaba obtener los nombres de los científicos firmantes de esta petición. En 1962 recibió su segundo premio Nobel, este por su relevante contribución a la paz mundial. El primero por sus aportaciones a la comprensión de la naturaleza del enlace químico.



Ya a los 30 años Rotblat se desempeña como director asistente del Instituto de Física Nuclear de la Universidad Libre de Varsovia y en el inolvidable 1939 logra una estancia de un año de trabajo en la Universidad de Liverpool para investigar en el laboratorio del profesor James Chadwick. Poco después, las tropas hitlerianas invaden a Polonia dando paso a la 2da Guerra Mundial. Su esposa que debía acompañarlo a Inglaterra tan pronto restableciera su estado de salud, muere a los pocos meses de la ocupación nazi a Varsovia, víctima de las dramáticas condiciones en que fueron hacinados los judíos en el ghetto de la capital polaca.

Supo compartir su larga vida entre una brillante actividad profesional como pionero de la radiobiología con una consagración total a la causa de la paz. En 1995 recibe el Premio Nobel por la Paz.

Muy a pesar de la actividad de los hombres de ciencias por frenar la carrera de las armas y detener los nuevos desarrollos del arma atómica, la lógica de la espiral armamentista había alcanzado al arma nuclear.



Las autoridades rusas se dirigieron al físico soviético Abraham F. Ioffe (1880 -1960) para conducir el programa soviético de fabricación de la bomba atómica. Ioffe en la década de los 30 era toda una autoridad en la Física Nuclear. Al graduarse en 1902 en el Instituto Tecnológico de San Petersburgo había obtenido su doctorado en la Universidad de Munich, trabajando durante dos años en el Laboratorio de Wilhelm Roentgen, y luego de regreso a Rusia, había fomentado la creación de la Escuela Soviética de Física.

Ya con 60 años, Ioffe rechazó la designación y propuso al físico Igor V. Kurchatov (1903 -1960), el constructor del primer ciclotrón soviético, como organizador del proyecto. En agosto de 1953 detonó la primera bomba H soviética. Kurchatov más tarde se dedicó al uso pacífico de la energía nuclear y deploró la continuación de los ensayos atómicos. (En la imagen: Igor Kurchatov)



El estado de plasma caracteriza al conjunto de sobresalientes propiedades que exhiben los gases a altas temperaturas, totalmente ionizados. En 1950, el Premio Nobel soviético Ígor Yevguénievich Tamm (1895-1971) sugirió por primera vez el empleo de un dispositivo que mantuviera la confinación magnética del hidrógeno en estado de plasma para lograr la reacción termonuclear controlada. A pesar de la revolución energética que presupone el dominio de la energía asociada a la fusión nuclear los problemas que deben ser superados son de tal magnitud que medio siglo después continúan las prometedoras investigaciones en este campo.

Cuando el presidente Truman ordena la fabricación de la Bomba H, luego del primer ensayo atómico soviético, se encarga del proyecto al eminente físico de origen húngaro Edward Teller (1908-2003). Teller, que había recibido una formación académica en Alemania y trabajado en Munich en el equipo del propio Heisenberg, emigró hacia Estados Unidos huyendo de la represión de la Alemania fascista. En Estados Unidos se unió al proyecto Manhattan y en Los Álamos se mostró como un defensor entusiasta de la continuación del programa de fabricación de nuevas armas nucleares. Esta vez la conquista se enfilaba a liberar la colosal energía asociada a la fusión nuclear. El 1 de noviembre de 1952 explotaba la primera bomba de hidrógeno (nombrada Mike) con la fuerza equivalente a 500 bombas como la que había destruido a Hiroshima. Desde California, Teller pudo registrar el impacto sísmico que produjo y exclamó alegremente: "Es un chico". Un "chico" que podía cegar la vida de millones de seres...

Como ya apreciamos en el caso de dos personalidades como Szilard y Rotblat, una trascendente orientación de los físicos nucleares se dirigió hacia la solución de problemas en el campo de la biología. Un notable impacto en los estudios de los procesos biológicos tuvo el descubrimiento del isótopo radioactivo del carbono -14 . Pero no solo la biología resultó beneficiada con este

hallazgo, la técnica de datación con el carbono -14 provocó una revolución en los ámbitos de la arqueología, y la geología.

Los autores de este descubrimiento fueron dos jóvenes científicos que en la década del 30 formaron parte de un impresionante staff de físicos y químicos agrupados en torno al joven director del Laboratorio de Radiación de la Universidad de Berkeley, inventor del ciclotrón, Ernest O. Lawrence (1901-1958). Martín D. Kamen (1913-2002) y Samuel Ruben (1913-1943) vieron sus planes inmediatos postergados por su enrolamiento en investigaciones para los servicios de la guerra y, a partir de estos momentos, sufrieron una verdadera tragedia.

El paralelismo en las vidas de Ruben y Kamen supera el marco profesional. Ambos nacieron en 1913. Kamen había nacido en Toronto de padres inmigrantes, la madre de la región del Báltico, el padre de Bielorrusia. Los padres de Ruben eran polacos. En 1936, Kamen había defendido su grado de doctor en la temática de la interacción protones-neutrones en la Universidad de Chicago. Ruben, dos años, después recibió el doctorado por la Universidad de California, Berkeley, y el tema central de su disertación estuvo vinculado con el empleo del fósforo radioactivo como trazador para estudiar procesos biológicos.



La historia profesional de Samuel Ruben se entrelaza con la de su compañero Martin D. Kamen. A partir de 1937 una alianza productiva se establece entre estos dos jóvenes investigadores de áreas complementarias en Berkeley. En 1940 anuncian el descubrimiento del isótopo del carbono -14 que prometía, por su tiempo de vida medio, una nueva época como trazador radioactivo. A la entrada de los E.U. en la II Guerra Mundial, son reclamados por diferentes laboratorios para estudios relacionadas con la guerra y sus vidas profesionales se separan.

Ya no volverían a encontrarse. Ruben muere trágicamente en un accidente de laboratorio que lo hace inhalar una dosis letal de fosgeno apenas con 30 años, Kamen se ve involucrado en acusaciones de filtraciones de información sensible a los soviéticos que le frenan su desarrollo en el momento más fértil de su trayectoria científica. En la imagen: S. Ruben

La razón de su posterior alianza se puede encontrar en los temas hacia dónde dirigieron sus esfuerzos iniciales en la investigación. En 1937, Ed McMillan traslada a esta pareja de jóvenes talentosos de dos áreas complementarias de Berkeley, un encargo de comprobación experimental solicitado por el propio Lawrence. A partir de entonces una tácita división del trabajo opera entre ellos: la producción y caracterización de los isótopos producidos en el ciclotrón sería una responsabilidad de Kamen, mientras su aplicación en la investigación química debía ser tarea de Ruben.

En febrero de 1940, se anunciaba, en ocasión de la ceremonia de entrega oficial del premio Nobel de Física (1939) a E.O. Lawrence el descubrimiento del carbono-14. La valoración del significado trascendental del hallazgo destacaba que por medio del ciclotrón, se había obtenido una nueva forma radioactiva del carbono, probablemente de masa 14 y tiempo de vida media del orden de magnitud de algunos años. Sobre la base de su potencial utilidad es la más importante sustancia radioactiva que haya sido creada. Tenían entonces ambos 27 años. Pronto intervendría EU en la Guerra, y sería reclamada la participación de ellos en estudios relacionados con la actividad bélica.

Ruben fue solicitado por el Comité Nacional de Defensa para un proyecto que se proponía desarrollar métodos para la determinación de la concentración de gases en el ambiente. Durante la manipulación de una ampollita de vidrio defectuosa, cargada con fosgeno, escapó el gas y Ruben debió inhalar una dosis mortal del mismo. Un día después, en el otoño de 1943 murió en el Hospital en que fuera internado.

En este año de la muerte de Ruben, fue enrolado Kamen en las investigaciones del Laboratorio Nacional de Oak Ridge del Proyecto Manhattan. Pero poco después es separado de este laboratorio cuando Kamen especula con sus colegas sobre la existencia de un reactor nuclear en las dependencias de estas instalaciones y esta información, sumamente sensible, llega a los agentes

de seguridad del proyecto. Este suceso es interpretado como una intromisión de Kamen y una inclinación por datos de la seguridad y se decide no sólo su separación del programa sino también someterlo a chequeo personal.



El físico estadounidense Martín D. Kamen conocido por su codescubrimiento del carbono-14 en el Laboratorio de Radiación de Lawrence, junto con su colega del Departamento de Química de Berkeley, Samuel Ruben, sufrió las presiones de la cacería de brujas que le hicieron perder su empleo en Berkeley, afectaron gravemente su prestigio personal por la campaña de la prensa amarilla, y lo llevaron a tal depresión que incluso atentó contra su vida. Perdió años fértiles de su carrera, le prohibieron el intercambio necesario con colegas del extranjero al retirarle el pasaporte y debió resistir todo tipo de presiones.

Kamen cerró sus estudios nucleares en 1947, y realizó importantes contribuciones a la bioquímica de la fotosíntesis con el empleo de radiotrazadores. En 1996 recibió el premio Enrico Fermi por el Departamento de Energía de los EU, tenía entonces 83 años.

Un nuevo incidente se crea al reincorporarse a Berkeley. En el transcurso de una velada musical organizada por su amigo el músico Isaac Stern, al cual acompaña en la viola, conoce a dos oficiales rusos, uno de los cuales le pide a Kamen averigüe sobre como puede un compañero aquejado de leucemia acceder a la nueva terapia radioquímica.

Los agentes del FBI lo chequeaban y esta "relación" con oficiales rusos es de nuevo interpretada como un motivo para levantar un expediente de investigación. Kamen es despedido de su trabajo en Berkeley. El despido de Kamen fue seguido por un año de negaciones a ofertas de trabajo tanto en puestos académicos como de la industria. Es difícil imaginar las ideas perdidas tras la muerte de Ruben y la suerte corrida por Kamen.

En la primavera de 1945 el premio Nobel de Física (1923) Arthur H. Compton (1892 - 1962) lo invita a trabajar en la Escuela de Medicina de la Universidad Washington para conducir el programa del ciclotrón. Sin embargo la enseñanza de la metodología del trazador radioactivo a los profesores y la preparación de materiales radioactivos marcadores para sus investigaciones clínicas, desplazaron el interés de la investigación desde la física nuclear hacia la biofísica. Con la publicación en 1947 de su aclamado texto "Radioactive tracers in Biology", Kamen concluyó su trabajo sobre el C-14.

Kamen debió sufrir en estos años la negativa del Departamento de Estado a concederle el pasaporte que le impedía su participación en las conferencias internacionales a las cuales era invitado en calidad de pionero en el trabajo con trazadores radioactivos. Semejante prohibición se extendió desde 1947 hasta 1955. En 1948, de nuevo soportó las presiones del Comité de Actividades Antiamericanas ante la posibilidad de que hubiera filtrado secretos atómicos a los rusos mientras trabajaba en el proyecto Manhattan. La insostenibilidad de los cargos obligó al Comité a revocarlos pero la marca de espía atómico debió llevarla Kamen aún varios años.



Al concluir la guerra, el profesor del Departamento de Química de Berkeley, Willard Libby se traslada al Instituto de Estudios Nucleares de la Universidad de Chicago y allí descubre en 1947 "el reloj radioactivo" del carbono-14. Su técnica de datación de lapsos grandes es una de las aplicaciones más sobresalientes del isótopo de Kamen-Ruben. Un organismo vivo mantiene un intercambio permanente con el medio y por tanto la concentración del C-14 en su constitución se mantiene constante, pero al morir, el C-14 se desintegra a una velocidad constante de acuerdo con su período de vida media de 5730 años.

La intensidad pues de la radiación emitida por el fósil será una medida de "su edad". Una revolución en la arqueología, antropología y geología deviene de la confiabilidad de esta técnica de datación.

En 1951, según recoge en su autobiografía, "Radiant Science, Dark Politics", comenzó un litigio legal contra la Compañía Tribuna cuyos periódicos lo identificaron en sus páginas de historias

como un científico atómico espía y traidor. Al final, Kamen triunfó, obteniendo una reparación monetaria en el juicio. Pero su rehabilitación ante la historia vino tardíamente ya a los 83 años cuando el Departamento de Energía le confirió el Premio "Enrico Fermi", una de las más altas condecoraciones dadas a los científicos atómicos por el gobierno de los EU.

Algunas tecnologías derivadas de las teorías físicas y su aplicación.

Resumir en breves líneas los extraordinarios progresos alcanzados en el siglo XX en materia de tecnología derivadas de teorías físicas es tarea imposible. Reducimos nuestro propósito a esbozar algunas técnicas de avanzada que emergen de los resultados teóricos más brillantes nacidos y desarrollados en este siglo.

Cuando Roentgen descubre en 1895 los rayos de naturaleza entonces desconocida pero desde ya comprobada su alta capacidad de penetración pronto se aplica para obtener las primeras fotos de los huesos humanos. Su aplicación en Medicina encuentra una rápida difusión y en determinadas circunstancias históricas brilla en esta actividad la célebre Marie Curie. También con relativa rapidez se inaugura una época en que los rayos γ resultan útiles para analizar las sustancias cristalinas o los espectros de emisión de estas radiaciones por los elementos químicos permiten su identificación. Las páginas que siguen abordaran brevemente estos momentos.

Con el propósito de apoyar la candidatura para una plaza vacante en la Academia de Ciencias del eminente físico Edouard Branly (1844-1940), que representaba los valores del conservadurismo francés, la prensa reaccionaria francesa no dudó en dañar la imagen de la insigne científica de origen polaco, Marie Curie. El daño se hizo y la candidatura de Marie fue derrotada en 1910 por dos votos. Un año después a su regreso del Congreso Solvay en Bruselas, debió enfrentar una nueva ronda de odio esta vez "acusada" de sostener relaciones con el destacado físico francés Paul Langevin (1872 – 1946). Poco después recibiría la información de la Academia Nobel de haber recibido un segundo Premio, esta vez en la disciplina de Química. De cualquier forma en los primeros meses de 1912, sufrió primero una fuerte depresión nerviosa y luego debió someterse a una operación de los riñones. Sólo a fines de este año Marie retornó al laboratorio después de casi 14 meses de ausencia. El escándalo había finalizado y la Academia de Ciencias estaba dispuesta a darle la bienvenida a la mujer que había sido dos veces laureada con un premio Nobel.

Pero pronto se pondría a prueba la estatura moral y el patriotismo verdadero que, durante el periodo de la guerra, iba a demostrar Marie por su nación de adopción. Por el otoño de 1914, cuando Alemania declaró la guerra a Francia, la construcción del Instituto de Radio había terminado pero la Curie no había trasladado aún su laboratorio para la nueva edificación. El trabajo del Instituto de Radio podría haber esperado por la restauración de la paz pero la Curie encontró formas de poner su conocimiento científico al servicio del país. En el Instituto de Radio, la Curie entrenó alrededor de 150 mujeres en la técnica de rayos γ que actuaron como asistentes en las unidades radiológicas móviles que fueron llevadas a las líneas del frente. Previamente había encabezado una campaña nacional para adaptar carros de aquellos tiempos como unidades radiológicas móviles que dieran una asistencia inmediata para el tratamiento de los heridos y fracturados en el campo de batalla. El uso de los rayos γ durante la guerra salvó las vidas de muchos heridos y redujo los sufrimientos de los que sufrieron fracturas de todo tipo.

Cuando los servicios radiológicos ya estaban marchando establemente, Curie cambió su atención hacia el servicio de radioterapia. Comenzó entonces a usar una técnica desarrollada en Dublín para colectar radón, un gas radioactivo emitido continuamente por el radio. Trabajando sola y sin una protección adecuada Madame Curie pudo colectar el gas en ampollitas de vidrio selladas que eran así entregadas a los hospitales militares y civiles para que los médicos empleando agujas de platino lo inyectaran en la zona del cuerpo de los pacientes donde la radiación debía destruir el tejido enfermo. Se inauguraba la época de la radioterapia en la medicina.



