La evolución de la ciencia y de la técnica en España

- José Luis de Justo Alpañés
- Presidente de la Real Academia Sevillana de Ciencias
- Profesor Emérito por la Universidad de Sevilla

Ciclo sobre Historia y Filosofía de la Ciencia y de la Técnica

Índice

- **1. Introducción**
- **2. San Isidoro de Sevilla**
- **3. La ciencia en la España árabe**
  - 3.1 Abbas Ibn Firnas
  - 3.2. Abulcasis
- **4. La Edad Media Cristiana**
  - 4.1. La construcción naval
- **5. Los siglos XVI y XVII**
  - 5.1. La carrera de Indias, navegación, ingeniería
  - 5.2. La metalurgia
  - 5.3. Miguel Servet
- **El siglo XVIII. La Ilustración**
  - 6.1 Jorge Juan
  - 6.2. Antonio de Ulloa
  - 6.3. Los hermanos Erlhuyar
  - 6.4. Agustín de Betancourt y Molina

Índice (continuación)

- **7. El siglo XIX. Las guerras de la independencia y carlista**
  - 7.1. Andrés Manuel del Río
  - 7.2. Ildefonso Cerdá
  - 7.3. José Echegaray
  - 7.4. Las Academias
- **8. Siglos XIX al XX**
  - 8.1. Santiago Ramón y Cajal
  - 8.2. Leonardo Torres Quevedo
  - 8.3. José Eugenio Ribera
- **9. El siglo XX**
  - 9.1. Juan de la Cierva y Codorniú
  - 9.2. Ramón Iribarren Cavanilles
  - 9.3. Eduardo Torroja y Miret
  - 9.4. Severo Ochoa

1. Introducción

- España no ha sido un país decisivo en el desarrollo de las ciencias al nivel de Inglaterra, Francia, Estados Unidos, Alemania o Italia. Sin embargo ha habido aportaciones importantes que merecen recordarse.
- Por lo que respecta a la técnica, sin decir que hayamos sido los pioneros, sí podemos decir que hemos ocupado siempre un puesto relevante. Precisamente hoy vemos como las empresas españolas ganan las licitaciones para algunos de los proyectos más importantes del momento: el nuevo canal de Panamá, líneas de alta velocidad, plantas de energía solar, autopistas, plataformas petrolíferas, que revelan una tecnología avanzada.
- Vamos a ir recordando a las personas que han sabido poner el lugar de España en una posición digna dentro de la escala científica y técnica.
- Seguro que olvidaré a muchos y pido por ello excusas de antemano.

2. San Isidoro de Sevilla (Cartagena 556-Sevilla 636)

- Sucedió a su hermano Leandro en la diócesis de Sevilla y contribuyó al afianzamiento de la religión católica frente al arrianismo.
- Su obra más conocida son las *Etimologías* (hacia 634), monumental enciclopedia que refleja la evolución del conocimiento desde la antigüedad pagana y cristiana hasta el siglo VII. Este texto, escrito cuando tenía 78 años, constituye una enorme obra en la que se recoge y sistematiza todo el saber de la época.
- Gracias a San Isidoro se transmitió la cultura romana. Su obra se leyó muchísimo hasta el Renacimiento inclusive.

2. San Isidoro de Sevilla

- Libro I. Trivium: la gramática (incluida la métrica)
- Libro II. Trivium: la retórica y la dialéctica
- Libro III. Quadrivium: las matemáticas, geometría, música y astronomía
- Libro IV. La medicina y las bibliotecas
- Libro V. El derecho y la cronología
- Libro VI. Libros eclesiásticos y los oficios
- Libro VII. Dios, los ángeles y los santos: jerarquías del Cielo y la Tierra
- Libro VIII. La Iglesia y a las herejías (de las más modernas de su tiempo numera no menos de sesenta y ocho)
- Libro IX. El lenguaje, los pueblos, los Reinos, las ciudades, y los títulos oficiales
- Libro X. Las etimologías
- Libro XI. El hombre

2. San Isidoro de Sevilla

- Libro XII. Las bestias y los pájaros
- Libro XIII. El mundo y sus partes
- Libro XIV. La geografía
- Libro XV. Los edificios públicos y las avenidas
- Libro XVI. Las piedras y los metales
- Libro XVII. La agricultura
- Libro XVIII. Terminología de la guerra, la jurisprudencia y los juegos públicos
- Libro XIX. Los buques, las casas y los vestidos
- Libro XX. Las provisiones, utensilios domésticos, agrícolas y los mobiliarios
- San Isidoro y San Leandro han sido sustituidos, en el anagrama de la cuna del saber, la Universidad de Sevilla, por la Fama (¿la mensajera de Júpiter?), aunque se sigue manteniendo para invitaciones solemnes.

3. La ciencia en la España árabe

- *España fue entonces; pero no la España cristiana, el centro del saber en Europa: en las célebres escuelas de Córdoba, de Sevilla, de Murcia y de Toledo, se enseñaba toda la ciencia acumulada durante tantos y tantos siglos en Oriente. De todas partes, de Inglaterra, de Francia, de Italia, de Alemania, acudían estranjeros buscando entre los árabes españoles los ricos tesoros de la codiciada ciencia. Alberto el Grande, Gerberto* (que introdujo en Europa la numeración árabe)*, Pedro el Venerable, vinieron a esta nuestra tierra, a aprender lo que más tarde en las suyas enseñaron. Entonces tuvimos en ciencias matemáticas sabios ilustres y otros varios, sin contar astrónomos, ni físicos, ni mecánicos, pues solo de la ciencia pura me ocupo* (Echegaray 1866).
- Por citar algunos nombres:
  - Abbas Ibn Firnás (precursor de la aeronaútica)
  - Abulcasis (médico)
  - Averroes (filósofo y médico; Córdoba 1126-Marrakech 1198)
  - Maimónides (filósofo y médico; Córdoba 1138-El Cairo 1204)

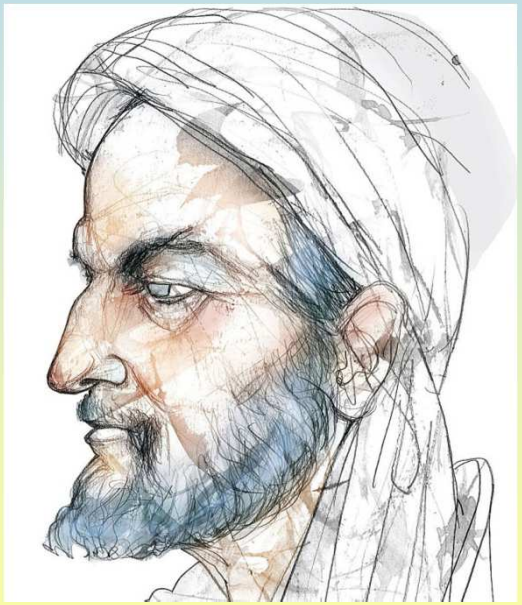
3.1. Abbas Ibn Firnás (Ronda 810-Córdoba 887)

- Sus aptitudes en el campo de la poesía y su habilidad en astrología le permitieron introducirse en la corte de Abderraman II, donde enseñó poesía.
- Ibn Firnas diseñó aparatos y un planetario que construyó en su casa. En la actualidad, en el viejo Museo de la Academia de Ciencias de Moscú se conserva una réplica de ese planetario en una sala que lleva el nombre de Firnás. Fue el primero en utilizar en la península ibérica las tablas astronómicas de Sinhind, originarias de la India, básicas para el desarrollo de la ciencia europea posterior. Conoció el número cero, lo trajo de oriente y lo incorporó por primera vez a la ciencia europea.
- En 875, a los 65 años, Ibn Firnás se hizo confeccionar unas alas de madera recubiertas de tela de seda y plumas de rapaces. Se lanzó desde una torre desplomándose sobre un valle, y aunque el aterrizaje fue malo (se fracturó las dos piernas), el vuelo fue globalmente un éxito. Comprendió después su error: tendría que haber añadido una cola a su artefacto.

3.1. Abbas Ibn Firnás (Ronda 810-Córdoba 887)

Además, en Córdoba, la ciudad que lo vio volar, en 2011 se inauguró un puente sobre el Guadalquivir con su nombre, en cuyo centro se encuentra la figura del pensador andalusí, desde la que se erigen dos alas, llegando hasta ambos extremos del puente.

Córdoba, Puente de Abbás Ibn Firnás
Ingeniero José L. Manzanares Japón



Hay una estatua suya en la carretera del aeropuerto internacional de Bagdad

3.2. Abū al-Qāsim (Medina-Azara 936-Córdoba 1013)

- Abulcasis fue un médico considerado el fundador de la cirugía moderna. Sus textos, donde combinaba las enseñanzas clásicas greco-latinas, con los conocimientos de la ciencia del próximo oriente, fueron la base de los procedimientos quirúrgicos europeos hasta el renacimiento. Su mayor contribución a la medicina es *Kitab al-Tasrif* (*Libro de la práctica médica*), obra de treinta volúmenes, donde recopiló todo el conocimiento médico y farmacéutico de la época , la cual fue profusamente estudiada en toda Europa durante más de cinco siglos después de su muerte.[4] Fue un gran innovador en las artes médicas, siendo el primero en emplear el hilo de seda en las suturas.[5]
- Especialista en cirugía, en su obra describe los procedimientos que utilizaba en sus operaciones de ojos, oídos, garganta, amputaciones, implantes de dientes, etc. Abū al-Qāsim también inventó el forceps para extracción de fetos muertos y en trabajo de partos, con ilustraciones en *Al-Tasrif*.
- *Al-Tasrif* (1000) también introduce el uso de ligadura para controlar la sangre en cauterizaciones.
- Desarrolló más de 200 nuevos instrumentos quirúrgicos que describe en el último libro de su enciclopedia.

4. La Edad Media cristiana

- Puede citarse el obispo Aitón, maestro de Matemáticas
- Asimismo las escuelas de traductores, entre ella la de Toledo, que funciona desde la época de Alfonso VI y potenciada por Alfonso X el Sabio.
- El nombre del *rey sabio* también se dio a las *Tablas Alfonsíes*. Su difusión fue amplísima, y no superada hasta las *Tablas Rudolfinas* de Tycho Brahe y Kepler (1627), en el contexto del cambio de paradigma ptolemaico-copernicano. El objetivo de estas tablas era proporcionar un esquema de uso práctico para calcular la posición del sol, la luna y los planetas de acuerdo con el sistema de Ptolomeo. Fueron muy útiles para la geografía y a la navegación, ya que facilitaban la orientación basándose en el conocimiento de las constelaciones y situación de los planetas.

4.1. La construcción naval. Las Reales Atarazanas de Sevilla

- En 1248 Fernando III de Castilla conquista Sevilla. Ortiz de Zúñiga describe como en 1252, su hijo, Alfonso X el Sabio, inicia la construcción de unas Atarazanas Reales para la construcción de galeras y bajeles, en la zona comprendida entre las Puertas del Carbón y del Aceite. Existían unas atarazanas almohades que quedarían destruidas tras la toma de la ciudad. Las cristianas de Sevilla son más antiguas que las de Barcelona.
- La suntuosidad de las Reales Atarazanas, al decir de Ortiz de Zúñiga, se ve en lo que permanece. Se basaron en la yuxtaposición de 17 naves en sentido perpendicular al Río Guadalquivir y adosadas a la cerca almohade de la ciudad, ejecutadas todas ellas en fábrica de ladrillo. Relleno de 6 m.

4.1 Tecnología naval

- El control cristiano del estrecho de Gibraltar, a partir de la batalla del Salado (1340) convirtió a la península ibérica en un punto clave de las rutas marítimas entre el Mediterráneo y el Atlántico. Las necesidades de la navegación estimularon dos importantes líneas de mejora tecnológica.
- En primer lugar, la construcción naval. Las Coronas de Aragón, Castilla y Portugal habían conseguido desarrollar en sus astilleros una tecnología naval puntera, adaptada a las necesidades de navegación por el Atlántico, para la que los barcos de fondo plano, como la galera mediterránea no son idóneos.
- La cartografía, en la que destacaron los judíos mallorquines Cresques Abraham (siglo XIV) y su hijo Jehuda Cresques (siglos XIV y XV).

Mapa de Europa y el Mediterráneo, en una copia del *Atlas Catalán* atribuido a Cresques Abraham.