Bajo la dirección de Marie Curie el Instituto de Radio en París se convirtió en un centro mundial para el estudio de la radioactividad. Entre 1919 y el 1934, año en que fallece la Curie, los científicos del laboratorio publicaron más de 483 artículos y 31 libros y monografías. Hasta el final de su vida ella continuó sus estudios para aislar, purificar y concentrar el polonio y el actinio. Al mismo tiempo su trabajo estuvo íntimamente relacionado con la producción comercial de las sustancias radioactivas y muchas de sus aplicaciones en la ciencia, la industria y la medicina. La pareja científica estelar del Instituto, su hija Irene y su yerno Frederic hicieron en 1934 el trascendental descubrimiento de la radioactividad artificial.

El redescubrimiento de los rayos γ se produjo cuando el físico alemán Max von Laue (1879 – 1960) determina experimentalmente la longitud de onda de los rayos γ al estudiar los espectros de difracción que experimentan las sustancias cristalinas. Otros pioneros en el estudio de la estructura de los cristales mediante sus espectros de difracción de rayos γ fueron los físicos británicos, padre e hijo, William Henry Bragg (1862-1942) y William Lawrence Bragg (1890-1971). El primero fue profesor de Física de universidades inglesas y en el último tramo de su vida profesional ocupó la cátedra de Física de la Universidad de Londres. Su hijo le siguió los pasos en la investigación y juntos desarrollaron trascendentales estudios sobre la estructura cristalina de importantes sustancias del mundo inorgánico demostrando la utilidad de la técnica como herramienta de investigación para confirmar las teorías cristalográficas. En reconocimiento a los logros cosechados compartieron padre e hijo el premio Nobel de Física de 1915. Nunca antes ni después se ha repetido este acontecimiento. William Lawrence fue sucesor en la Universidad de Manchester del físico nuclear Ernest Rutherford y luego funda en Cambridge, en 1938 el laboratorio de Biología Molecular que se destacará en los próximos años por los estudios fundamentales que desarrolla que cubren toda una época.



Continuadora de los trabajos de los Bragg, en este campo brilló la actividad de la físico-química británica Dorothy Crowfoot Hodgkin (1910 – 1994). Desde los años 30 Hodgkin empleó el análisis de rayos X para la determinación de las configuraciones moleculares de la penicilina, la vitamina B-12, la insulina, y proteínas. En todos los casos Dorothy introdujo las últimas innovaciones de la técnica computacional. Padece de artritis reumatoide desde su juventud, por lo que debió sufrir de deformación de las manos y continuos dolores pero a todo esto supo sobreponerse y fue madre de tres hijos, una eminente científica, premio Nobel de Química en 1964, y una destacada activista por la amistad y la paz entre los pueblos.

Otro grande de las primeras décadas en el desarrollo de la espectroscopia de rayos γ fue el físico sueco, primer director del Instituto Nobel de Física Experimental, Karl Manne Georg Siegbahn (1886-1978). Siegbahn no se dedicó a la interpretación de los espectros de difracción sino al análisis de los rayos γ emitidos por los elementos químicos al ser bombardeados por electrones rápidos. En tales casos cada elemento ofrece un espectro de emisión característico. Los espectrómetros construidos por el propio Siegbahn permitían medir y registrar con alta precisión las longitudes de onda emitidas por cada elemento químico. Sus trabajos revelaron información sobre prácticamente todos los elementos químicos, desde el sodio hasta el uranio, lo que facilitó el análisis de sustancias desconocidas y encontraron aplicación en campos tan diversos como la física nuclear, la química, la astrofísica y la medicina.

En artículos publicados en la Revista Journal of Applied Physics de 1963 y 1964 el físico sudafricano, naturalizado en EU, Allan M. Cormack (1924 -1998) expuso los principios de una nueva técnica que aplicaba un barrido multidireccional de rayos γ sobre el paciente para luego reconstruir las imágenes de sus órganos con mayor resolución que las técnicas convencionales. Estos trabajos no llamaron la atención de la comunidad de radiólogos hasta que en 1967 el ingeniero electrónico británico Godfrey N. Hounsfield (1919-2004) sin conocerlos desarrolló el escáner un equipo que bajo el mismo principio propuesto por Cormack iba a representar una de las más importantes invenciones médicas del siglo XX: la tomografía axial computerizada (TAC). Los escáneres se empezaron a utilizar en la década de 1970 y en la actualidad se emplean

en muchos países, sobre todo para diagnosticar el cáncer. La tomografía permite un diagnóstico más preciso al obtener imágenes tridimensionales con una resolución mucho mayor. En 1979 Cormack y Hounsfield compartieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina.



El estudio de las fuentes cósmicas de rayos γ se inició en la segunda mitad del siglo XX. Como uno de los fundadores de la Astronomía de Rayos γ se reconoce al físico italiano Riccardo Giacconi (1931-), premio Nobel de Física 2002. En 1962 Giacconi y un equipo de científicos de la NASA enviaron en un cohete un detector de rayos γ con un objetivo diferente al descubrimiento obtenido: el primer agujero negro se registraba en la constelación Escorpión como un potente emisor de rayos-X. A partir de entonces diferentes laboratorios espaciales de rayos-X han descubierto explosiones de supernovas, púlsares de rayos-X, quásares extragalácticos y otros acontecimientos cósmicos que produzcan un extraordinario calentamiento de gases o campos magnéticos intensos. En la década de 1990, un satélite alemán equipado con un telescopio de rayos X cuyo nombre perpetúa la memoria de Roentgen (ROSAT) proporcionó una observación detallada de la radiación cósmica de rayos X. La exploración del ROSAT descubrió casi 60.000 fuentes de rayos X en todo el Universo.

Las ondas mecánicas con una frecuencia de vibración comprendida entre 15 y 20 kHz son registradas por el sistema del oído interno humano. Las ondas de frecuencia superior inaudibles son llamadas ondas ultrasónicas. La génesis de las ondas ultrasónicas esencialmente se asocia con el descubrimiento en 1880 del efecto piezoeléctrico por los hermanos Pierre (1859 – 1906) y Jacques Curie que proporcionó los medios de generar y de detectar las ondas de ultra alta frecuencia.

Las primeras aplicaciones serias de dispositivos piezoeléctricos tuvieron lugar durante la primera guerra mundial. En 1917 un equipo de investigación dirigido por el físico francés Paul Langevin (1872 – 1946) comenzó a diseñar un detector submarino ultrasónico. El transductor era un mosaico de cristales de cuarzo delgados encolado entre dos platos de acero (el compuesto tenía una frecuencia resonante de aproximadamente 50 KHz), montado en un conveniente dispositivo para la sumersión. Para el fin de la guerra, se había logrado el objetivo de emitir un gorjeo submarino de alta frecuencia y medir la profundidad cronometrando el eco del retorno. La importancia estratégica de su logro no fue pasada por alto por las naciones industrializadas y desde entonces no ha cesado el desarrollo de transductores del sonar, circuitos, sistemas, y materiales relacionados.

Cuatro décadas después de la invención del sonar, apareció un artículo de título sugerente publicado en la Revista Science: “Tomando imágenes con el sonido”. Corría el último mes de 1957 y lo firmaba un físico de la División de Metalurgia del Laboratorio Nacional Argonne, William Nelson Beck (1923 – 1996). Como ocurre con relativa frecuencia el objeto inicial de la investigación fue alterado cuando Beck comprobó que podía recomponer imágenes de los órganos expuestos a ondas ultrasónicas. Ajustando la sensibilidad del sistema de registro fue posible diferenciar entre carne y hueso.

Con el paso del tiempo, los equipos analizadores de ultrasonido han tenido una gran aceptación en las investigaciones médicas por tres razones fundamentales: permite ver imágenes en tiempo real (en movimiento), es un método de diagnóstico económico en comparación con otros, y por último las ondas ultrasónicas no constituyen radiaciones ionizantes que penetren y dañen al tejido vivo. El término de ecografía con que se reconoce la técnica de exploración clínica que emplea el ultrasonido acusa el principio de su aplicación. El equipo debe emitir ondas ultrasónicas cuyo eco (variable según la naturaleza del tejido reflector) es registrado y finalmente transformado en imagen. Puesto que las ondas ultrasónicas son mejor reflejadas por los órganos que contienen líquidos, estos serán mejor “vistos” lo que hace especialmente útil la técnica de análisis clínico en las áreas de obstetricia (placenta, feto, partes maternas); la ginecología (útero y ovarios); gastroenterología (hígado, vesícula, vías biliares) y urología (riñones, vejiga y próstata).



De Paul Langevin, físico francés de importantes contribuciones a la física del estado sólido y a la mecánica relativista, Einstein afirmó: “Es indudable que si yo no hubiera publicado mi trabajo, él habría alcanzado su meta, tarde o temprano, y lo habría hecho antes que todos los demás”. Pero su grandeza desborda su valiosa contribución a la Ciencia. Desarrolla una notable lucha por la paz entre las naciones. En 1933, preside el Comité Mundial contra la Guerra y el Fascismo. Con el asalto de las bordas nazis a París es el primer relevante intelectual francés internado en un calabozo.

La radiación coherente intensa y direccional producida por el dispositivo llamado láser en una amplia región del espectro electromagnético desde el infrarrojo hasta los rayos γ , es el resultado de un proceso de amplificación de la radiación mediante emisión estimulada de un medio que puede ser un gas, un líquido o un sólido. La radiación láser ha encontrado aplicaciones en el campo de la técnica, la medicina y las investigaciones científicas.

En 1917 Einstein introduce el concepto de emisión estimulada y sólo décadas más tarde, en 1954, los físicos soviéticos Nikolai G. Basov (1922- 2001) y Alexander M. Projorov (1916 - 2002) del Instituto Lebedev de Física de Moscú y, de modo independiente, el físico estadounidense Charles H. Townes (1915-), por entonces profesor de la Universidad de Columbia, utilizan el proceso de emisión estimulada para la fabricación de los primeros amplificadores de microondas (Máser). Por sus estudios en el campo de la electrónica cuántica que anticiparon la técnica de amplificación de las microondas por emisión estimulada de la radiación, Basov, Projorov y Townes compartieron el Premio Nobel de Física en 1964. Pronto se encontraron numerosas aplicaciones para estos dispositivos capaces de enviar microondas de elevada intensidad en cualquier dirección y un resultado inmediato fue el perfeccionamiento de la tecnología de los radares. Los máseres encontraron aplicación por la gran estabilidad de las frecuencias generadas, como reguladores de tiempo en relojes atómicos.

No pasan cuatro años sin que Projorov e – independientemente- Arthur L. Schawlow (1921 - 1999) y Townes extiendan los principios de la amplificación por estimulación de la radiación a la luz visible (Láser). En 1958, la pareja de estadounidenses describió a grandes rasgos los principios de funcionamiento del láser en su solicitud de patente. Obtuvieron la patente, pero posteriormente fue impugnada por el ingeniero estadounidense Gordon Gould. En 1977, el Tribunal de Patentes de Estados Unidos confirmó una de las reivindicaciones de Gould en relación con los principios de funcionamiento del láser.

Los plazos siguen acortándose y esta vez en 1960 el físico estadounidense Theodore H. Maiman (1927-) construye el primer láser utilizando un rubí como medio amplificador del láser. Un año después el físico de origen iraní Alí Javan fabrica un láser utilizando una mezcla gaseosa de helio y neón. El láser de helio-neón resalta por su elevada estabilidad de frecuencia, pureza de color y mínima dispersión del haz.



Schawlow y Townes se consideran los padres de la espectroscopia de microondas al describir las bases de esta técnica en un texto clásico en 1958. Más adelante Schawlow continúa aplicando la radiación coherente del visible y del infrarrojo a nuevas técnicas de la espectroscopia molecular. En 1981 Schawlow recibe el premio Nobel de Física por sus investigaciones sobre el láser y su aplicación en la espectroscopia. También este año la Academia Sueca reconoció la labor del físico holandés, doctorado en 1948 en la Universidad de Leiden, y profesor de la Universidad de Harvard desde 1951, Nicolaas Bloembergen (1920-).

Bloembergen elaboró nuevas leyes de la óptica para la interacción entre la radiación intensa del láser y la sustancia y las utilizó en la puesta a punto de nuevas técnicas de espectroscopia láser. La aplicación de estas técnicas contribuyó al análisis de las estructuras complejas de sustancias biológicas.

A lo largo de la década de los sesenta se investigan con éxito diferentes medios de estimulación. En 1962 se fabrican los primeros láseres de semiconductores en varios laboratorios del mundo. Este tipo de laser está integrado por una unión entre capas de semiconductores con diferentes

propiedades que confina la cavidad del láser mediante dos límites reflectantes. Se logra así una estructura de láser compacta. En la actualidad, entre los usos más comunes de los láseres de semiconductores se encuentran los reproductores de discos compactos y las impresoras láser.

En 1931 el físico estadounidense Robert Jemison Van de Graaff (1901-1967) inventó la máquina electrostática conocida como generador de Van de Graaff capaz de producir las altas tensiones requeridas para acelerar partículas con las cuales estudiar transformaciones nucleares. Poco después Ernest O. Lawrence (1901-1958) inventa un acelerador de micropartículas, el ciclotrón, que abría nuevas horizontes a las investigaciones de los procesos de fusión nuclear pronosticados por Fermi. Lawrence, profesor titular de la Universidad de Berkeley a los 29 años, fundó el Laboratorio de Radiación que en alianza productiva con el Colegio de Química dirigido por el veterano Gilbert Newton Lewis (1875 –1946) posibilitó el descubrimiento de los elementos transuránicos y de numerosos radioisótopos de gran utilidad como trazadores en investigaciones biológicas y en aplicaciones médicas. En 1939 recibe el Premio Nobel de Física.

El descubrimiento de los 22 elementos transuránicos con número atómico superior a 92 (que caracteriza al uranio) fue posible gracias a los aceleradores de partículas. Sólo tres de estos elementos fueron producidos en los reactores nucleares por procesos de fusión mediante el bombardeo con neutrones rápidos, y de desintegración radiactiva. Así cuando el uranio-238 es bombardeado con neutrones se convierte en el uranio-239 que experimenta la beta desintegración para producir neptunio $^{239}_{93}\text{Np}$ y plutonio $^{239}_{94}\text{Pu}$. El plutonio-239 cambia a americio $^{241}_{95}\text{Am}$ por bombardeo de neutrones y posterior desintegración beta del plutonio-241.

Los elementos transuránicos desde número atómico 96 y más alto son todos fabricados mediante aceleración de un pequeño núcleo (tal como He, B, o C) en un acelerador de partículas cargado para colisionar con un núcleo pesado marcado (a menudo de un núcleo transuránico previamente producido).



La contribución de Glenn Seaborg al desarrollo de la radioquímica ha sido impresionante. Su equipo participó en el descubrimiento de 10 elementos transuránicos, entre ellos el plutonio, elemento esencial en la fisión nuclear. Compartió en 1951 el Premio Nobel de Química con el físico estadounidense Edwin McMillan (1907–1931). Una amplia variedad de radionúclidos empleados en la lucha contra el cáncer y otros fines médicos como el yodo-131 y el cobalto-60 fueron también "fabricados" bajo su dirección.

Narra Seaborg en su autobiografía que una satisfacción adicional recibió cuando su propia madre prolongó su vida durante varios años al recibir el tratamiento con yodo-131. Los descubridores del elemento 106 propusieron nombrarlo Seaborgium (Sg) y en 1997 la IUPAC anunció su aprobación.