5. Los siglos XVI y XVII

- Las Universidades españolas como las demás instituciones universitarias europeas, participaron activamente en el esplendor cultural de los Siglos de Oro, pero no fueron el centro del movimiento renovador del pensamiento científico, papel que correspondió a otras instituciones, como las sociedades científicas y academias.
- Desde la época de los Reyes Católicos, se tomaron una serie de decisiones, basadas en la religión, que tuvieron graves consecuencias para el tejido productivo, las ciencias y las técnicas en España, como la expulsión de los judíos (1492) y la de los moriscos, la persecución de disidentes religiosos así como la sujeción de las conciencias al sistema inquisitorial. La famosa Pragmática de Felipe II de 1559 impedía a los estudiantes castellanos salir a universidades fuera del reino (ampliado en 1568 a los estudiantes de la Corona de Aragón). Su aplicación fue en la práctica poco rigurosa, y su motivación es cuestionada por la historiografía (posiblemente no era tanto una defensa contra el protestantismo como un ataque a la Compañía de Jesús y la Universidad de Lovaina, significativamente no exceptuada —como sí lo estaban Bolonia, Roma, Nápoles y Coímbra.
- Es de destacar la escasa aportación del siglo XVII a la ciencia española

5.1. Carrera de Indias, navegación, ingeniería

- Muchas de las instituciones vinculadas a la Carrera de Indias fueron ubicadas en Sevilla como la Casa de Contratación. Alrededor de ella se formaron numerosos cartógrafos que destacaron por sus contribuciones a la ciencia de la navegación, en la que España fue hegemónica. Destacamos sus libros, muchos de ellos editados en Sevilla:
- Juan de la Cosa (1455-1510)
- Martín Fernández de Enciso (Sevilla 1470-1528): *Suma de Geografía.*
- Pedro de Medina (Sevilla?1493-Sevilla 1567): uno de los primeros mapamundis, sumamente exacto, en su *Cosmographia* (1550); el *Arte de navegar* es el primer tratado europeo sobre navegación.
- Alonso de Santa Cruz (Sevilla 1505-Madrid 1567) cosmógrafo en la Casa de Contratación de Sevilla, y ofreció para su examen cartas náuticas e instrumentos para medir la longitud por las distancias de la Luna y los planetas o mediante la desviación de la brújula.

La desembocadura del Río de la Plata y la Banda Oriental del mismo río en el *Islario General de todas las islas del mundo* (ASC).

5.1. Carrera de Indias, navegación, ingeniería

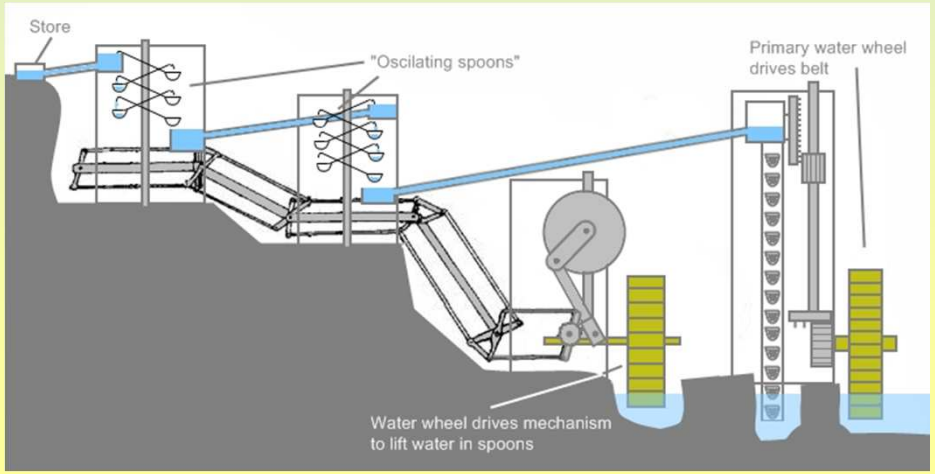
- El mundo por primera vez se circunnavegó por una expedición española (expedición Magallanes-Elcano 1519-1522), lo que no se podría haber hecho sin un gran dominio en la técnica naval.

5.1. Carrera de Indias, navegación, ingeniería

- Martín Cortés de Albacar (1510-1582) estimó la situación de los polos magnéticos, fundándose en las desviaciones de la brújula en distintos lugares: *Breve compendio la Sphera y de la Arte de navegar*, Sevilla 1551.
- Juan Escalante de Mendoza (1529-1596): *Itinerario de navegación de los mares y tierras occidentales,* uno de los tratados de navegación y náutica más importantes y completos que se hayan escrito en el siglo XVI.
- Andrés García de Céspedes (Sevilla? 1560- 1611), cartógrafo del Consejo de Indias y fabricante de instrumentos náuticos. Cosmógrafo mayor de la Casa de Contratación de Sevilla, donde residió habitualmente: *Libro de instrumentos nuevos de Geometría* y el *Regimiento de navegación*.

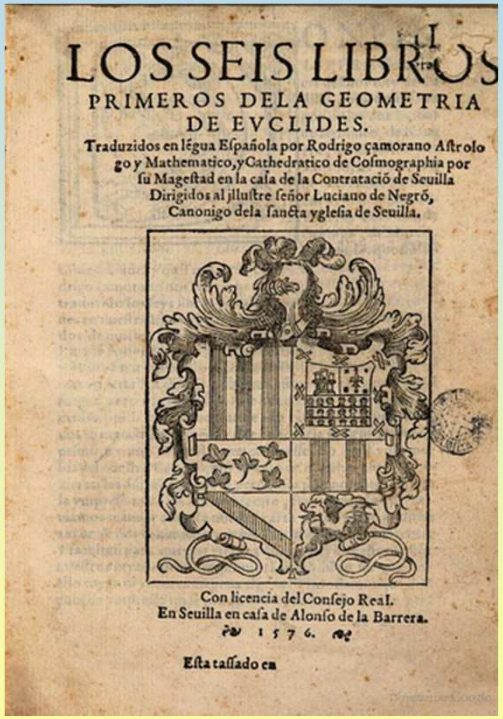
5.1. Carrera de Indias, navegación, ingeniería

- Juanelo Turriano (Cremona, Milanesado 1501—Toledo 1585) fue nombrado *Relojero de Corte* y construyó para Carlos V el famoso *Cristalino*, reloj astronómico que le hizo ser conocido en su época, porque era capaz de indicar la posición de los astros en cada momento, para interpretaciones astrológicas. Felipe II le nombró *Matemático Mayor*. Reclamado por el papa Gregorio XIII, participó en la reforma del calendario.
- Construyó una máquina hidráulica para subir el agua a Toledo desde el río. Lo cierto es que la máquina conseguía llevar el agua del río Tajo hasta el Alcázar, situado a casi 100 metros por encima del cauce del río, basado en el uso de la propia energía hidráulica del río Tajo.



5.1. Carrera de Indias, navegación, ingeniería

- Rodrigo Zamorano (Valladolid 1542-Sevilla 1623). Catedrático de cosmografía y piloto mayor de la Casa y de Contratación de Sevilla y el Consejo de Indias . Se considera uno de los mayores sabios que asistió en temas científicos de la época a Felipe II, y fue autor de varios libros sobre naútica, astronomía y matemáticas.


LOS SEIS LIBROS
PRIMEROS DELA GEOMETRIA
DE EVCLIDES.
Traduzidos en légua Eſpañola por Rodrigo çamorano Aſtrolo
go y Mathematico, y Cathedratico de Coſmographia por
ſu Mageſtad en la caſa de la Contratació de Seuilla
Dirigidos al illuſtre ſeñor Luciano de Negró,
Canonigo dela ſanćta ygleſia de Seuilla.
Con licencia del Conſejo Real.
En Seuilla en caſa de Alonſo de la Barrera.
1576.
Eſta taſſado en

Luis Collado. Con el compás de artillería (1584) se podían realizar medidas de distancias y de ángulos de inclinación, así como obtener el peso de un proyectil.