A los descubrimientos del Laboratorio Nacional Lawrence se sumaron otros dos laboratorios de relieve internacional que fundados en la segunda mitad del siglo XX asumieron como direcciones fundamentales de la investigación la síntesis de nuevos elementos pesados y superpesados, el estudio de sus propiedades físicas y químicas así como la investigación de las propiedades de sus desintegraciones radioactivas. Una sobresaliente actuación en estas complejas tareas ha caracterizado la gestión del Laboratorio de las Reacciones Nucleares de Flerov perteneciente al Instituto Conjunto para la Investigación Nuclear de Dubna, a unos 160 km de Moscú y el Laboratorio de Investigación de Iones Pesados en Darmstadt, Alemania.

La naturaleza y complejidad de los problemas que debieron superar estos colectivos se entiende mejor cuando se conoce que los tiempos de vida de los nuevos elementos resultan extraordinariamente breves, los rendimientos de las reacciones de fusión son extremadamente bajos mientras los rendimientos de los núclidos secundarios que interfieren con la identificación de los nuevos elementos son altos. Por consiguiente se necesita contar con métodos de detección ultrarrápidos y específicos que identifiquen sin ambigüedad los nuevos núcleos.

Complicados experimentos sobre la síntesis de los nuevos núcleos fueron con frecuencia conducidos paralelamente en las tres instituciones. Como consecuencia de esta simultaneidad se origina la polémica sobre la prioridad de los descubrimientos. Para resolver este problema en 1986, de acuerdo con una decisión unánime de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) y la Unión Internacional de la Física Pura y Aplicada, se constituyó un grupo especial de trabajo compuesto por físicos y químicos para trabajar en el criterio de reconocer la prioridad en el descubrimiento de los nuevos elementos químicos.

Entre los 80 y los 90 el Laboratorio de Darmstadt, cosechó significativos éxitos en el terreno de la síntesis de nuevos elementos pesados. El equipo encabezado por el físico alemán Peter Armbruster participó en el descubrimiento de los elementos Bohrio (Z=107, 1981), Hassio (Z=108, 1984), 109 Meitnerio (Z= 109, 1982); Darmstadtio (Z=110, 1994) y Roentgenio (Z=111, 1994).



Durante 30 años el académico soviético Georgy N. Flerov (1913 – 1990) fue director del Laboratorio de Reacciones Nucleares que fundó en 1956 en Dubna. Sus colaboradores que llegaron a Dubna en plena juventud reconocieron el clima de confianza y de libertad fomentado por Flerov que posibilitó en una década el liderazgo alcanzado por esta institución. En 1995 el grupo internacional de trabajo adjudicó la prioridad en la síntesis de los elementos 102-105 al laboratorio de Flerov. Además el laboratorio recibió un reconocimiento por su destacada contribución al descubrimiento de los elementos 106 - 108.

En 1997, en el Congreso de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada, el elemento 105 fue llamado Dubnium. El sucesor de Flerov al frente del laboratorio fue el profesor Yuri Ts. Oganessian, uno de los descubridores más fecundos de elementos transféricos de fines del siglo XX. En 1998 se anunciaba el descubrimiento del Ununquad (Z=114).

El camino iniciado por Kamen en la utilización de los isótopos radioactivos como trazadores de procesos biológicos resultó clave en la identificación definitiva del agente responsable de la transmisión hereditaria. La comunidad científica hacia finales de los cuarenta no había sido convencida por las pruebas experimentales presentadas por el colectivo del Instituto Rockefeller de Investigación Médica encabezado por el inmunólogo estadounidense Oswald Theodore Avery (1877-1955) que demostraban que era el ADN, y no otras posibles sustancias como el ácido ribonucleico (ARN) o las proteínas, el que transmitía las características hereditarias. Tuvieron que pasar ocho años más para que Alfred D. Hershey (1908 – 1997) y Martha Chase (1928 – 2003) en 1952, utilizando bacteriófagos marcados con los isótopos radioactivos S-35 o P-32 (el azufre como elemento químico propio de las proteínas y el fósforo del ADN) demostraran de manera irrefutable que el ADN viral llevaba la información genética responsable de la síntesis de los compuestos proteicos que constituyen la cápside del virus. Es decir, los genes son ADN. En 1969, Hershey compartió el premio Nobel con Salvador E. Luria (1912- 1991) y Max Delbrück (1906 -1987) "por sus descubrimientos en relación con el mecanismo de replicación y estructura genética de los virus".

Una vez aceptado el significado genético del ADN, el paso obligado siguiente era determinar la estructura que explicara las propiedades mágicas de la replicación y la mutación. Los nombres de dos científicos británicos y un estadounidense se enlazan en el trascendental descubrimiento de la estructura de doble hélice del ácido desoxirribonucleico. Sin embargo son muchos los que reclaman un merecido espacio a un nombre de mujer: la prematuramente desaparecida Rosalind Franklin (1920 -1958).

Un baluarte en la aplicación y desarrollo de estos métodos lo encontramos en el Laboratorio Cavendish de Cambridge. En este laboratorio se concentraron recursos materiales y capital humano que forjó una comunidad con un nivel de primera línea. El físico británico Francis H. C. Cricks (1916-) y el bioquímico estadounidense James D. Watson (1928-) coincidieron en los primeros años de los cincuenta en el Cavendish. Contaban en el arsenal de antecedentes con el principio de complementariedad de las bases nitrogenadas establecido experimentalmente por el químico checo Erwin Chargaff (1905- 2003), los modelos de estructura helicoidal propuestos

para las proteínas por Linus Pauling, y las imágenes de los espectros de difracción de rayos X obtenidos por Maurice Wilkins (1916-), y sobre todo por la química – física Rosalind Franklin (1920 – 1958).



A fines de 1951 Rosalind Franklin había obtenido los espectros más nítidos del ADN hasta la fecha, y de acuerdo con una práctica reconocida presentó en una conferencia en el King's College sus resultados. Su interpretación de los datos espectrales conducían a una estructura molecular formada por dos o cuatro cadenas helicoidales entrelazadas, integradas por azúcares y fosfatos, con bases nitrogenadas orientadas hacia la parte interior de la hélice.

Watson se encontraba entre el auditorio que escuchaba a la Franklin. La historia del descubrimiento de la estructura del ADN concluye con los aplausos recibidos por el trío integrado por Wilkins, Crick y Watson. Rosalind, que víctima de un cáncer muere prematuramente con 34 años, se ha considerado un ejemplo de la discriminación de la mujer aún en el campo de la ciencia en época tan reciente como la segunda mitad de este siglo.

La integración de estas fuentes con una imaginación creativa desbordante los condujo a publicar en 1953 dos artículos en par de meses. Publicaron primero en la revista "Nature", la descripción, en algo más de una página, del modelo estructural de la doble hélice y luego en el segundo "Implicaciones genéticas de la estructura del ácido desoxirribonucleico" justifican cómo el modelo propuesto es capaz de explicar dos propiedades fundamentales del material hereditario: la de conservarse a sí mismo (replicación) y la de cambiar (mutación). En 1962 Crick, Watson y Wilkins compartieron el premio Nobel de Fisiología y Medicina. La evolución de los acontecimientos luego de sus publicaciones ratifica la importancia de la teoría para alumbrar la práctica. Se tornaba más claro y firme el despegue de la ingeniería genética.

En la década de los cincuenta, una contribución extraordinaria al campo del análisis estructural de las sustancias orgánicas fue realizada por el físico estadounidense Félix Bloch (1905 – 1983), premio Nobel de Física en 1952, al desarrollar la Resonancia Magnética Nuclear. Pronto esta técnica se difundió por los laboratorios de investigación, contribuyendo de manera especial a este esfuerzo de expansión el físico-químico suizo Richard Ernst (1933 -), premio Nobel de Química en 1991, por el diseño y construcción de una nueva generación de equipos de alta resolución, y el desarrollo paralelo de la teoría para ampliar el alcance de su aplicación.

Un nuevo salto se produciría durante la década de los ochenta cuando el químico suizo Kurt Wuthrich (1938-), premio Nobel de Química del 2002, desarrolló la idea sobre cómo extender la técnica de Resonancia Magnética Nuclear al estudio de las proteínas. En muchos aspectos el método de RMN complementa la cristalografía de rayos X, pero presenta la ventaja de estudiar la molécula gigante de la proteína en solución, es decir en un medio que se asemeja a cómo ella se encuentra y cómo funciona en el organismo viviente. Ahora la técnica de RMN puede también usarse para los estudios estructurales y dinámicos de otros biopolímeros tales como los ácidos nucleicos que dirigen el dominio de la información hereditaria. En esta década de los ochenta, se producen equipos de RMN que ofrecen imágenes de los tejidos internos del organismo, convirtiéndose en una técnica muy útil para el diagnóstico de enfermedades especialmente para el examen de la cabeza, cuello y cerebro.



La microbiografía del joven Félix Bloch es la de aquel talentoso estudiante universitario suizo que tiene la oportunidad de asistir a los cursos de Debye y Schrödinger, que luego traba relaciones en Leipzig con Heisenberg, y más tarde conoce a la élite de la Física Teórica de la época. Su origen judío le obliga en la época de la Alemania fascista a emigrar hacia Estados Unidos y allí enrolado en el programa de Los Álamos se familiariza con los adelantos más novedosos de la Electrónica.

Al término de la Guerra, sus trabajos apuntaban al nacimiento de una nueva técnica: la Resonancia

Magnética Nuclear.

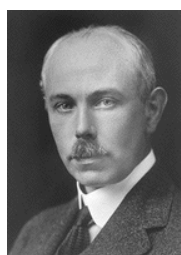
En la década del 30, el físico e ingeniero electrónico alemán Ernst A. Ruska (1906 – 1988), premio Nobel de Física en 1986, elaboró los principios de funcionamiento y diseñó el primer microscopio electrónico. Al comienzo del 45, cerca de 35 instituciones científicas fueron

equipadas con este equipo. Los modernos microscopios electrónicos capaces de ampliar la imagen del objeto unos dos millones de veces se fundamentan en las propuestas técnicas de Ruska. Una nueva generación de microscopios fue propuesta hacia la década de los sesenta, cuando el físico suizo Heinrich Rohrer (1933-), quien compartió el premio Nobel de Física en 1986 con Ruska, desarrollara la técnica de microscopía electrónica de barrido por efecto túnel en el laboratorio IBM de Zurich. Con esta técnica se detectan imágenes con resolución atómica. Las posibilidades brindadas por la microscopía electrónica fueron aprovechadas para la obtención de imágenes tridimensionales de virus, proteínas y enzimas. En este propósito sobresale la obra de Aaron Klug (1926-), biólogo molecular, lituano de nacimiento, suafriano por crianza, y británico según adopción, que mereció el Nobel de Química en 1991.

La espectrometría de masas es en la actualidad una de las más potentes técnicas analíticas con que cuenta el químico. El inicio de su aplicación data del registro de los espectros de masas de moléculas sencillas de bajo peso molecular obtenidas por J.J. Thomson en 1912. Los primeros prototipos de espectrógrafos, siguiendo los mismos principios básicos de los empleados hoy día fueron principalmente desarrollados por Francis W. Aston (1877 – 1945), quien descubrió un gran número de isótopos (elementos con igual carga nuclear pero que difieren en los índices de masas) y fue laureado por estas aportaciones con el premio Nobel de Química de 1922.

El equipo para obtener tales espectros debía ser capaz de: a) producir iones gaseosos a partir de las moléculas a investigar; b) separar estos iones de acuerdo con la relación carga: masa; y c) medir la abundancia relativa de cada ion. En la década del cuarenta ya se habían fabricado espectrógrafos para analizar sustancias orgánicas de peso molecular medio; a finales de los cincuenta se demostró el papel de los grupos funcionales sobre la fragmentación directa ampliándose la capacidad de los equipos para determinar estructuras orgánicas; y ya hacia los setenta el perfeccionamiento de los equipos alcanzaba una sensibilidad que permitía trabajar con masas de muestras del orden de una millonésima de gramo.

La aplicación de la espectrometría de masa, sobre todo acoplada a la Cromatografía Gaseosa, técnica capaz de separar componentes de una muestra, se extiende en la actualidad al análisis de sustancias dopantes o drogas; el control de los alimentos; y los ensayos ultrarrápidos para determinar los niveles de contaminación ambiental.



Francis Aston fue invitado por J.J. Thomson a trabajar en el Laboratorio de Cavendish durante la primera década del XX. Con motivo de la primera Guerra Mundial se ve obligado a abandonar sus investigaciones fundamentales y no es hasta 1919 que se reincorpora al trabajo en Cambridge. En estos años desarrolla la espectrometría de masas y con su aplicación descubre más de 200 isótopos de ocurrencia natural. Harold C. Urey (1893 -1981) descubre en 1934 con ayuda de esta técnica el deuterio (el isótopo de masa doble del H). El deuterio es el elemento clave en la fabricación de las armas de fusión nuclear (la llamada bomba de hidrógeno).

Pero hasta esta altura la espectrometría de masas no servía para la determinación de estructuras de moléculas gigantes como lo son importantes biopolímeros. La primera etapa de la técnica exige el paso de las macromoléculas a la fase gaseosa lo cual implica la ocurrencia de indeseables transformaciones estructurales que empañaban los resultados. Dos investigadores en la década de los ochenta propusieron los procedimientos para burlar este obstáculo. El estadounidense John B. Fenn (1917-) propuso dispersar la proteína bajo estudio en un solvente y luego atomizar la muestra someténdola a un campo eléctrico. Como el solvente se evapora las microgotas se convierten en moléculas de las proteínas totalmente desnudas. El método se conoce como ionización por electrodispersión (en inglés las siglas ESI, corresponden a electrospray ionization).

Las técnicas de análisis de los componentes de la atmósfera y sus contaminantes han resultados decisivos para la comprensión y toma de opiniones en relación con los cambios climáticos globales promovidos por actividad irracional del hombre en la superficie del planeta.

Hacia la mitad de la década de 1950 el biofísico británico James E. Lovelock (1919 -) se ocupaba de diseñar una serie de detectores de ionización para su empleo en los cromatógrafos de gases, cuando uno de ellos, el detector de captura electrónica vino a revolucionar las técnicas de análisis de los gases en la atmósfera y con ello condicionó el desarrollo de una conciencia ambiental. Este detector fue patentado en 1957 y aún hoy se cuenta entre los más sensibles métodos para el análisis de aquellas sustancias químicas que constituyen una amenaza para el medio ambiente. Su empleo condujo al descubrimiento de la distribución de los residuos de pesticidas en el ambiente natural que sirvió de base para el libro de la bióloga Rachel Carson (1907 – 1964) "La Primavera Silenciosa" que alertó a la conciencia pública sobre los peligros del uso irracional de los pesticidas. Una década más tarde Lovelock se encargó de demostrar, al menos con algunos ejemplos relevantes, que la propia biosfera se ocupa de engendrar, reproducir y regular sus propias condiciones ambientales.

En 1971, Lovelock detectó ciertas sustancias que actúan como reguladoras del equilibrio térmico y descubrió sus fuentes de emisión. Resulta que durante el verano las algas costeras proliferan, incrementando sus emisiones del dimetilsulfuro (DMS) y estas moléculas actúan como núcleos de condensación para el vapor de agua, lo que eleva la concentración nubosa, oscurece por consiguiente la superficie y provoca el descenso de las temperaturas. Por el contrario el frío del invierno inhibe la multiplicación de las algas en los océanos, reduce sus emisiones, con lo que disminuye la concentración de dimetil sulfuro, se forman menos nubes y comienza una nueva escalada térmica.



El joven ingeniero japonés Koichi Tanaka (1959-) reportó en 1987 una técnica diferente para salvar la etapa crítica en el análisis espectral de las biomoléculas. La propuesta consistió en someter la muestra en estado sólido o viscoso al bombardeo con rayos láser, lo que llamó deserción suave por láser (SLD). Cuando la muestra absorbe la energía de la pulsación láser "explota suavemente" en pequeños fragmentos. Las moléculas se liberan unas de otras quedando intactas como moléculas cargadas suspendidas que son aceleradas por un campo eléctrico en una cámara de vacío donde el tiempo de vuelo (TOF, time of flight) es medido.

Con el empleo de la técnica de Tanaka los tests para determinar diferentes enfermedades como la malaria y los cánceres de próstata y mama, se verifican con total fiabilidad en unos minutos...

Aparte de los cinturones de las selvas tropicales y de las plataformas continentales un tercer cinturón mostró su sensibilidad a la actividad del hombre, y por sorpresa, este se ubica fuera de los límites de la biosfera escapando del dominio de ésta, pero ejerciendo una notable influencia en su protección: la capa de ozono.

Mientras el ingeniero mecánico estadounidense Thomas Midgley (1889 – 1944) evaluaba la utilización de una nueva generación de refrigerantes potencialmente inofensivos, un científico inglés Gordon M. B. Dobson (1889 - 1976) en la Universidad de Oxford iniciaba la observación y estudio del ozono atmosférico. Hoy sabemos que las tres mil millones de toneladas de ozono que se acumulan en la estratosfera es en sentido estricto un manto difuso del trioxígeno (molécula triatómica del oxígeno) que alcanza una concentración en el intervalo de los 300 - 500 Dobson. La unidad Dobson, propuesta para perpetuar la memoria de este pionero en la determinación del ozono atmosférico, representa una molécula por cada 10⁹ moléculas, es decir la concentración de ozono es muy baja, entre 03, - 0,5 ppm (partes por millón).

Por entonces sus investigaciones descubrieron que el perfil de la temperatura por encima de la tropausa no era constante como sugería el propio nombre de estratosfera sino que había una región donde la temperatura sustancialmente se incrementaba. Dobson infirió correctamente que la causa del calentamiento de la estratosfera estaba relacionada con la absorción de la radiación solar ultravioleta por el ozono, y decidió construir un equipo para hacer mediciones de las cantidades de ozono y su variabilidad. El primer espectrómetro estuvo listo en el verano de 1924 y las mediciones regulares obtenidas a lo largo del 1925 establecieron las características

principales de la variación estacional del ozono, el máximo en la primavera y el mínimo hacia el otoño, y también demostró la estrecha correlación entre la cantidad de ozono y las condiciones meteorológicas en la alta troposfera y la baja estratosfera. A fines de 1929, Dobson y sus colaboradores habían extendido una red de equipos que permitió establecer las regularidades más generales entre la variación de la cantidad de ozono con la latitud y la estación.



En 1969, el biofísico James Lovelock formuló una hipótesis subversiva: nuestro planeta actúa como una especie de superorganismo que a través de una red de complejas interacciones entre sus sistemas vivos mantienen las condiciones ideales para la vida. La primera reacción del mundo científico fue admitir con reservas estos postulados que parecían saturados de especulaciones. En cierta forma fueron vistos como el reverso del legado darwinista según el cual la historia de la vida demostraba su necesaria adecuación a las condiciones del entorno físico - químico.

El creador de la hipótesis Gaiya (diosa tierra para los griegos), postula ante todo la defensa de los cordones de la autorregulación planetaria: el cinturón de selvas tropicales y las plataformas continentales. La alteración drástica de estas zonas de la biosfera constituyen la verdadera amenaza para Gaiya, o mejor decir, para Pachamama, la tierra nutricia de la mitología inca que no pare monstruos, ni traiciona al dios-cielo, sino evita heladas y plagas, madura los frutos y asegura la caza...

Paralelamente con estos trabajos de medición del ozono en la atmósfera superior el geofísico inglés Sydney Chapman (1888 - 1970) publicaba en 1930 en las Memorias de la Sociedad Real Meteorológica británica, la teoría cuantitativa del equilibrio y los cambios del ozono y el oxígeno atómico en la atmósfera superior que implicaban la interacción del ozono con la radiación ultravioleta proveniente del astro rey.

La idea de que la capa de ozono constituía un escudo protector de la llamada radiación ultravioleta dura se difundía entre la comunidad científica que estudiaba la atmósfera del planeta. La II Guerra Mundial detuvo estas investigaciones pero poco después de su final se fundó la Comisión Internacional de Ozono por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica. A fines de 1956, en el Año Internacional de la Geodesia y Geofísica no menos de 44 nuevos espectrómetros fueron distribuidos a través del mundo.

Cinco años después de formulada la teoría Gaiya y a cuatro décadas de los nuevos refrigerantes propuestos por Midgley, los científicos de la Universidad de California, Irvine, F. Sherwood (1927-) y el mexicano – estadounidense Mario Molina (1943-) determinaron, luego de un exhaustivo estudio, que los clorofluorcarbonos empleados masivamente como propulsores en todo tipo de "spray" y como refrigerantes, tienen potencial para destruir la capa de ozono. Y en efecto, años después se confirmó el adelgazamiento de la capa de ozono en diferentes latitudes del planeta.

Este adelgazamiento ocasiona un aumento de los niveles de la radiación ultravioleta dura que penetra en la atmósfera e incide sobre la superficie del planeta. Las consecuencias son ya importantes y podrían llegar a ser trágicas.

La incidencia de este incremento de la radiación ultravioleta "dura" sobre las distintas especies de los seres vivos puede ser muy diversa pero entre los efectos más dramáticos se cuenta la afectación a largo plazo que sufrirá el fitoplancton lo que trastornará la cadena alimentaria en mares y océanos con efectos ecológicos impredecibles, y a mediano plazo la reducción de la población marina disminuirá sensiblemente los rendimientos de la industria pesquera.



El mexicano-estadounidense, Mario J. Molina, confiesa en su autobiografía que durante sus primeros años en Berkeley sintió un profundo rechazo a la posibilidad de emplear los láser de alta potencia para producir armas. Deseaba por entonces dedicarse a una investigación que fuera útil a la sociedad, y lo logró. El 28 de junio de 1974 publicó, junto a su asesor F. Sherwood Rowland, en la Revista Nature un primer informe alertando a la comunidad científica y a la opinión pública de los peligros en que se encontraba la capa de ozono estratosférica. En 1995, ambos compartían el Premio Nobel de Química.

En 1976 el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) llama a una Conferencia Internacional para discutir una respuesta internacional al problema del ozono. En 1985 se firma en Austria "La Convención de Viena para la protección de la capa de ozono pero esta no se acompaña de un protocolo vinculante. Dos años más tarde en Canadá se firma "Protocolo de Montreal sobre las sustancias que degradan la capa de ozono". Este protocolo, legalmente vinculante, es aprobado por 24 países. Sucesivos encuentros han sido auspiciados por la ONU para discutir y tomar medidas de acuerdo con los informes de los expertos sobre el efecto de la degradación de la capa de ozono. Hacia fines de siglo los datos demostraban que la concertación internacional había al menos detenido el avance del enrarecimiento de la capa protectora.

En 1904 el físico - químico sueco Svante Arrhenius (1859 – 1927) pronosticó que las crecientes emisiones industriales de CO₂ determinarían un cambio notable en la concentración de este gas en la atmósfera, provocando un cambio climático global. Según la predicción de Arrhenius este incremento podría resultar beneficioso al hacer más uniforme el clima del planeta y estimular el crecimiento de las plantas y la producción de alimentos.

Una opinión discrepante con la optimista visión de Arrhenius aparece a fines de los treinta. El eminente ingeniero termoenergético británico Guy Stewart Callendar (1898 – 1964) publica en 1938 el artículo titulado "La producción artificial del dióxido de carbono y su influencia sobre la temperatura". Este trabajo y los que posteriormente dio a conocer demostraban la correlación existente entre la elevación de las concentraciones del dióxido atmosférico desde los tiempos preindustriales, y la información entonces acopiada por él sobre la tendencia observada de la elevación de la temperatura. Las deducciones de Callendar no encontraron resonancia en la comunidad científica de la época. Prevalcía el criterio de que la inmensa masa de las tres cuartas partes del planeta, el agua de océanos y mares, actuaría como sistema regulador por su capacidad absorbente del CO₂.

Sin embargo las investigaciones conducidas en la década de los cincuenta por el geofísico estadounidense Roger Revelle (1909-1991) con la colaboración del radioquímico de origen austriaco Hans Suess (1909-) demostraron de manera irrefutable que los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera se habían incrementado como resultado de la quema de los combustibles fósiles y de la tala de los bosques, rechazando la idea prevaleciente sobre la actividad reguladora de mares y océanos.



En 1977 el geofísico estadounidense Roger Revelle encabeza un Panel de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos el cual encuentra que alrededor de un 40 % del dióxido de carbono antropogénico permanece en la atmósfera, las dos terceras partes provenientes de los combustibles fósiles y una tercera de la tala de los bosques. Al inicio de los ochenta la escalada en las predicciones se ensombrecen cuando Revelle publica un artículo en la importante revista estadounidense Scientific American en la que anuncia la posible elevación del nivel del mar como resultado de la fusión de los glaciares que debe acompañar a la elevación de la temperatura del planeta.

En 1988 el Programa Medioambiental de la ONU fundó un Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) que debió valorar la información científica, técnica y socioeconómica para la comprensión del cambio climático, sus impactos potenciales y las opciones para la

adaptación y mitigación de los daños. El IPCC fue el primer esfuerzo internacional para dirigir los temas medioambientales.

En resumen los expertos coincidieron en que la elevación de las temperaturas globales provocará una elevación del nivel del mar, cambios en los regímenes de precipitación y otras condiciones climáticas locales. Los cambios regionales del clima pueden alterar los bosques, el rendimiento en las cosechas, y las fuentes de agua. También puede resultar amenazada la salud humana, dañadas especies de aves, peces y muchos tipos de ecosistemas.

En mayo de 1992, 154 países (incluidos los de la Unión Europea) firmaron el Tratado de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (ratificado en marzo de 1994). Los países signatarios se comprometieron a estabilizar, para el final de siglo, los niveles de las emisiones de dióxido de carbono en los valores de 1990. A cinco años de este tratado, se firma en la ciudad japonesa de Kyoto el Protocolo que anuncia el compromiso de las naciones poderosas a limitar sus emisiones de los gases de invernadero hasta los niveles emitidos en 1990. Los inicios del nuevo milenio eran testigos de la no ratificación del Protocolo de Kyoto por precisamente dos grandes, que "ven amenazados su desarrollo si no se prevén limitaciones en las cuotas de emisiones de los países en vías de desarrollo", los Estados Unidos de América y la nueva Rusia. La comunidad científica y toda la humanidad deben apoyar la ratificación de estos tratados y su celoso cumplimiento.

La creciente preocupación de los círculos científicos por el manejo que hacen los políticos de los problemas medioambientales llevó a la fundación de una "Unión de los Científicos Preocupados" (UCS) que en carta abierta firmada por más de 20 laureados con el premio Nobel acusó al Gobierno de Estados Unidos de estar manipulando el sistema científico asesor de esta nación para evitar los consejos que puedan ser contrarios a sus intereses políticos. A escasos doce meses de su fundación el listado de personalidades científicas que apoyan la gestión de esta Unión se ha multiplicado y suman 48 los galardonados con el Nobel que han expresado su adhesión a este movimiento de hombres de ciencia comprometidos con los problemas de su tiempo. Los problemas que ahora se plantean rebasan las fronteras originales de los Estados Unidos y tienen un alcance internacional.



De los 48 científicos estadounidenses laureados con el Premio Nobel que expresaron su adhesión a la "Unión de Científicos Preocupados", 16 son físicos y ocho reciben el galardón de la Academia Sueca en la última década del siglo XX. Entre los firmantes se encuentran dos colegas, David M. Lee (1931-) y Douglas D. Osberoff (1945-) que compartieron el premio en 1996 por el descubrimiento en 1972 de la superfluidez en el isótopo de ^3He . Esta sobresaliente propiedad había sido descubierta por el físico soviético Piotr Kapitsa en 1937 en el isótopo de ^4He a temperaturas extremadamente bajas.

La casualidad acaso quiso que un tercer especialista en la superfluidez, galardonado en 2003, Anthony Leggett (1938-) también se integrara a este movimiento de científicos que promueven la preocupación y la acción sobre los problemas ambientales.

La superconductividad ha atraído la atención de los investigadores pues si esta propiedad exhibida por distintos materiales a temperaturas muy bajas fuera observada a temperaturas viables produciría una verdadera revolución tecnológica. El descubrimiento de este fenómeno data de 1911 cuando el profesor de la Universidad de Leiden, Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), investigando los efectos observados en gases y metales a temperaturas extremadamente bajas, cercanas al 0 de la escala absoluta descubrió que el mercurio a temperaturas por debajo de 4,2 K no presentaba resistencia al paso de la corriente eléctrica.

La comprensión de la superconductividad como un fenómeno cuántico no llegó hasta los años 50, cuando los físicos estadounidenses John Bardeen (1908-1991), Leon N. Cooper (1930-) y John R. Schrieffer (1931-) explicaron la superconducción en los metales como resultado del desplazamiento electrónico en pares, apantallados por la atmósfera de iones positivos, que no muestran resistencia eléctrica.

En 1962, cuando aún era un estudiante en Cambridge, el físico británico Brian D. Josephson (1940 -) descubrió el fenómeno de conducción que se manifiesta entre dos superconductores mantenidos a temperaturas muy bajas, que están separados entre sí por una capa muy fina de un aislante. Un flujo constante de corriente a través del aislante se puede inducir mediante un campo magnético fijo. Este efecto que representa un efecto de túnel a través de un aislante recibió el nombre de efecto Josephson. Por este descubrimiento compartió el premio Nobel de Física.

A finales de 1986, el físico-químico alemán Johannes G. Bednorz (1950-) y el físico suizo Karl A Müller (1927-), del Laboratorio de Investigaciones de IBM en Zurich, anunciaban al mundo que un compuesto cerámico, el óxido de lantano, bario y cobre, manifestaba la superconductividad a una temperatura más alta que la exigida por los sistemas hasta entonces investigados, los metales y aleaciones. Aún la barrera impuesta para la aparición de la superconductividad era muy baja, 35 K, pero el descubrimiento de un nuevo tipo de superconductores abría un campo de investigación. En 1987 se reveló la composición de un cuprato de itrio y bario que mostraba una temperatura crítica de superconducción de 94 K. A medida que las temperaturas resulten superiores a 77 K (la temperatura del nitrógeno líquido), y los óxidos resulten más baratos, las aplicaciones potenciales de estos materiales resultaran económicamente más viables. Por este trabajo merecieron Bednorz y Muller el Premio Nobel de Física de 1987.



En la década de los 50 el Instituto de Problemas Físicos de la Academia de Ciencias de la URSS bajo la dirección de Piotr Kapitsa, realizaba notables trabajos en la Física de bajas temperaturas. En esta dirección fue investigado el comportamiento de los superconductores del tipo I que repelen los campos magnéticos, y Ginzburg y Landau desarrollaron la teoría que predecía la existencia de un segundo tipo de superconductores. Basándose en esta hipótesis, Abrikosov explicó acertadamente las condiciones que deben cumplir ciertos superconductores para admitir un campo magnético.

Estas propiedades se descubrieron, con posterioridad, en los nuevos compuestos superconductores tipo II, incluidos los compuestos cerámicos que son superconductores a temperaturas más altas. Las aportaciones de Ginzburg y Abrikosov fueron reconocidas por la Academia Sueca en el 2003 al conferirle el Nobel de Física.

Los avances en los programas de exploración del Cosmos

Quizás ninguna otra empresa científica tenga una naturaleza interdisciplinaria tan marcada como la conquista del cosmos. Pero nadie duda que los vuelos espaciales exigieran el desarrollo de una ciencia y una ingeniería propia y que en estos progresos desempeñara un importante papel la Física, al tiempo que sus ideas se nutrieran de los resultados de esta soñada exploración.

El análisis del panorama político en que se desarrolla la conquista del cosmos desborda los propósitos de nuestro breve examen pero es imposible omitir que, a mediados del siglo, la lógica que presidía las relaciones entre las naciones más poderosas del planeta, determinó que en lugar de una eficaz colaboración entre las partes, la cosmonáutica naciera con un claro perfil de competencia que dividió los esfuerzos, tapió el intercambio de experiencias, multiplicó los gastos, y paralelamente alentó el desarrollo en espiral de programas y armas que "neutralizaran" al enemigo.