5.2 Metalurgia: la amalgama, plata y mercurio

- La metalurgia, sobre todo la de la plata, fue especialmente desarrollada a partir del perfeccionamiento del método de la amalgama, que implicaba un uso masivo de mercurio (*azogue*) para la obtención de metales preciosos a partir del mineral bruto. Fue introducido en México, en 1552 por Bartolomé de Medina.

5.2. Metalurgia: la amalgama, plata y mercurio

- Alonso Barba (Lepe 1569-Potosí 1662): *Arte de los metales*, que contiene una detallada descripción de la riqueza argentífera del subsuelo americano así como un descubrimiento fundamental para la explotación de la plata, el *método de los cazos* para extraer la plata en caliente. Los originales se remitieron al Consejo de Indias, desde donde se mandaría a Madrid a imprimir en 1640.
- El *método de los cazos* lograba obtener mayor cantidad de plata que cualquier otro de los usados hasta el momento. Consistía en tratar el mineral de plata en vasos de cobre con sal común, piritas de cobre y mercurio. Este sistema de fundición permitía obtener la plata de forma directa, si bien el cobre del cazo quedaba como impureza, lo que redujo la difusión del método.

ARTE
DE LOS METALES
EN QVE SE ENSEÑA EL
verdadero beneficio de los de oro, y
plata por açogue.
EL MODO DE FVNDIRLOS TODOS,
y como se han de refinar, y apartar
vnos de otros.
COMPVESTO POR EL LICENCIADO
Albaro Alonso Barba, natural de la villa de Lepe, en la
Andaluzia, Cura en la Imperial de Potosí, de la
Parroquia de S. Bernardo.
CON PRIVILEGIO.
En Madrid. En la Imprenta del Reyno.
Año M. DC. XXXX.

5.3. Miguel Servet (1510-1553)

- En su libro *Christianismi Restitutio* expone por primera en el Occidente cristiano la función de la circulación pulmonar. Según Servet, la sangre es transmitida por la arteria pulmonar a la vena pulmonar por un paso prolongado a través de los pulmones, en cuyo curso se torna de color rojo y se libera «de los vapores fuliginosos por el acto de la espiración». Servet sostenía que el alma era una emanación de la Divinidad y que tenía como sede a la sangre. Gracias a la sangre, el alma podía estar diseminada por todo el cuerpo, pudiendo asumir así el hombre su condición divina. Por tanto, los descubrimientos relativos a la circulación de la sangre tenían un impulso más religioso que científico.
- Por sus escritos religiosos fue quemado en Ginebra por orden de Calvino.

6. El siglo XVIII. La Ilustración

- No deja de ser reconocido ampliamente que hasta el reinado de Carlos III (1759) y el impulso de estadistas como Floridablanca, Campomanes o Jovellanos, no arrancan los programas científicos más ambiciosos, aplicación del nuevo y revolucionario concepto enciclopedista de progreso o a través de las ciencias útiles.
- A pesar de ello, la primera mitad del siglo presenció la actividad instituciones de gran proyección como la Escuela de Guardiamarinas de Cádiz (1717), de la que saldrían dos de los más importantes personajes del siglo: Jorge Juan y Antonio de Ulloa (misión geodésica a Perú, expedición de 1734) coordinada con Francia para la medición de un grado de meridiano.
- Las Sociedades Económicas de Amigos del País son unas asociaciones surgidas en la segunda mitad del siglo XVIII en España, cuya finalidad era difundir las nuevas ideas y conocimientos científicos y técnicos de la Ilustración. Nacieron en el reinado de Carlos III, quien las puso bajo la protección real para que fueran un instrumento del reformismo borbónico.

6.1. Jorge Juan (c. Alicante1713 — Madrid 1773)

- Como cadete participó en varias expediciones guerreras. En 1724, todavía estudiando, se embarcó junto con Antonio de Ulloa en la expedición organizada por la Real Academia de Ciencias de París a las órdenes del astrónomo Louis Godin para medir un grado del arco de meridiano terrestre en la línea ecuatorial, específicamente en la ciudad de Quito. En la expedición se determinó que la forma de la Tierra no es perfectamente esférica y se midió el grado de achatamiento de la Tierra.
- Consciente de que la armada española comenzaba a estar anticuada, en 1748 el marqués de la Ensenada, con Fernando VI, le encargó viajar a Inglaterra como espía para conocer las nuevas técnicas navales inglesas. Jorge Juan incluso realizó sus propias mejoras al sistema. Pero la policía inglesa empezó a recibir informes y tuvo que escapar cruzando el Canal de incógnito en un barco y llegó a París. Desgraciadamente, tras la caída del marqués de la Ensenada, el sistema de construcción de barcos que él impuso fue sustituido por el sistema francés, mucho menos eficaz.
- En los últimos años, elaboró un plan para la expedición que realizaría el cálculo del paralaje del Sol, es decir, la medición exacta de su distancia a la Tierra, que midieron desde la costa de California.

6.2. **Antonio de Ulloa (** Sevilla 1716-Isla de León 1795)

- Intervino en la expedición ya citada del grado de meridiano.
- Descubrió el platino, siendo llevado el metal por primera vez a Europa en el año 1735.
- En el viaje de regreso, su navío, la fragata *Deliverance*, debido al mal tiempo y averías se separa del resto de las naves, siendo apresada por corsarios británicos. En Londres fue presentado a Martin Folkes, presidente de la Royal Society, quien le propuso como miembro del cuerpo, siendo elegido en 1746.

6.3. Los hermanos Erlhuyar

- Fausto Fermín Elhuyar (Logroño 1755- Madrid 1833) fue un químico e ingeniero de minas español, descubridor del wolframio junto a su hermano Juan José en 1783.[2] También estuvo a cargo de la Escuela de Minas de ciudad de Méjico y fue responsable de la edificación del "Palacio de Minería". Elhuyar abandonó Méjico justo después de la independencia.
- *Análisis químico del wólfram, y examen de un nuevo metal, que entra en su composición*, Extractos de las Juntas Generales celebradas por la Real Sociedad Bascongada de Amigos del País 1783, escrito en colaboración con Juan José de Elhuyar.
- *Theorie d'Amalgamation*, Berbaunkunde 1, 1789.
- *Indagaciones sobre la amonedacion en Nueva España: presentadas en 1814 al Real Tribunal General de Minería de Méjico*, por su director Fausto de Elhuyar, Madrid
- *Memoria sobre el influjo de la minería en la agricultura.* Madrid 1825.
- *Disertaciones metalúrgicas*, Boletín del Instituto Geológico y Minero de España 1941.