La guerra fría entre los bloques calentó las relaciones entre las naciones y los proyectos para la fabricación de cohetes portadores ambivalentes (empleados para las lanzaderas de las naves espaciales y de proyectiles intercontinentales) y el curso de programas tan irracionales como "la guerra de las galaxias", demandaron de enormes recursos que compitieron con la necesaria asistencia a los países subdesarrollados. Esta ayuda para el desarrollo hubiera seguramente saneado la atmósfera internacional y evitado tal vez el surgimiento de los focos de tensión que matizados por la frustración y el odio de pueblos y culturas hacia la irracionalidad de la civilización occidental derivaron hacia la dolorosa confrontación y las guerras "locales" del fin siglo.

Cuba pequeño país del Caribe, sumergida en esta confrontación, sufrió la hostilidad del gobierno de los Estados Unidos desde el propio nacimiento de la Revolución cubana y en el otro extremo de la cuerda apreció la solidaridad y ayuda recibida de la nación soviética. Esto explica que varias generaciones de cubanos aplaudieran los logros en materia de vuelos espaciales de la ciencia soviética en tanto las realizaciones de la astronáutica estadounidense encontraran en nuestro contexto una baja resonancia.

A continuación, pasaremos breve revista a los momentos principales de esta carrera, sus cabezas más visibles, los logros y fracasos, y las repercusiones más importantes hacia el desarrollo de la ciencia. No esconderemos el sesgo de nuestra pupila, pero intentaremos equilibrar las fuentes de información y mantener una objetividad que rara vez es encontrada en el tratamiento de estos temas.



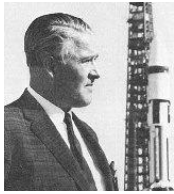
Apenas 5 días antes de la invasión de un ejército mercenario por Playa Girón (Bahía de Cochinos), un 12 de abril de 1961 la noticia recorría el mundo: una nave espacial soviética con un cosmonauta a bordo había orbitado el planeta. En una hora y 48 minutos le había dado una vuelta a la Tierra pasando por encima de América, luego de África para caer finalmente en la Siberia. El joven piloto de franca sonrisa se llamaba Yuri y en una breve declaración desde la Vostok-1 había reclamado: "Pobladores del mundo, salvaguardemos esta belleza, no la destruyamos". En julio de ese mismo año Gagarin visitó a Cuba, y en la multitudinaria concentración popular del 26, Fidel le impuso la Orden Playa Girón que lo convirtió en la primera persona en recibir esta distinción de la nación cubana.

En la actualidad, es un criterio bastante aceptado el reconocer como antecedente inmediato del desarrollo de los cohetes propulsores de las naves espaciales tanto de la Unión Soviética como de los Estados Unidos, los logros alcanzados en la Alemania nazi por el equipo encabezado por el científico alemán Werner von Braun (1912 – 1977).

Nadie ignora hoy las dramáticas circunstancias históricas en que un equipo de científicos y técnicos alemanes en una base de investigaciones radicada en Peenemünde, diseñaron los cohetes V-2 que eran fabricados y después lanzados desde esta zona de la isla de Usedom, situada en el mar Báltico, en la desembocadura del río Oder. En la fábrica de estos cohetes laboraron en trabajos forzosos prisioneros de los fascistas y el blanco a que apuntaron estos cohetes fueron territorios de Inglaterra. Los V-2 representaban un proyectil propulsado por combustible líquido con una longitud que superaba los 46 pies y un peso de 27 000 libras, que volaban a una velocidad superior a las 3 500 millas por hora, llevando una cabeza explosiva a un blanco a 500 millas de distancia.

Tampoco se oculta que von Braun, ante el avance de las tropas aliadas, planeó detalladamente la rendición de 500 científicos alemanes especialistas en cohetes, y la entrega de los proyectos y vehículos de prueba a los estadounidenses. No hay que olvidar que las tropas que venían desde el este eran las soviéticas pero la entrega se hizo desde el frente occidental, según el programa calculado por von Braun. En 1945 llegó a Estados Unidos como consejero técnico del programa nacional de cohetes desarrollado en Nuevo México. Cinco años después dirigía el programa de misiles Redstone en Alabama y ya en 1955 adoptaba la nacionalidad estadounidense.

Serguéi Koroliov (1912-1966) fue el constructor jefe de las naves espaciales soviéticas. Por una parte el hermetismo de las fuentes oficiales de la URSS y por otra el silencio cómplice de Occidente sobre las personalidades que brillaron en la ciencia y la ingeniería del país de los soviets hacen que injustamente no sea reconocido como un gigante de la conquista del cosmos.



Los primeros vuelos que demostraban la supremacía inicial de los soviéticos llevaron en 1960 a von Braun a la dirección de las operaciones de desarrollo técnico del centro de vuelos espaciales George C. Marshall en Huntsville. Fue el responsable de la construcción del vehículo de lanzamiento Saturno V que se utilizó, junto con la nave espacial Apolo, en el programa del alunizaje tripulado que devolvería a los estadounidenses la confianza en el liderazgo mundial. La imagen del alemán llegó a adquirir la relevancia del héroe y su pasado sepultado por su probada lealtad y extraordinario talento.

Aún hoy se afirma que "los estudiosos están reevaluando el rol de von Braun en las actividades calificadas como "controversiales" en Peenemünde. Las víctimas de los proyectiles V-2 debían tener la palabra.

Las nuevas fuentes rusas aseguran que en la década del 30, justamente cuando Koroliov daba sus primeros pasos como ingeniero jefe del programa de cohetes rusos, fue víctima de la represión stalinista. Se afirma que por una falsa delación sufre prisión durante años, hasta que en 1944 es puesto en libertad. Poco después de la victoria de los aliados se le encomienda la tarea de viajar a Alemania y recopilar todos los datos que le permita a la renaciente cohetaría soviética reproducir la tecnología de los cohetes alemanes. El tiempo demostró que en esta empresa el equipo de Koroliov logra superarlos. A partir de 1954, cumple con el sueño de su vida, trabajar en investigaciones que lanzaran el hombre al cosmos. Todos los éxitos iniciales del programa espacial soviético: Laika, Gagarin, Tereshkova, y Popov están indisolublemente ligados a un nombre: Serguéi Koroliov.

La Exposición de Logros de la Ciencia y la Técnica Soviética mostraba por los años sesenta, entre sus piezas más atrayentes, una esfera de aluminio de poco más de medio metro de diámetro cuyo sistema de antenas acopladas hacia imaginar que este diminuto objeto, el primer satélite artificial de la Historia, fue capaz de mantener comunicación con la Tierra y enviar la información científica deseada (temperatura y densidad de las capas superiores de la atmósfera e intensidad y naturaleza de las radiaciones cósmicas) durante el tiempo que estuvo orbitando al planeta. El Sputnik 1 fue lanzado el 4 de octubre de 1957 y circunvoló la Tierra 57 días hasta ingresar en la atmósfera y arder por el calor liberado producto de la fricción. La perra Laika ascendería a bordo del Sputnik -2, poco menos de un mes después, para iniciar las investigaciones biomédicas acerca de la influencia de la ingravidez y exposición a las radiaciones sobre los seres vivos. En mayo de 1958, el Sputnik -3, despegó del Cosmódromo de Baikonur elevando más de una tonelada de carga total y continuó verificando los sistemas soviéticos de puesta en órbita y correcciones a la misma, al tiempo que prosiguió las investigaciones sobre el campo magnético, y las radiaciones cósmicas.



Una página poco conocida de los vuelos cósmicos nos brinda la oportunidad de reflejar la personalidad de Serguei Koroliov constructor jefe del programa soviético de exploración espacial. Se acercaba a su fin el vuelo del "Vosjod-2" en el que el cosmonauta Alexei A. Leónov (1934-) el 18 de marzo de 1965 había dado el primer paseo espacial con un cable que lo unía como cordón umbilical a la nave. En el curso de la hora y media de la última vuelta debían ejecutarse por los autómatas de a bordo las etapas finales de orientación, frenado y descenso y de súbito se comprueba que los controles automáticos no responden a la orden teledirigida de entrar en funcionamiento. El cosmonauta de la nave, Pável Beliaev informa a la sala de control de vuelo.

El propio Koroliov responde imperturbable: "dentro de 30 segundos tendrá la orden". Y exactamente a los 30 segundos se vuelve a escuchar su voz: "Conecte el mando manual. Oriéntese y haga funcionar inmediatamente el dispositivo de frenado." Beliaev operó correctamente las instrucciones de emergencia y los dispositivos de control manual respondieron eficazmente. El descenso de la cápsula del Vosjod-2 terminó felizmente.

Aún no había reingresado en la atmósfera destruyéndose la cápsula del Sputnik-2, cuando el primer satélite estadounidense el Explorer -1, iniciaba el 31 de enero de 1958 el programa de la NASA. La nave cilíndrica de dimensiones más pequeñas que sus homólogas soviéticas aportó datos excepcionales sobre las radiaciones cósmicas que condujeron al descubrimiento de los cinturones de van Allen. En marzo de este mismo año dos satélites artificiales el Vanguard 2 y el Explorer 3 continuaron el estudio de las radiaciones cósmicas, al tiempo que comprobaban la

eficiencia de los sistemas de despegue y de guiado desde la Tierra como fase de preparación hacia los vuelos tripulados.

El Programa Apolo de la NASA tenía como ambicioso objetivo llevar al hombre hasta la superficie lunar. Esta hazaña debía neutralizar el síndrome de los Sputniks y demostrar a la gran audiencia el liderazgo en materia espacial de los Estados Unidos. Se ha afirmado que una vez cumplida las tareas de inyección translunar para trasladar la nave de la órbita terrestre a la lunar y de regreso repetir la operación ahora de inyección transterrestre y además dominar las técnicas de acoplamiento de naves a módulos, la participación el hombre en la empresa lunar carecía de sentido práctico. De cualquier forma es indudable que el cumplimiento del programa confirmó de modo espectacular el desarrollo de la ingeniería y la ciencia estadounidense.

1968 marca el inicio del lanzamiento de las naves que iban comprobando las diferentes fases del proyecto Apolo. Un año después, el hombre pisó la superficie de su satélite en los pies de dos astronautas estadounidenses, Edwin E. Aldrin (1930-) y Neil A. Armstrong (1930-). Michael Collins (1930-) permaneció en la órbita lunar pilotando el módulo de control después de la separación y apoyando las maniobras del módulo lunar. Armstrong al borde del Mar de la Tranquilidad, declaró: "Éste es un pequeño paso para un hombre, pero un gran salto para la humanidad". Millones de personas pudieron seguir en directo la retransmisión vía satélite del acontecimiento. Armstrong y Aldrin clavaron en el suelo lunar una bandera de Estados Unidos. El acto hizo reflexionar a no pocos sobre el simbolismo que este acto de reconocido orgullo nacional, podía entrañar. El programa científico de la estancia en suelo lunar fue exitosamente cumplido. En los tres años siguientes, 6 naves estadounidenses con sus tripulaciones de tres astronautas cada una, se dirigieron hacia el satélite lunar. Sólo una, el Apolo 13, confrontó una avería que felizmente no terminó en desastre, en abril de 1970. A partir del Apolo 15, las expediciones contaron con un vehículo de ruedas eléctrico que permitió extender la zona de exploración de los cosmonautas. Más de 70 horas en total permanecieron los astronautas en labores de exploración de la superficie selenita.



El 20 de febrero de 1962, John H. Glenn (1921-) se convirtió en uno de los pioneros de la exploración del espacio al inaugurar el programa Mercury de la Agencia Espacial Estadounidense. Durante 4 horas, 55 minutos y 23 segundos el Mercury Atlas 6 completó tres órbitas. Cinco años antes, Glenn había pilotado el avión que realizara el primer vuelo transcontinental supersónico. Después del vuelo espacial y los honores recibidos se dedicó a la política hasta 1997. En octubre de 1998, a los 77 años de edad regresó al espacio, a bordo del transbordador Discovery; marcando un record difícil de superar y posibilitando la ejecución de investigaciones sobre el efecto de la ingravidez en el envejecimiento. La misión esta vez se extendió por 9 días en los cuales su nave describió 134 órbitas terrestres.

El primer montaje de estaciones orbitales soviéticas comenzó en abril de 1971 cuando fue lanzada al espacio la Saliut 1, con un peso de 18 toneladas. En junio, la nave Soyuz 11 se acopló a la estación Salyut 1 y su tripulación de tres hombres entró en ella para realizar un vuelo que alcanzó el récord de 24 días. En ese tiempo llevaron a cabo numerosos experimentos biológicos y estudios sobre recursos de la Tierra. Sin embargo, a su regreso a la Tierra ocurrió una tragedia y los tres cosmonautas soviéticos — Georgi T. Dobrovolsky (1928–71), Vladislav N. Volkov (1935–71), y Víctor I. Patsayev (1933–71) — perecieron a causa de una fuga de aire en una válvula. Su muerte fue instantánea al no tener puestos los trajes espaciales.

El accidente detuvo el programa espacial soviético pero luego el programa de las Salyut continuó desarrollándose con éxito y ya la Salyut 6 (septiembre de 1977-julio de 1982) y la Salyut 7 fueron visitadas por numerosas tripulaciones internacionales de países como Cuba, Francia e India, así como por la primera mujer que realizó un paseo espacial: Svetlana Savitskaya (1948-). La caminata que duró casi 4 horas se produjo un 25 de julio de 1984. Este mismo año se produjo uno de los acontecimientos más importantes del programa Sayuz-Saliut cuando la tripulación integrada por Leonid Kizim (1941-), Vladímir Soloviov (1946-) y el médico Oleg Atkov (1949 -)

pasaron 237 días a bordo de la Salyut 7 antes de regresar a la Tierra; fue el vuelo más largo de la época.

El programa soviético perseguía el objetivo de perfeccionar la tecnología de las estaciones orbitales con el diseño de una capaz de experimentar una progresiva ampliación de sus módulos de acuerdo con las demandas del propio proyecto y que garantizara las facilidades para una larga estadía de tripulantes. La primera estación espacial en cumplir estos propósitos, la Mir (paz, en ruso), fue lanzada en 1986. Constituida inicialmente por un único módulo central se expandió hasta llegar a contar con siete módulos. Astronautas de Afganistán, Alemania, Austria, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Japón, Kazajistán y Siria trabajaron a bordo de la Mir al lado de sus colegas rusos. La estación acogió a un total de 104 astronautas. Entre otras misiones relevantes merece destacarse la permanencia en 1994 de más de un año (exactamente 438 días, récord de permanencia en el espacio) del médico Valeri Polyakov (1942-). Esta misión de Polyakov fue compartida durante más 5 meses con Yelena Kondakova (1957-), la primera mujer en pasar una larga estancia (168 días) en el espacio. Dos años después la astronauta estadounidense Shannon Lucid (1943-), con 53 años, implantó una nueva marca de permanencia en el cosmos para una mujer cuando a bordo de la MIR se mantuvo 188 días en la estación orbital soviética.



Poco después del vuelo de Gagarin la trabajadora textil y paracaidista aficionada Valentina Tereshkova (1937-) era aceptada para ingresar en la Escuela de Cosmonautas de Baikonur. Valentina había quedado huérfana a los tres años, cuando su padre cayera combatiendo en los primeros momentos del ataque nazi a la URSS. Bastaron dos años de intenso adiestramiento para que Valentina se convirtiera en la primera mujer en el espacio, orbitando la Tierra.

Su voz llegó el 16 de junio de 1963 desde la nave Vostok 6 con un breve mensaje. A lo largo de tres días, ella circunvoló la Tierra 48 veces –lo que significa que vio un nuevo amanecer cada hora y media. "Fue impresionantemente hermoso", "como algo extraído de un cuento de hadas". Las investigaciones biomédicas sobre el efecto de las condiciones del cosmos en la mujer se iniciaron con el vuelo de Valentina.

La falta de financiamiento hizo que los astronautas que ocupaban la Mir la abandonaran en agosto de 1999; pero Rusia decidió prolongar la vida de la estación espacial y, en abril de 2000, se lanzó la nave tripulada Soyuz PM-30 con la misión de repararla. Esta última tripulación de la Mir regresó el 16 de junio de 2000. Finalmente se decidió hacer descender la estación hacia las capas densas de la atmósfera, donde se desintegraría en su mayor parte, y hundir sus restos en el océano Pacífico. La caída controlada de la Mir tuvo lugar el 23 de marzo de 2001, tal como estaba previsto. Para muchos constituyó un símbolo de la caída de otros tantos valores de la nación soviética.

En 1993 la NASA firmó un acuerdo de colaboración con la Agencia Espacial Rusa. La concertación comprendía también a Japón, Canadá y los miembros de la Agencia Espacial Europea. El proyecto concibe la construcción de una estación espacial internacional (ISS, en inglés) a un coste aproximado a unos 60.000 millones de dólares. Se estima que para su montaje en una órbita terrestre serán necesarios más de 40 vuelos espaciales. La ISS podrá acoger a una tripulación permanente de siete astronautas para continuar el estudio del cosmos, las investigaciones biomédicas y las modernizaciones de los sistemas de a bordo y de exploración extravehicular. Para fines de siglo se había acoplado como resultado de esta cooperación tres módulos de los 10 elementos que se preveían para la estación en pleno funcionamiento. La estación fue inaugurada por una tripulación ruso-estadounidense el 2 de noviembre de 2000. Un año después, los socios del proyecto aprobaron el inicio del negocio turístico en el cosmos con el viaje a la Estación de un acaudalado estadounidense, quien permaneció seis días a bordo de la ISS a principios de mayo.

Nuestro conocimiento actual sobre Marte procede esencialmente de las exploraciones estadounidenses desarrolladas entre 1964 y 1976. Hoy sabemos que el planeta rojo de nuestro sistema solar presenta una atmósfera delgada por lo que el efecto de invernadero se hace débil y

su superficie es mucho más fría que la de nuestro planeta. La temperatura promedio en Marte es de -63°C con una temperatura máxima de 20°C y un mínimo de -140°C . El principal componente de la atmósfera marciana es el dióxido de carbono, en un 95,32% de su masa. En 1976, las Sondas Viking se posaron suavemente sobre su superficie ofreciendo las primeras determinaciones in situ sobre la composición de la atmósfera y el suelo marciano.



El astronauta estadounidense Niels Armstrong a punto de cumplir el objetivo supremo del Programa Apolo, al borde del Mar de la Tranquilidad, declaró: "Éste es un pequeño paso para un hombre, pero un gran salto para la humanidad". Millones de personas pudieron seguir en directo la retransmisión vía satélite del acontecimiento. Armstrong y Aldrin clavaron en el suelo lunar una bandera de Estados Unidos. El acto hizo reflexionar a no pocos sobre el simbolismo que podía entrañar. El éxito del programa Apolo fue un triunfo de la ciencia y la ingeniería estadounidense.

En julio de 1997, un nuevo programa de la NASA se puso en ejecución llevando una nave (la Mars Pathfinder) con un vehículo todo terreno a la superficie marciana. Los datos obtenidos indican que la sonda se asentó en lo que fue un entorno marciano húmedo. En general, esta misión proporcionó a los científicos importantes informaciones sobre el presente y el pasado de Marte. Las dos sondas que le siguieron terminaron en fracaso cuando intentaron entrar en la órbita de Marte.

Venus, el otro planeta vecino al nuestro, es a veces llamada el planeta hermano de la Tierra ya que los dos son muy similares en tamaño y en masa. Pero allí terminan las similitudes. La densa atmósfera de Venus hace especialmente difícil las observaciones telescópicas y la obtención de datos espectrales fiables desde nuestro planeta. Por consiguiente los conocimientos que hemos construido sobre el segundo planeta desde el Sol se basan en los datos enviados por las naves enviadas hacia este destino. El programa de la URSS para penetrar en la densa atmósfera de Venus, comenzó en agosto de 1970 con el lanzamiento de la nave Venera 6 que en apenas media hora envió datos sobre la temperatura en su superficie. Dos años más tarde el Venera 8, fue capaz de enviar datos sobre un análisis de su suelo. En octubre de 1975, dos naves de la serie Venera se posaron en la superficie del planeta y obtuvieron las primeras fotografías. La presión de 90 atmósferas (similar a la que se encuentra a 900 metros de profundidad en los océanos de la Tierra) y una temperatura en superficie de 460°C fue registrada por vez primera en 1978, también por naves soviéticas.

En marzo de 1982, de nuevo dos naves Venera se posaron en Venus, y efectuaron los primeros análisis sobre la composición química de la atmósfera y del suelo, demostrando que la atmósfera de Venus está constituida principalmente por dióxido del carbono, casi ningún vapor de agua, y gotas de ácido sulfúrico lo que ocasiona un efecto invernadero tan intenso que explica las temperaturas registradas superiores a los 450°C una superficie más caliente que la del planeta Mercurio, el cual está más cerca del Sol. La más importante misión de los Estados Unidos hacia Venus fue el lanzamiento en 1989 desde un trasbordador espacial de la sonda Magallanes. Esta sonda remitió hacia la Tierra imágenes de radar que procesadas por técnicas de computación dieron lugar a imágenes tridimensionales espectaculares de la superficie del lucero del Alba.

Junto a los triunfos relevantes de la cosmonáutica también se han conocido los dramáticos reveses. En el intervalo de tres meses, durante 1967 se conocieron los dos primeros accidentes fatales en la historia de la conquista del cosmos. En enero, tres astronautas estadounidenses murieron durante un ensayo en la Tierra, víctimas del incendio desatado en el módulo de control de la tripulación. En abril se probaba una nueva generación de naves soviéticas, la Sayuz -1, diseñada para producir el acoplamiento orbital, y con un compartimiento más amplio para llevar a tres cosmonautas, cuando ya de regreso al ingresar en la atmósfera el sistema de frenado falló y la nave se estrelló contra la superficie terrestre provocando la muerte instantánea del piloto.

El programa soviético se reinició dos años más tarde y luego en 1971, una misión en nave Sayuz, tras 224 días de exitosa estancia en la primera estación orbital Saliut, cuando regresaba a Tierra la nave se desintegró y sus tres tripulantes perecieron.

La fiabilidad de los sistemas parecía haber aumentado y durante más de 15 años no se reportaron accidentes que lamentar pero en enero de 1986, el transbordador estrella de la NASA, el Challenger, tras 75 segundos de vuelo, se convirtió en una bola de fuego y sus siete tripulantes - dos mujeres y cinco hombres- murieron. Las conmovedoras escenas televisivas transmitieron al mundo la magnitud de la tragedia. El accidente paralizó el programa de vuelos hasta que se analizaron y volvieron a diseñar todos los sistemas. Una comisión presidencial, en que participara el veterano astronauta Neil Armstrong, culpó del accidente a la NASA y a sus sistemas de control de la calidad. Sólo dos años después hizo su aparición el nuevo transbordador, el Discovery.



En 1985 el ingeniero Roger Boisjoly comenzó a trabajar en la mejora de los "anillos O" ("O-ring seals") del Challenger y se sintió frustrado con el lento progreso y la poca atención prestada por la gerencia de la compañía al equipo creado para realizar las tareas relacionadas con dichos sellos. En reunión previa al dramático despegue expone los datos que aconsejaban postergar el lanzamiento de la nave y es ignorado por los ejecutivos comprometidos con el programa de la NASA.

La Sociedad Americana para el Desarrollo de las Ciencias otorgó a Boisjoly el "Premio a la Libertad Científica y Responsabilidad" por su honestidad e integridad en los eventos que se presentaron antes y después del desastre de la nave espacial.

Ya en el siglo XXI, en 2003, el transbordador Columbia al regreso de una expedición de 15 días con una tripulación de 7 cosmonautas, se desintegró cuando faltaban 16 minutos para pisar tierra firme. Era primera vez en 42 años de vuelos tripulados estadounidenses que un accidente se registrara durante el regreso de la nave.

La humanidad conoció así de programas riesgosos de vuelos tripulados que buscaron un efecto político a costos desproporcionados, supo de proyectos trasnochados que pretendieron trasladar las conquistas espaciales al terreno de "los escudos bélicos espaciales" y de las nuevas generaciones de misiles y antimisiles con ojivas nucleares; esquemas todos que resultaban una ofensa a los países históricamente condenados al subdesarrollo, y recibió por otro lado con optimismo los planes racionales de colaboración entre las naciones desarrolladas que promovieron la expansión de los conocimientos del hombre sobre su cuna mayor: el infinito universo.

Uno de estos logros se ejemplifica con el programa de instalación en órbita del telescopio espacial Hubble en 1990. Fruto de la cooperación de la Agencia Espacial Europea y la NASA el telescopio alcanzaba una resolución 10 veces superior a la mejor obtenida desde los telescopios terrestres y se diseñaba para realizar observaciones en la región del espectro visible y ultravioleta con una capacidad inimaginable 50 años atrás para escudriñar las regiones más remotas del universo. Adicionalmente, la necesaria corrección de un error de fabricación de su espejo principal y la modernización progresiva de sus dispositivos han sido tareas resueltas por misiones de astronautas que aproximando sus naves al telescopio han salido al espacio para desarrollar con éxito las tareas encomendadas.



Cuando en 1990 se puso en órbita un telescopio espacial, el Hubble, las observaciones astronómicas entraban en una nueva época de insospechados descubrimientos cósmicos. Ahora los astrónomos comenzarían a burlarse del "espeso velo" de la atmósfera terrestre. Propiamente se trataba de un laboratorio telescópico con el instrumental óptico más moderno de este siglo.

Sin embargo, pronto las deformaciones de las imágenes recibidas acusaban un error en la fabricación del espejo principal del equipo. Tres misiones de cosmonautas de la NASA entre 1993 y 1999 se ocuparon primero de corregir el defecto de fabricación y luego de renovar o incorporar nuevas técnicas al laboratorio telescópico. Colisiones entre galaxias, impacto de cometa sobre la superficie de Júpiter que altera su atmósfera,

estrellas en proceso de formación que se encuentran en el interior de nubes de polvo y gas, nueva estimación del número de galaxias y de la edad del universo que ahora adquiere como fecha de nacimiento unos 14 mil millones de años atrás son algunos resultados de las espectaculares observaciones telescópicas.

El nacimiento de la Electrónica y del universo de la Informatización

Si el mundo de la electrónica comprende la ciencia y la tecnología relacionadas con el movimiento de las partículas cargadas en un gas, en el vacío, o en un semiconductor, entonces la invención de la válvula de oscilación o tubo de vacío le dio a la tecnología inalámbrica su primer impulso y marcó el inicio de la nueva ciencia de la electrónica. Correspondió este honor al físico británico John Ambrose Fleming (1849-1945).

En 1899 Fleming se hizo consultante de la Compañía de Marconi. Por entonces la telegrafía inalámbrica se encontraba en su infancia y Marconi estaba experimentando constantes innovaciones para aumentar la distancia que podía alcanzarse. Fleming quedó absorbido con esta cuestión y comprendió que el principal problema provenía de la escasa sensibilidad del dispositivo detector de las señales. En noviembre de 1904 Fleming patentó su válvula de oscilación llamada así por la analogía observada con la válvula de un fluido que permite solo el movimiento del flujo en una sola dirección. El diodo de tubo de vacío, como más comúnmente se conoció, estaba constituido por un filamento caliente que emite electrones de acuerdo con el efecto Edison y una placa, el ánodo, que es el colector de electrones. En este dispositivo la corriente circula sólo cuando esta placa es positiva respecto al cátodo. Si se aplica un potencial alterno a la placa, la corriente pasará por el tubo solamente durante la mitad positiva del ciclo, actuando así como rectificador. La válvula de Fleming fue el primer diodo que se utilizó en la radio como detector y rectificador.



El físico británico John Ambrose Fleming (1849-1945) sintió un interés inicial por la Química y dio sus primeros pasos en el laboratorio de Frankland, pero luego quedó fascinado al conocer de los trabajos de Maxwell y pasó a investigar en el campo de la electricidad y el magnetismo en Cambridge donde alcanzó el doctorado en ciencias. Unos años después trabajó en los laboratorios de Edison en los Estados Unidos y allí pudo conocer de primera mano el descubrimiento conocido como Efecto Edison que indicaba la emisión de electrones por un filamento caliente en un bulbo de iluminación.

A su regreso a Londres, en 1885 el Colegio Universitario de Londres (UCL) le solicitó fundara un nuevo departamento de Ingeniería Eléctrica, en el cual él se desempeñaría como profesor durante 41 años. Compartió la docencia universitaria con la investigación y en 1904, luego de identificar como uno de los problemas a resolver en la naciente industria de la telegrafía inalámbrica la pobre sensibilidad de los detectores, inventó el primer diodo que se utilizó en la radio como detector y rectificador.

Pero el más importante hito de los primeros tiempos de la electrónica llegó en 1906 cuando el físico e inventor estadounidense Lee De Forest (1873 – 1961) colocó un tercer electrodo, como una rejilla, en la válvula de Fleming, y así inventó el tubo triodo al que llamó audión. Un pequeño cambio en el voltaje de la rejilla provocaba un notable cambio en el voltaje de la placa. De modo que fue el audión el primer amplificador. Todavía debieron pasar cinco años para mejorar el vacío en el audión y añadir un revestimiento eficiente de óxido en el cátodo para obtener un dispositivo confiable. Este fortaleció la corriente a través del tubo, amplificando las débiles señales del telégrafo y también de la radio.

En los círculos británicos se ha creado cierto estado de opinión sobre la novedad de la patente de De Forest en relación con la válvula de Fleming. El inventor de la tecnología termoiónica disputó en las cortes la originalidad de la propuesta de De Forest y su opinión fue desestimada por los jueces.

En 1912 De Forest desarrolló un circuito de retroalimentación que podría incrementar la salida de un transmisor de radio y producir corriente alterna. Es difícil admitir la afirmación de que no apreció correctamente la importancia de su invención y por ello no solicitara la patente hasta 1915 cuando ya lo había hecho el profesor de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Columbia, Edwin Howard Armstrong (1890- 1954). El circuito regenerador de Armstrong constituyó un progreso en la radiofonía porque podía amplificar débiles señales de radio sin distorsión. De Forest apeló ante los jueces y casi 20 años después la Corte falló a su favor pero en la comunidad de electrónicos el crédito le fue dado a Armstrong.

Ambos debieron hacer invenciones trascendentes en la tecnología de los medios de comunicación. De Forest en la década de los 20 encontró una forma de registrar el sonido sobre la cinta de la película. Esto llevó directamente a la creación de las imágenes animadas con movimiento y con sonido. Solicitó la patente en 1921 y le fue otorgada en 1924. Desde entonces intentó atraer la industria del cine hacia su tecnología y sin embargo los cineastas no mostraron interés. Irónicamente las primeras tentativas del cine hablado no usaron la patente de De Forest pero años después aplicaron su método.



De Forest, pionero del mundo de la tecnología de la radio, había estudiado en uno de los pocos centros estadounidenses que por entonces ofrecía una formación científica de primera clase, la Universidad de Yale, donde obtuvo en 1899 el doctorado en Ciencias Físicas, defendiendo la tesis titulada "Reflexión de las ondas hertzianas desde los terminales de alambres paralelos". Luego siguió investigando sobre las ondas de radio, desarrolló y perfeccionó el receptor del telégrafo inalámbrico y en 1906 inventó el triodo una de las primeras conquistas en la revolución inicial de la Electrónica.