6.4. Agustín de Betancourt y Molina

Nació en el Puerto de la Cruz, en Tenerife, en 1758. Descendiente de Jean IV de Béthencourt, que participó en la conquista de las Islas Canarias. Se trata de un personaje singular, que combina su inventiva con su deseo de aventuras. Ingeniero militar, este personaje es una excepción dentro de la escasa inventiva española. En 1778, ya como teniente, marchó a Madrid a estudiar en los Reales Estudios de San Isidro, y no regresó a las islas.

Armas de la las familias Betancourt, Castro, Molina y Briones.
Archivo Histórico Nacional. Madrid

6.4. Agustín de Betancourt y Molina

En 1783, el mismo año que Montgolfier, elevó por primera vez en España un globo aerostático.

Elevación del globo aerostático de Betancourt 1783

6.4. El gabinete de máquinas

- A partir de 1785 comenzó a diseñar y adquirir máquinas, por encargo de Floridablanca, entonces ministro de Carlos III, con vistas a un futuro Gabinete de Máquinas, que él dirigió a partir de 1792.

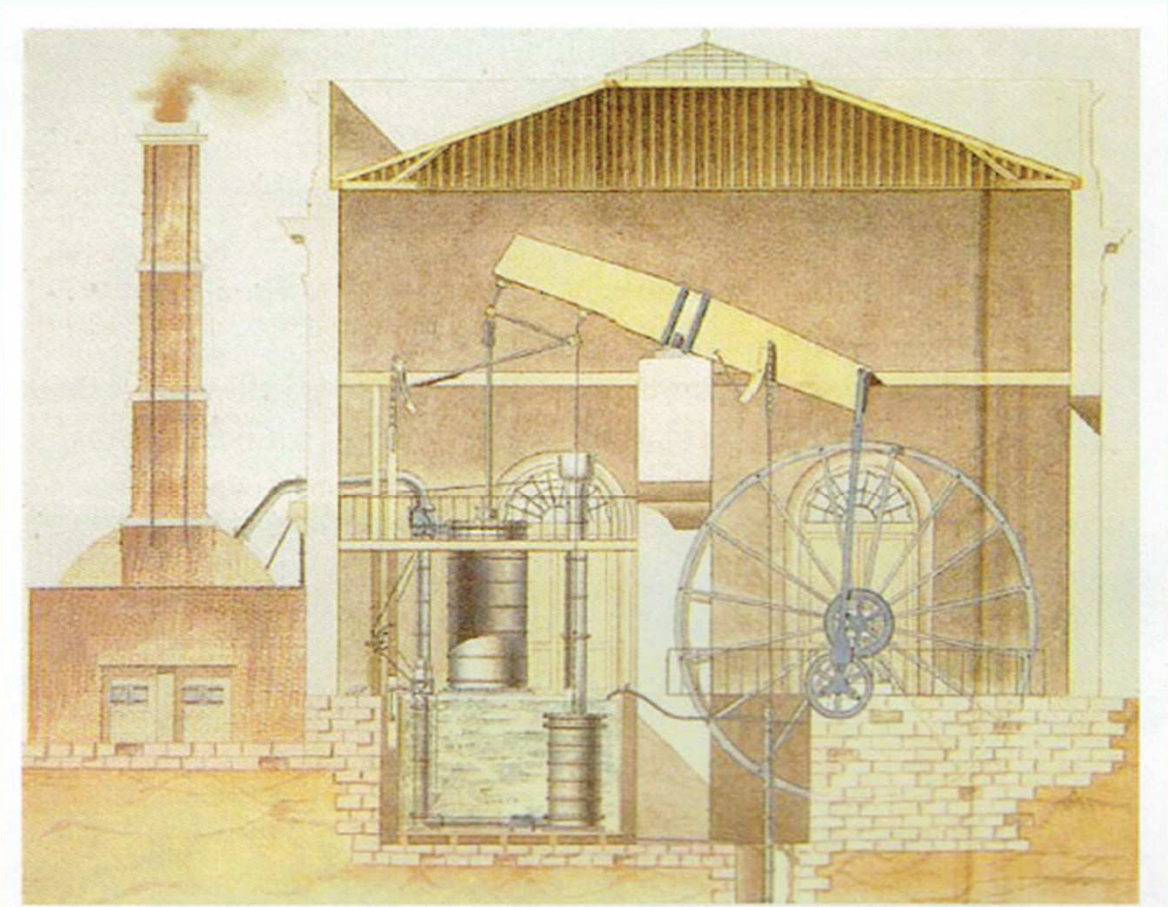
6.4. Agustín de Betancourt y Molina. Sus viajes a Inglaterra

Agustín de Betancourt se dio cuenta de que había que acudir a los países que se nos habían adelantado en el aspecto industrial, y en el otoño de 1788 hizo su primer viaje a Inglaterra, donde permaneció dos meses observando máquinas, a mitad de camino entre la investigación científica y el espionaje industrial.

Entre otros lugares, visitó la empresa de Boulton y Watt, que en 1789 habían patentado la máquina de vapor de doble efecto, pero no consiguió ver la nueva máquina perfeccionada en que estaban trabajando. Sin embargo, en Londres observó una máquina de doble efecto funcionando en una fábrica de harinas y un nuevo modelo de telar mecánico (probablemente el de Cartwright).

6.4. Máquina de vapor

Estudió la aplicación de la máquina de vapor a los molinos azucareros.



Máquina de vapor de Betancourt

6.4. Agustín de Betancourt y Molina. Sus estancias en Francia

En 1784 Agustín de Betancourt viajó a París a la prestigiosa *École Nationale des Ponts et Chaussées,* que le sirvió de modelo para la futura Escuela del Cuerpo de Ingeniero de Caminos.

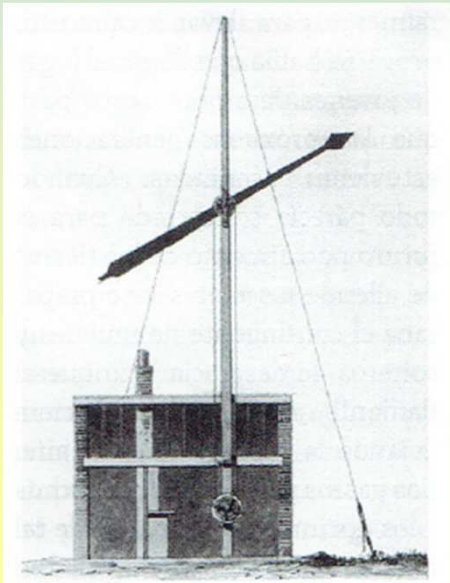
En 1789 escribió para la Academia de Ciencias de París una *Memoria sobre una máquina de vapor de doble efecto*, diseñó y construyó un telar mecánico y una máquina eólica para desaguar terrenos pantanosos. En 1790 presentó a la Academia de Ciencias de París una *Memoria sobre la fuerza expansiva del vapor de agua,* y el año siguiente presentó otra sobre la fundición de cañones. En París presentó al Directorio francés el prototipo y los planos de un telégrafo óptico.