Impugnado primero por Fleming ante las cortes, y luego por Armstrong al reclamar la autoría del circuito retroalimentador por el que Lee reclamaba su derecho de patente, es De Forest un ejemplo de la encarnizada y con frecuencia desleal competencia que se desató entre los pioneros de dos de las conquistas más importantes en los medios masivos de comunicación del siglo XX: la radio y la televisión.

En 1933, Armstrong inventó el sistema de modulación de frecuencia (FM), que brindaba una mejor calidad en la recepción del sonido y lograba reducir las interferencias en comparación con el sistema de amplitud modulada (AM). Unos 5 años después el primer receptor de frecuencia modulada era disponible. Sin embargo la FM no comenzó a utilizarse hasta después la 2da Guerra Mundial, y los derechos de autor de Armstrong fueron ignorados, lo que sumergió al inventor en la pobreza y depresión. Sólo después de su dramática muerte (se lanzaría por la ventana de su apartamento neoyorkino a una altura de trece pisos) su viuda logró que primero la RCA (Radio Corporation of America) y luego prácticamente todas las compañías que usaban la FM le reconocieran los derechos correspondientes. Actualmente la radiodifusión por FM está ampliamente extendida.

Algo más de un lustro después de la patente de estudiante de ingeniería alemán Paul G. Nipkow (1860 –1940), que adelantaba el primer sistema de televisión electromecánico, en 1889 el ingeniero eléctrico Alan Archibald Campbell Swinton (1863 – 1930) expone en la Sociedad Roentgen de Inglaterra un esquema que en principio constituye el sistema de la tecnología televisiva actual. Otros 24 años hicieron falta para que la idea de Campbell se transformara en el primer sistema mundial de fotografía electrónica.

Por estos años, el joven ruso Vladimir Kosma Zworykin (1889-1982) estudiaba ingeniería eléctrica en el Instituto Imperial de Tecnología de San Petersburgo, habiendo asistido a su mentor Boris Rosing en el desarrollo y la exhibición en 1910 de un sistema híbrido de televisión, primitivo pero exitoso, que combinaba ingeniosamente el disco mecánico de Nipkow como cámara y como receptor el tubo de rayos catódicos inventado por el físico alemán premio Nobel de Física (1909), Karl Braun (1850 – 1918). Poco después de graduarse con honores en San Petersburgo, Zworykin emigra a Paris donde pudo trabajar en Física Teórica y en 1919 se traslada a los Estados Unidos. Durante diez años trabaja en Pittsburgh en los laboratorios de Westinghouse, obteniendo en 1923 su primera patente sobre un nuevo sistema de televisión, que

es desestimada por sus superiores que le aconsejan abandonar un proyecto impracticable. Pero Zworykin no se desalienta y en 1929 presenta en una convención de ingenieros de radio su sistema electrónico al combinar su dos ingenios: el "iconoscopio", la primera cámara de tubo electrónico, con su "cinescopio" un tubo de rayos catódicos más sofisticado como receptor de la imagen. Uno de los problemas que supo resolver Zworykin para hacer eficiente su iconoscopio fue desarrollar un método que permitiera el depósito uniforme de más de un millón de elementos fotosensibles de plata cubiertos con óxido de cesio en la placa de la cámara.



El joven ingeniero ruso Vladimir K. Zworykin había desarrollado en el Instituto Imperial de San Petersburgo un sistema híbrido de televisión, primitivo pero exitoso, que combinaba ingeniosamente el disco de Nipkow como cámara y como receptor el tubo de rayos catódicos. Luego de su graduación como ingeniero se sintió atraído por la física teórica y realizó estudios con Langevin en el Collège de France sobre los rayos X pero no alcanzaría su doctorado en Física hasta 1920 en la Universidad de Pittsburgh, tratando su disertación sobre el mejoramiento de las celdas fotoeléctricas.

Casi 20 años después trabajando en los Estados Unidos para los laboratorios Westinghouse desarrolla el primer sistema televisivo totalmente electrónico (cámara y receptor). Corría el 1929 y suponía estar a 18 meses de la fabricación de un equipo comercial pero cometió un grave error solo 10 años más tarde estuvo listo el aparato. Hoy se estima que una cifra cercana a los mil millones de equipos se fabrican usando esencialmente la misma tecnología propuesta en el modelo de 1939 de Zworykin.

Cuando David Sarnoff (1891–1971), directivo de la RCA Victor, se interesó por el proyecto, Zworykin aseguró que con una inversión de unos 100 mil dólares en el plazo de 18 meses estarían resueltos los problemas pendientes para disponer de una tecnología factible. Se equivocó en ambas predicciones, la empresa debió invertir 50 millones y el sistema no estuvo listo hasta diez años después. El ingreso de los Estados Unidos en la 2da Guerra Mundial detuvo la difusión de la industria televisiva., aunque continuaron los estudios para perfeccionar sobre todo la sensibilidad de los elementos. Durante los años de la guerra, un grupo de científicos e ingenieros dirigidos por Zworykin desarrollaron una cámara 100 veces más sensible que el iconoscopio y al terminar la guerra, la RCA reinició sus trabajos en este campo.

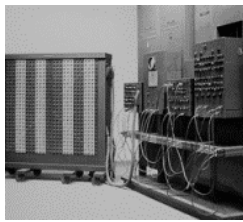
En 1946 se vendieron unos 7,000 equipos en los Estados Unidos. Para 1950, la cifra de televisores superaba los 10 millones. Hoy, con la entrada del gigante asiático en la producción seriada se estima que una cifra cercana a los mil millones de equipos se fabrica usando esencialmente la misma tecnología propuesta en el modelo de 1939 de Vladimir Zworykin. Al final de su vida, lamentó el uso y abuso que hacían los medios televisivos de la trivialización y la violencia en lugar de ponerse en función del enriquecimiento educativo y cultural del público.

A principios de la década de los 40, el doctor en ciencias físicas, profesor de la Universidad de Pensilvania, John William Mauchly (1907-1980) escribió un memorando titulado: "Utilización de Tubos al Vacío de Alta Velocidad par realizar Cálculos" Este memorando abrió las puertas para que Washington aprobara el presupuesto para emprender la construcción de una computadora electrónica. Entre 1943 y 1946, Mauchly, como consultante principal, y el ingeniero eléctrico John Presper Eckert (1919 - 1995), como ingeniero jefe, ambos de la Universidad de Pensilvania, dirigieron el programa patrocinado por la sección de artillería del ejército estadounidense para los laboratorios de investigación balística.

Fruto de este proyecto fue la primera computadora electrónica, conformada por 30 unidades independientes que totalizaban una masa de 30 toneladas, y representaba un sistema ensamblado de 18 000 tubos de vacío, 70 mil resistores, 10 mil capacitores, 6 mil interruptores manuales, y otros componentes electrónicos con sus diversos acoplamientos. La ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) representó entonces la mayor colección de circuitos electrónicos interconectados. Aunque se concluyó tarde para contribuir a los servicios militares en la II Guerra Mundial, prestó asistencia durante el período de la guerra fría en los cálculos relacionados con la fabricación de la bomba de Hidrógeno.

La ENIAC demostró su alta velocidad de procesamiento utilizando los tubos de vacío o bulbos que representaban la más alta tecnología de punta de la época. Podía ejecutar 5,000 adiciones, 357 multiplicaciones, y 38 divisiones en un segundo. ENIAC estuvo en funcionamiento hasta 1955 con mejoras y ampliaciones, y se afirma que durante su vida operativa realizó más cálculos matemáticos que todos los realizados anteriormente por la humanidad. Esta primera versión fue perfeccionada por los autores en los siguientes modelos conocidos por EVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) y finalmente, para 1951 habían producido el primer modelo de computadora digital comercial que recibió el nombre de UNIVAC (Universal Automatic Computer). Fue la primera en utilizar un compilador o autoprogramador para traducir idioma de programa en idioma de máquinas.

En la década de los 50 el ingeniero eléctrico estadounidense Seymour Cray (1925-1996) trabajaba en el diseño y fabricación de las primeras supercomputadoras, ingenios que los expertos clasificaban así, cuando eran capaces de efectuar 20 millones de operaciones matemáticas por segundo. El nombre de Cray se relaciona en particular con la primera supercomputadora comercial, la UNIVAC 1103 fabricada en 1953 por la corporación Remington Rand. Su afán de diseñar computadoras más potentes, con mayor velocidad de procesamiento lo lleva a fundar ya en los setenta su propia compañía de investigación que continua diseñando nuevas versiones de computadoras capaces de realizar hasta 1 200 millones de operaciones de cálculo por segundo.



Un duro golpe recibieron los inventores de estas primeras versiones de computadora digital cuando un tribunal en 1973 le revocó el derecho a la patente de invención de la ENIAC por considerar que en 1941, Mauchly tuvo la oportunidad de conocer la tecnología de la llamada ABC (Atanasoff-Berry Computer) desarrollada en 1939 por el físico estadounidense de origen búlgaro, John Vincent Atanasoff (1903-1995) y su asistente Clifford E. Berry (1918 -1963) , y aplicar sus principios técnicos a la fabricación de la computadora ENIAC. De cualquier manera los trabajos de Mauchly y Eckert quedan como un monumento en los primeros pasos de las computadoras electrónicas. En ENIAC ya aparecieron casi todos los componentes y conceptos de las computadoras digitales de alta velocidad actuales.

Gracias a estas poderosas máquinas los científicos e ingenieros pueden llevar a cabo procedimientos matemáticos muy complejos que los ayudan a analizar una vasta cantidad de datos y predecir que ocurrirá en procesos de disímil naturaleza que alcanza hasta el pronóstico del clima. Cray muere víctima de un accidente del tránsito sin haber conocido los éxitos comerciales. Estamos a dos décadas del lanzamiento del primer microprocesador capaz de efectuar 60 mil operaciones por segundo, para que este dispositivo apareciera en escena se necesitó la invención de los semiconductores.

Apenas concluida la Guerra, los Laboratorios Bell apostaron por la investigación fundamental orientada a la sustitución de los tubos de vacío que no eran muy seguros, principalmente porque ellos generaban una gran cantidad de calor, y sus filamentos tenían una vida útil limitada. Para cumplir este propósito en 1945 un grupo de físicos del estado sólido fue formado teniendo como uno de sus más importantes objetivos específicos tratar de desarrollar un amplificador en el estado sólido.

En el listado de este grupo se incluían tres físicos Walter Houser Brattain (1902-1987), John Bardeen (1908-1991), y William Shockley (1910-1989) que unían a una experiencia importante en el campo de la Física Experimental, un conocimiento profundo del legado de las investigaciones teóricas conducidas por Arnold Sommerfeld, John Hasbrouck van Vleck (1899-1980), Nevill Francis Mott (1905-1996), y otros científicos de todo el mundo.

En 1947, Brattain y Bardeen comprobaron experimentalmente que si sobre la superficie de un cristal de germanio se presionaban dos alambres de oro muy cercanos, entonces el voltaje de salida (con respecto a la base de germanio) hacia el colector de prueba era mayor que el de entrada al emisor. Así había nacido el amplificador en el estado sólido. Pero estos primeros transistores fueron muy malos, tenían baja ganancia, un bajo ancho de banda y resultaron ruidosos. Entonces fue Shockley quien reconoció que las dificultades de este dispositivo se relacionaban con los contactos de puntos metálicos y en consecuencia propuso casi inmediatamente el transistor de junta, elaborando en lo esencial la teoría de su operación. Era un dispositivo que en vez de la corriente de conducción presente en un tubo basaba su operación en la difusión. El nuevo dispositivo tenía además portadores de carga de ambas polaridades operando simultáneamente, es decir eran mecanismos dipolares. La teoría predecía que el nuevo dispositivo permitiría la conducción de altas densidades de corriente a bajos potenciales aplicados.



La invención de los transistores es acaso una prueba irrefutable de la fusión de la ciencia y la técnica en este siglo para producir los mas revolucionarios elementos electrónicos de la época. Sus principales protagonistas fueron tres eminentes físicos estadounidenses que merecieron, por primera vez en la historia de la Academia Nobel, su galardón en Física por la invención de un dispositivo de ingeniería y el desarrollo de la ciencia que lo anunció. Shockley, uno de estos brillantes físicos mostró, junto a su reconocido talento, una visión reaccionaria y racista de los problemas de la humanidad y su solución por la vía de la depuración genética. Sus discípulos y la mayoría de la comunidad científica rechazaron enérgicamente los repugnantes postulados de Shockley.

La posibilidad de obtener aparatos de gran importancia práctica sin filamentos calentados fue inmediatamente reconocida. Sin embargo consideraciones teóricas predecían también que el transistor no podría ser fiable y seguro sino eran disponibles cristales simples de ultrapureza. Tres cortos años mediaron entre el descubrimiento de la amplificación en un sólido, la invención del transistor y su fabricación como producto comercial, un diminuto aparato electrónico capaz de sustituir ventajosamente las funciones de los tubos de vacío apareció en 1952.

En 1956, Bardeen, Bradain y Shockley recibieron el premio Nobel de Física. Fue la primera ocasión en que la Academia Nobel otorgó el galardón por la invención de un dispositivo de ingeniería y el desarrollo de la ciencia que lo anunció. Los transistores fueron usados por el público por primera vez en 1953, en la forma de amplificadores para los aparatos contra la sordera. En 1954 se desarrolló la radio de transistores y en febrero de 1956 el Laboratorio de Computadoras Digitales de MIT empezó a desarrollar en colaboración con IBM una computadora transistorizada.

Bardeen fue el primer científico que ganó dos premios Nobel en la misma disciplina, su segundo galardón le fue conferido en 1972, también en forma compartida con Leon N. Cooper y John R. Schrieffer, esta vez por sus investigaciones en el campo de la superconductividad. El químico británico Frederick Sanger (1918-) por sus trabajos fundamentales para el despegue de la ingeniería genética mereció igual distinción en 1958 y luego en 1980.

En 1954, el físico - químico estadounidense Gordon Teal (1907 - 2003), trabajando en los laboratorios de investigación de Texas Instruments descubre que los transistores pueden ser fabricados de silicio puro, describiendo el primer transistor verdaderamente apropiado para la producción masiva. Un año después los ingenieros Carl Frosch y Link Derick de los Laboratorios Bell descubren que el dióxido de silicio puede actuar como una máscara de difusión. Es decir descubren que al calentar una pastilla de silicio a 1200°C en una atmósfera de vapor de agua u oxígeno, una capa delgada de dióxido de silicio se forma en la superficie.



Después de la invención del transistor, según testimonios del propio Bardeen, el clima de trabajo en el laboratorio tomó un giro inesperado. Shockley se mostraba resentido con haber compartido la invención y llegó a bloquear el trabajo de su colega en el área del perfeccionamiento del transistor. Esto provocó su traslado a la Universidad de Illinois en 1951, en donde concentró su atención en las investigaciones de la superconductividad mostrada por los metales a temperaturas muy bajas.

En 1957, junto con su discípulo post-doctoral Leon Cooper y su asistente graduado John R. Schrieffer, Bardeen desarrolló la primera teoría sobre cómo los metales a muy bajas temperaturas eran capaces de conducir la corriente tan eficientemente. En la actualidad esta teoría es conocida como la teoría BCS (Bardeen, Cooper, y Schrieffer). En 1972, los tres investigadores recibieron el premio Nobel por este trabajo. Bardeen se convertía así en el primer científico en recibir dos veces el premio Nobel en la misma disciplina.

Con la grabación selectiva de la capa de óxido, se podía difundir impurezas en el silicio para crear las juntas P-N. Es entonces que el doctor en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Estatal de Ohio, John L. Moll (1921-), desarrolla el transistor de silicio de completa difusión, en el cual las impurezas son difundidas en la pastilla mientras los elementos activos son protegidos por la capa del óxido. Ya en esta década el silicio comienza a desplazar al germanio como el material semiconductor que se expande a la producción de casi todos los transistores modernos.