6. Agustín de Betancourt y Molina.
La Escuela Oficial del Cuerpo de Ingenieros de Caminos

En 1797 regresa a España, donde fue nombrado Inspector General del Cuerpo de Puertos y Caminos. En 1799 inauguró la primera línea española de telegrafía óptica entre Madrid y Aranjuez.

El Cuerpo de Ingenieros de Caminos (1799) y la Escuela del mismo nombre nacen al abrigo de la Ilustración, en una época en la que una generación de científicos e ingenieros españoles trata de sacar a España del atraso en que se encontraba en relación con otros países europeos.

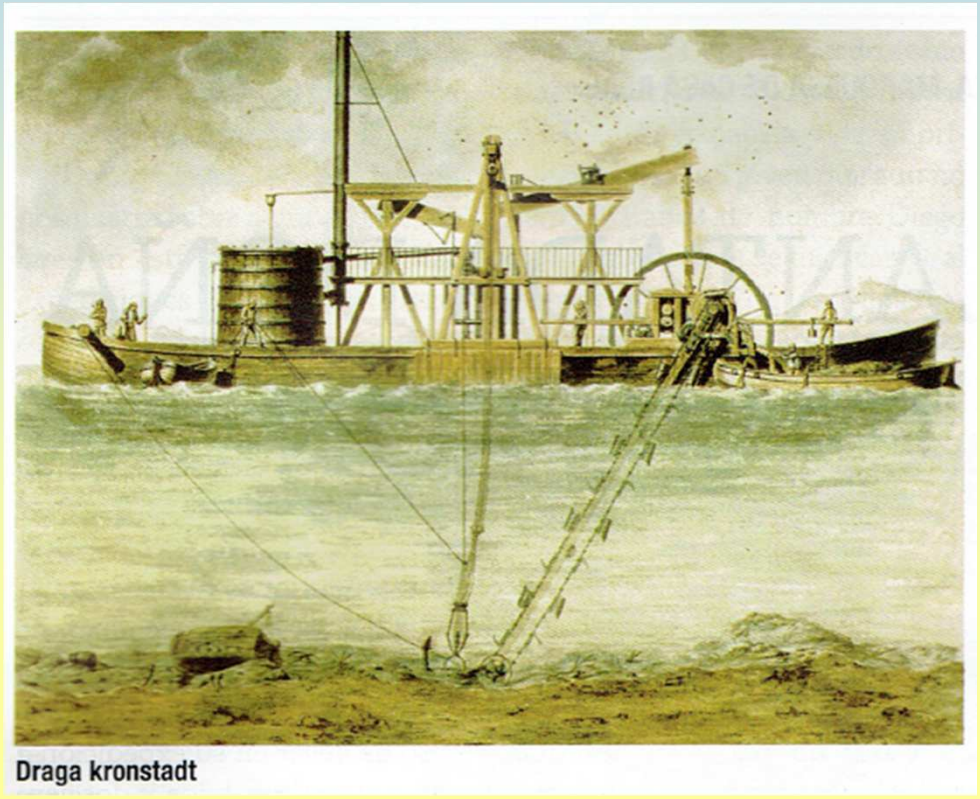
La Escuela Oficial del Cuerpo de Ingenieros de Caminos fue creada por él en 1802.



Telégrafo de aguja Betancourt-Bréguet, 1796.

6.4. Agustín de Betancourt y Molina. Su aventura en Rusia

A finales de 1807 viajó a San Petersburgo invitado por el zar Alejandro I. Fue nombrado mariscal del ejército ruso, Inspector del Instituto del Cuerpo de Ingenieros, y Director del Departamento de Vías de Comunicación en 1819. A lo largo de los 16 años de su estancia en Rusia alternó la dirección académica del Instituto con numerosas obras públicas: puente sobre el Nevka, draga de Kronstadt, modernización de fábricas de armas, el canal Betancourt de San Petersburgo, la navegación a vapor en el Volga, abastecimientos de agua, ferrocarriles.



Draga kronstadt

6.4. Agustín de Betancourt y Molina. Su aventura en Rusia

Está enterrado en San Petersburgo, donde murió en 1824.

Cuando en 1990, Mihail Gorbachov visitó por primera vez España, en el discurso oficial que realizó ante los altos cargos que le recibieron, dijo: "llego a un país del que tengo inmejorables referencias. Vengo a una España en la que nació el más ilustre colaborador que jamás ha tenido Rusia: Agustín de Betancourt…"

7. El siglo XIX. Las guerras de la independencia y carlista

- La Guerra de la Independencia Española (1808-1814) supuso un verdadero desastre para la ciencia y la técnica en España, que en algunos sectores habían llegado a ser punteras (significativamente, de los veintiún elementos descubiertos en el siglo XVIII,[29] dos —platino y wolframio— lo fueron con intervención española; de los cincuenta y uno descubiertos en el siglo XIX, sólo el vanadio, pero justamente en 1801). Más decisiva incluso que los destrozos sistemáticos de infraestructuras clave (por los ejércitos francés e inglés)[31] fue la fuga de cerebros causada por los exilios sucesivos de afrancesados y liberales.
- La vida económica de la revolución liberal estuvo lastrada por las guerras carlistas, que impusieron un grave retraso a una precaria industrialización que se había iniciado muy precozmente (textil catalana, siderurgia malagueña). Los programas de progresistas (Espartero) y moderados (O'Donnell), supusieron un impulso a la construcción de los ferrocarriles y a la explotación minera, que abrió a España a la inversión extranjera.

7.1. Andrés Manuel del río (Madrid 1764-Ciudad de Mexico 1849)

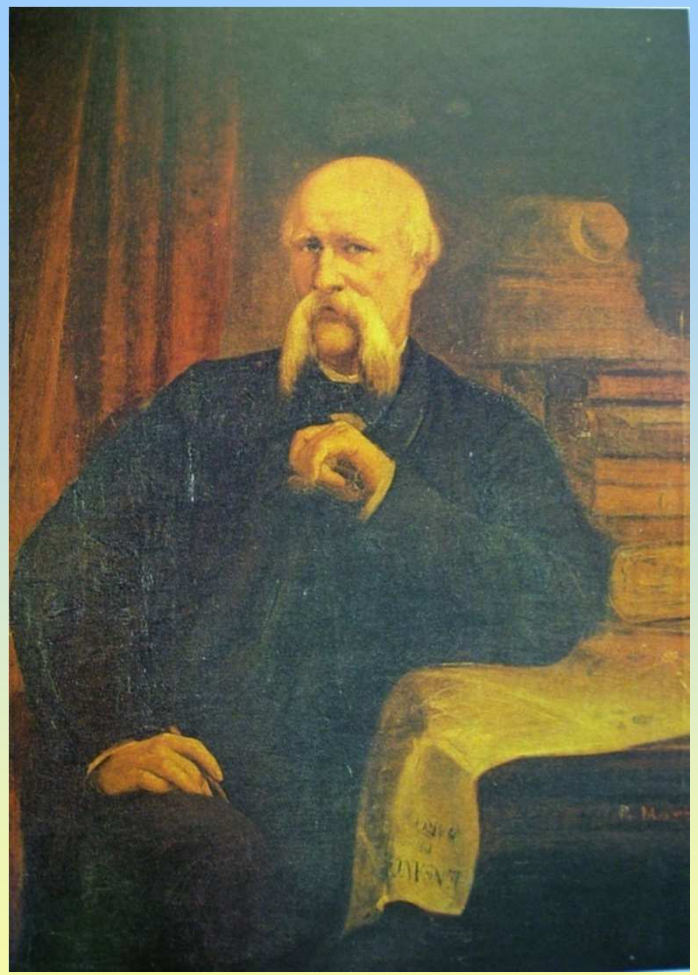
- Estudió química analítica y metalurgia en España en la Escuela de Minas de Almadén. En 1786 fue pensionado por la corona española para seguir los cursos de la Academia de Minas de Schemnitz (Imperio austro-húngaro), y posteriormente en Freiberg (Alemania).
- En 1792 se inauguró el Real Seminario de Minería de la Nueva España, a partir de un decreto del rey Carlos III, con el objeto de reformar la minería y metalurgia en América. El joven Andrés Manuel del Río fue comisionado para ocupar la cátedra de Química y Mineralogía de la nueva institución dirigida por Fausto Erlhuyar (1755-1833).
- Después del turbulento periodo de la guerra con España, el gobierno independiente de México decretó en 1829 la expulsión de los españoles residentes en el país, con notables excepciones, entre las cuales se encontraba el caso de Don Andrés. Estas medidas impactaron de manera decisiva las actividades del Seminario de Minería y de hecho su director Fausto Erlhuyar se vio obligado a renunciar y a salir del país. Indignado con la medida, Andrés Manuel del Río decidió solidarizarse con los expulsados exiliándose voluntariamente en Filadelfia , donde fue ampliamente reconocido, viendo su obra escrita reeditada.

7.1. El descubrimiento del vanadio

- El vanadio fue descubierto originalmente por Andrés Manuel del Río en 1801 mediante el análisis de los minerales de la vanadinita.
- En 1805, el químico francés Collet-Descotils, respaldado por Humbold, declararon incorrectamente que el nuevo elemento había sido sólo una muestra impura de cromo. Del Río aceptó la declaración de Collet-Descotils, y se retractó de su afirmación.
- En 1831, el químico sueco, Sefström redescubrió el elemento, con el nombre de vanadio, en un óxido mientras trabajaba con minerales de hierro. Más tarde, ese mismo año, Friedrich Wöhler confirmó los principios de la obra de Del Río en 1831, y el geólogo Featherstonhaugh sugirió que el vanadio debería llamarse "rionium" en honor a Del Río, pero esta sugerencia no fue seguida.

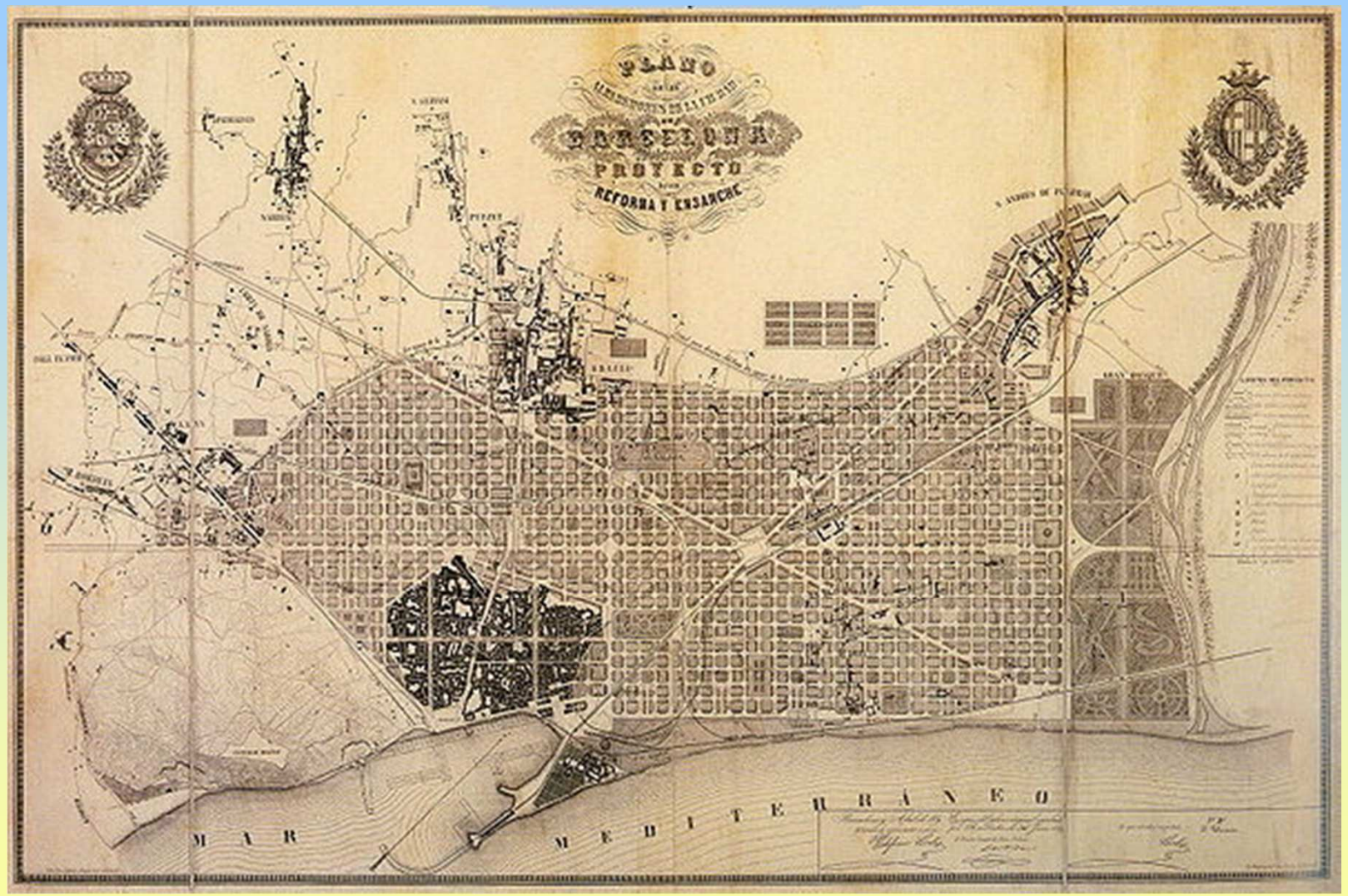
7.2. Ildefonso Cerdá Suñer (1815-1876)

Ildefonso Cerdá, nació cerca de Barcelona. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, creador de la palabra *Urbanismo*, es autor de la *Teoría general de la urbanización*, por la cual se le considera el fundador del urbanismo moderno. Contemporáneo de Haussmann en París, su principal obra fue el ensanche de Barcelona.