La ciencia y la tecnología de los semiconductores tomarían diversos senderos. Otro trío de físicos se encuentran entre los científicos de la época que hicieron aportaciones notables al desarrollo de la teoría de los semiconductores: John Hasbrouck van Vleck (1899-1980), conocido como "el padre del magnetismo moderno", su discípulo de Harvard, Philip Warren Anderson (1923-), y el británico Nevill Francis Mott (1905-1996). No solo impulsaron el desarrollo inicial de la teoría de las transformaciones de los semiconductores, que se conocen actualmente como transiciones de Mott, sino que abrieron una nueva perspectiva en las investigaciones cuando a partir del descubrimiento en 1958 del fenómeno llamado "localización de Anderson" centran la atención no en los semiconductores cristalinos utilizados convencionalmente, sino en el comportamiento de materiales amorfos que han hecho posible el desarrollo de dispositivos de memoria fabricados a partir del vidrio.

En 1963 el físico bieloruso Zhores I. Alferov (1930 -) y el físico alemán Hebert Kroemer (1928-) postularon de forma independiente, el principio del llamado láser de heteroestructuras. La aplicación de la teoría desarrollada por ambos científicos les permitió crear estructuras de semiconductores dispuestos en capas para la fabricación de los transistores de alta velocidad utilizados en las estaciones de la telefonía móvil y el desarrollo de los diodos de láser empleados en los reproductores de CD y para impulsar los flujos de información en los cables de fibra óptica de Internet. En el 2000 compartieron el Premio Nobel de Física con el inventor estadounidense Jack S. Kelby.



Aunque Jack Kilby archiva más de 60 patentes de invención podría ser considerado el más fecundo ingeniero eléctrico de todos los tiempos por una sola invención: el circuito integrado monolítico o microchip. Kilby había obtenido en 1958 una plaza de investigador en la compañía Texas Instruments en Dallas, y un año después había concebido y creado un diminuto circuito monolítico integrado en una pieza simple de material semiconductor del tamaño de un anillo de dedo. En la primera presentación profesional de su invento, en el Instituto de Ingenieros de Radio (IRE) en 1959, sus colegas ingenieros quedaron atónitos.

En 1961 fabrica en Texas Instruments la primera computadora usando circuitos integrados y seis años después inventa la calculadora de bolsillo que se convierte en el artículo electrónico más difundido en estos años. En el 2000 es galardonado con el Premio Nobel de Física.

En 1959 la industria electrónica conocería un renacimiento cuando fuera concebido y creado un diminuto circuito monolítico integrado en una pieza simple de material semiconductor del tamaño de un anillo de dedo, había llegado la época de la microelectrónica. La proeza tecnológica fue realizada por el ingeniero eléctrico estadounidense Jack Kilby (1923- 2005). Los circuitos integrados provocaron cambios revolucionarios en la fabricación de equipamientos electrónicos,

que ganaron en capacidad funcional y en fiabilidad al tiempo que se conseguía reducir el tamaño de los equipos y disminuir su complejidad física y su consumo de energía. La tecnología de las computadoras pronto se beneficiaría especialmente por las bondades de esta invención. Una ola de perfeccionamientos ha venido aumentando constantemente la capacidad funcional de los circuitos integrados.

Una década después de la invención del microchip, Gilbert Hyatt (1938-) dio un paso trascendente cuando concibió en un circuito integrado todos los elementos necesarios para operar un microprocesador. Hyatt solicitó la patente en 1970, pero un año después, cuando esta solicitud seguía los trámites requeridos en la oficina de patentes, Gary W. Boone a la cabeza de un equipo de la Texas Instruments (TI) creó el primer microcontrolador comercialmente viable (TMS100). En 1990 la US Patent Office concedió el derecho de autoría a Hyatt pero 5 años más tarde un tribunal declaró sin efecto este reconocimiento acreditando a Boone y la TI los derechos de invención.

En el propio 1971, un colectivo de la Corporación Intel encabezados por el doctor de la Universidad de Padua, Federico Faggin (1941-), el PhD en ingeniería eléctrica, Marcian Edward "Ted" Hoff, Jr. (1937-) y el especialista en software Stanley Mazor (1941-), crearon la primera unidad central del procesador (CDU) totalmente integrada en un chip, el microprocesador 4004 (4-bit) de la Intel fue el primero en el mercado. A 35 años de la aparición de la ENIAC surgía el dispositivo que en 1/8 de pulgada de ancho y 1/6 pulgada de largo presentaba la misma capacidad de procesamiento que el enorme sistema constituido por 18 000 tubos de vacío. En 1974 apareció el Intel 8080 (8-bit), dieciséis veces más potente. Este fue el hardware de la primera microcomputadora popular la Altair 8800. Los microcontroladores no sólo van a permitir el lanzamiento de las computadoras personales, sino que encontraron un amplio empleo en televisores, lavadoras, hornos microwave y otros equipos electrónicos.



Cuando en 1957 trabajaba en la Corporación Sony el físico japonés Leo Esaki (1925-) descubrió el efecto túnel en los semiconductores y desarrolló un nuevo tipo de diodo, el diodo túnel con uniones eléctricas de un espesor de diez milésimas de micra a través del cual los electrones podían pasar. El diodo Esaki se considera el primer dispositivo electrónico cuántico. Sus trabajos en la década de los sesenta con las superredes, cristales sintéticos compuestos por capas extremadamente finas de diferentes semiconductores no sólo sirvieron para demostrar la validez de la teoría cuántica sino que encontraron aplicación en los ordenadores a altas velocidades.

A inicios de los 70, las compañías fabricantes de computadoras se encontraban enfrascadas en perfeccionar grandes sistemas informáticos para su introducción en la industria y en otras actividades macroeconómicas. Pasó inadvertida para los grandes inversionistas la oportunidad que brindaron los microprocesadores en la fabricación de pequeñas computadoras para el hogar. Un joven ingeniero investigador, Ed Roberts (1942-), propietario de una pequeña empresa de calculadoras al borde de la quiebra, aceptó el desafío de endeudarse con el objetivo de fabricar una pequeña computadora basada en los recientes desarrollos del microprocesador de Intel, que logró comprar al increíble precio de 500 dólares. Roberts bautizó la computadora como Altair 8800 y la lanzó al mercado en la portada del primer número de 1975 de la revista "Popular Electronics". El crédito obtenido por Roberts suponía una recapitalización por concepto de la venta de unas 800 máquinas al año. El fin de semana de la publicación de la Revista estaba recibiendo 30 llamadas diarias interesándose por la computadora.

Los usuarios de la Altair tenían que programarla en código de máquina. Conocedores de las bondades del popular lenguaje Basic inventado en 1964 por John George Kemeny (1926 - 1992) y Tom Kurtz, los jóvenes Bill Gates (1955-) y Paul Allen (1953-), comprendieron que la Altair pudiera ser mucho más eficiente y cómoda si los usuarios pudieran programarla en este lenguaje. La emprendedora pareja propuso a Roberts un intérprete del Basic para la Altair. Roberts estuvo

de acuerdo y en seis semanas compró el programa de Gates y Allen y contrató al último como programador de software. Allen y Gates poco después fundaron la Microsoft Corporation.

En 1977, los jóvenes diseñadores de computadoras Stephen Wozniak (1950-) y Steve Jobs (1955-) introdujeron el Apple II, un ordenador personal capaz de generar gráficos en color, con su propio teclado, fuente de alimentación y ocho plazas para dispositivos periféricos, que permitían a los usuarios amplias posibilidades de incorporar dispositivos y programas de software complementarios. Pronto la Apple Computer Company se convertiría en el negocio de más rápido crecimiento en la historia de Estados Unidos. En enero de 1983 Apple presentó el Lisa, un ordenador personal diseñado para la empresa que incorporaba el ratón o mouse para seleccionar comandos y controlar un cursor en pantalla.

Un software básico para el control de una computadora, el sistema operativo con una interfaz de línea de comandos fue diseñado en 1980 por el joven programador estadounidense Tim Paterson (1956-), que lo nombró como Quick and Dirty Operating System, QDOS. Microsoft se lo compró en 50 000 dólares para cumplir el encargo de la IBM que necesitaba un sistema operativo para la primera computadora personal que lanzaría al mercado en 1981, la IBM PC, y lo llamó MS-DOS.



El lanzamiento de Windows en 1985 representó un boom para Microsoft, fundada una década antes por Bill Gates (1955-) y Paul Allen (1953-). El nuevo sistema operativo ampliaba las posibilidades ofrecidas por el MS-DOS y ofrecía por primera vez una interfaz gráfica de usuario (Graphical User Interface, GUI). Este nuevo tipo de entorno permitía al usuario elegir comandos, ver listas de archivos y otras opciones utilizando las representaciones visuales (iconos) y las listas de elementos del menú. Nuevas versiones de Windows que mejoraban el rendimiento y el apoyo visual a las operaciones de la máquina se convirtieron rápidamente en los sistemas operativos más utilizados en el mundo.

En 1990 Microsoft pasó a ser la empresa líder de programas informáticos y alcanzó unas ventas anuales de más de mil millones de dólares.

En 1984 Microsoft había otorgado licencias de MS-DOS a 200 fabricantes de equipos informáticos y, así, este sistema operativo se convirtió en el más utilizado para PC, lo que permitió a Microsoft crecer vertiginosamente en la década de 1980.

En 1980 Timothy Berners-Lee (1950-), egresado en Física de la Universidad de Oxford, era consultante en el CERN (Consejo Europeo para la Investigación Nuclear). La implementación del trabajo en red de esta multinacional institución resultaba muy compleja porque los investigadores del sistema empleaban diferentes técnicas, protocolos y equipos. Berners-Lee consagró entonces todo su tiempo libre a la elaboración de un programa de almacenamiento de datos llamado "Enquire-Within-Upon-Everything," capaz de vincular cualquier punto en el sistema. Este programa fue el fundamento conceptual de lo que llegó a ser la WEB.

Nueve años más tarde Berners-Lee escribió "Information Management: A Proposal" En vez de estandarizar el equipamiento o el software se crearon patrones para la data y un sistema universal de dirección. De esta manera cualquier documento en Internet podía ser recuperado y visto. En 1990, el CERN fue el mayor sitio europeo de Internet. Dos años después la WEB se distribuyó y el software del navegador se estrenó a lo largo de las instituciones del CERN y aún más allá. Entonces existían 26 servidores fiables.

Los primeros exploradores de Internet fueron funcionales pero no simples para el usuario. En 1993 Marc Andreessen (1971-) un joven programador del Centro Nacional para Aplicaciones de Supercomputadoras (NCSA), que aún estudiaba en la Universidad de Illinois, creó un nuevo explorador de la WEB que ofrecía una interfaz gráfica para explorar texto, imagen y sonido que sólo exigía apuntar y hacer click en la opción gráfica deseada. Los usuarios no necesitaban conocer nada de programación ni aún las direcciones de Internet. El explorador hacía posible de una manera muy simple para el usuario añadir sus propios materiales a la WEB. El explorador

llamado NCSA Mosaic, se distribuyó gratuitamente a través de las redes informáticas y, en 18 meses, consiguió una cifra estimada de usuarios de 2 millones, lo que propició el crecimiento espectacular de la World Wide Web.



En la compleja historia de la innovación conducente a la Internet una realización incuestionable es la invención, en el periodo entre 1989 y 1991, de la World Wide Web por el físico inglés Tim Berners-Lee. La visión de Berners-Lee fue crear una colección comprensiva de información en palabra, sonido e imagen, cada una identificada por un Identificador de Documento Universal ("Universal Document Identifier", UDI) e interconectada por vínculos de hipertexto, que permitiera usar Internet para proporcionar el acceso a esta colección de información.

Dos años después la WEB se distribuyó y el software del navegador se estrenó a lo largo de las instituciones del CERN y aún más allá. Entonces existían 26 servidores fiables.

En 1994, Andreessen y su equipo diseñaron un nuevo explorador superior al Mosaic, al que llamaron Netscape Navigator. Este navegador pronto se convirtió en el explorador más utilizado por los usuarios de Internet, y al año de su lanzamiento decenas de millones exploraban con este software la WEB.

Intel presentó la quinta generación de su línea de procesadores compatibles en 1993, que llevaría el nombre de Pentium. 21 años lo separaban del Intel 4004 que inauguró la era de los microprocesadores. Los 2 300 transistores del Intel 4004 procesaban 108 kHz, contaban con 60 instrucciones y 8kb de espacio de almacenamiento, ejecutando 60 000 operaciones por segundo. El Pentium incluyó 3.100.000 transistores (fabricado con el proceso BICMOS (Bipolar-CMOS) de 0,8 micrones), con velocidades iniciales de 60 y 66 MHz y capacidad de ejecución de 112 millones de instrucciones por segundo, verificación interna de paridad para asegurar la ejecución correcta de las instrucciones, bus de datos de 64 bit para una comunicación más rápida con la memoria externa y, lo más importante, permitía la ejecución de dos instrucciones simultáneamente.

Al cierre del siglo un equipo multidisciplinario de investigadores de los Laboratorios Bell presentan sus últimos hallazgos en la producción de un transistor impreso totalmente en plástico. Los usos potenciales de los transistores plásticos incluyen pantallas de computadoras flexibles y tarjetas inteligentes portadoras de estadísticas vitales y virtualmente indestructibles. Estos progresos se inscriben en una dirección más amplia que persigue controlar y, en algunos casos, inducir respuestas electrónicas y fotónicas en materiales poliméricos. Tales investigaciones combinan la experiencia de prácticamente cada campo tradicional del estudio tecnológico: la química y la ingeniería química, la física, la ingeniería eléctrica, la ciencia de los materiales y la biología.

El siglo XX concluía, según cálculos conservadores, con unos 150 millones los ordenadores conectados a Internet. La cifra impresiona y da una medida de hacia dónde va el mundo en materia de globalización de la información.

Los conceptos de "superautopista de la información" que eduque sobre principios sustentables e informe con objetividad sobre los problemas planetarios, se combina con la de pulpo de la información comercial, creador de gustos insípidos, inductor a patrones de consumos y espejismos de riqueza. Tal es el desafío que deben aceptar los que creen en la virtud y el perfeccionamiento humano. Se conoce ya de la intervención de Internet para diseminar rápidamente la verdad y aplastar la mentira. Contribuyamos al ejercicio de esta función. No olvidemos que ni la microelectrónica ni la informatización han llegado a las mayorías del planeta que aspira sólo a la globalización del pan, la cultura y la salud...

Así, en el siglo XX el planeta navegó entre las brumas o al filo de las guerras. Los hombres de ciencia y su actividad de investigación no escaparon de estas dramáticas realidades. Fueron marcados como científicos por la interrupción de sus planes durante uno o dos intervalos

productivos de sus vidas profesionales, y lo que es más importante, como seres humanos conocieron y sufrieron los horrores de la guerra. Embarcados en la espiral armamentista y en un estrecho chovinismo algunos representantes como individuos e instituciones contribuyeron al desarrollo de armas horribles. La empresa atómica llamó a las puertas en uno de los momentos más oscuros de la historia de la humanidad y los físicos jugaron un importante rol en esta tarea. Pero la mayoría, y algunos aún antes del lanzamiento de la bomba atómica, comprendieron los desafíos impuestos a la humanidad por la era nuclear y lucharon decididamente por detener el desarrollo de tales armas.

En el ámbito gnoseológico, se abrió paso en el siglo XX una Revolución en la Física que supuso la superación de profundas crisis en el campo de las ideas, y el advenimiento de lo que se ha dado en llamar un cambio de paradigma.

En el progreso científico técnico, la fusión de la Física con la Técnica como expresión concreta de las necesidades y posibilidades que se dieron en este siglo resonó sobre el resto de las Ciencias y fue responsable del repertorio de realizaciones materiales alcanzado en todas las esferas de la sociedad contemporánea.

La irracionalidad del orden mundial establecido es la causa principal de que coexistan al lado de los colosales avances impulsados por el desarrollo de las ciencias el dramático panorama que exhibe aún el planeta.