Proponía una cuadrícula continua de manzanas de unos 100 metros desde el Besós hasta Montjuich, con una altura máxima de construcción de 16 metros. La novedad en la aplicación del plan consistía en que las manzanas tenían chaflanes de 45º para permitir una mejor visibilidad.

7.2. Ildefonso Cerdá Suñer



Su principal proyecto urbanístico: el ensanche de Barcelona, conocido como el Plan Cerdá(1859), donde se aprecia la retícula de cuadrados achaflanados y las diagonales programadas.

7.3. José Echegaray y Eizaguirre (1832-1916)

El Cuerpo de Ingenieros de Caminos ha dado, además, el primer premio Nobel de Literatura español, Echegaray, el más grande matemático español del siglo XIX, nacido en Madrid. Fue número 1 de su promoción.

En 1854 comenzó a dar clases de matemáticas, hidraúlica, geometría descriptiva, cálculo diferencial y física desde ese año hasta 1868 en la Escuela de Ingenieros de Caminos.

7.3. José Echegaray y Eizaguirre. Académico de Ciencias

- Diez años más tarde, cuando contaba 32 años de edad (1864), fue elegido miembro de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. El discurso de ingreso, titulado *Historia de las matemáticas puras en nuestra España*, en el que hace un balance, negativo de la matemática española a través de la historia, fue fuente de una gran polémica, tal como indican dos periodistas en su libro *Echegaray.*
- *Y como el discurso resultara áspero, crudo y hasta agresivo, produjo, a pesar de las felicitaciones y elogios de rúbrica, pésimo efecto en algunos centros y colectividades... Muchos periódicos combatieron su discurso. Los revolucionarios atacaron sus tendencias liberales; los liberales le acusaron de maltratar a la Ciencia Española y la polémica fue ruda porque D. José contestó a todos en el mismo tono que había empleado en su discurso.*
- Fue dos veces Presidente de la Academia.

7.3. José Echegaray y Eizaguirre. Aportaciones a las matemáticas

- Echegaray realizó importantes servicios a la política.
- Realizó importantes aportaciones a las matemáticas y a la física. Introdujo en España la geometría de Chasles (proyectiva), la teoría de Galois (aplicable, entre otras cosas a la solución de ecuaciones polinómicas), las funciones elípticas (que se desarrollan en el plano complejo). Está considerado como el más grande matemático español del siglo XIX. Julio Rey Pastor afirmaba:
- *Para la matemática española, el siglo XIX comienza en 1865 y comienza con Echegaray*.

7.3. José Echegaray y Eizaguirre

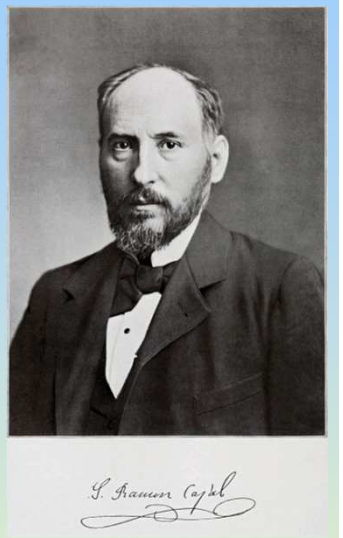
Sus obras en matemáticas y física:

- *Cálculo de variaciones* (1858), que era casi desconocido en España.
- *Problemas de geometría plana* (Madrid, Bailly-Baillere, 1865).
- *Problemas de geometría analítica* (1865)
- *Teorías modernas de la física* (1867).
- *Introducción a la geometría superior* (1867), exponiendo la geometría de Chasles.
- *Memoria sobre la teoría de los determinantes* (1868), primera obra en España sobre el tema.
- *Tratado elemental de termodinámica* (1868), breve ensayo sobre una ciencia que estaba naciendo entonces.
- *Resolución de ecuaciones y teoría de Galois: lecciones explicadas en el Ateneo de Madrid* (Madrid, 1897).

7.4. Las Academias

- Instituciones científicas de importancia creadas durante el siglo XIX fueron, entre otras: la Institución Libre de Enseñanza (1875), la Real Sociedad Española de Historia Natural (1871); y un buen número de Reales Academias la de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales —1847, por reorganización de la de Medicina y Ciencias Naturales de 1734—, la de Medicina—1861, también proveniente de la escisión de la anterior.

8.1. Santiago Ramón y Cajal (1852-1934)



- Médico español, especializado en histología y anatomía patológica.
- En 1874 Santiago marcha destinado a Cuba con el grado de capitán, ya que el paso a Ultramar conllevaba el ascenso al empleo militar inmediato. Muy pronto el joven médico cayó enfermo.
- Para conseguir recuperar la mitad de sus pagas atrasadas tuvo que sobornar al funcionario de turno pues, de lo contrario, amenazaban con dilatarse indefinidamente.
- Sin embargo, "vale aquí señalar que parte de los ahorros de su estancia en Cuba fueron las bases financieras que le permitieron Cajal adquirir el microscopio, un microtomo, reactivos químicos y colorantes con que a su regreso habilitó un modesto laboratorio en el que iniciaría las investigaciones histológicas".

8.1. Santiago Ramón y Cajal (1852-1934)

- El regreso a España y los cuidados de su madre y sus hermanas devolvieron progresivamente a Santiago Ramón y Cajal la salud y le permitieron retomar su carrera académica, camino ya de la docencia (1876) y el doctorado (1876-1877)
- En 1887 se trasladó a Barcelona para ocupar la cátedra de Histología creada en la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona. Fue en 1888, definido por el propio Cajal como su "año cumbre", cuando descubrió los mecanismos que gobiernan la morfología y los procesos conectivos de las células nerviosas de la materia gris del sistema nervioso cerebroespinal, una nueva y revolucionaria teoría que empezó a ser llamada la doctrina de la neurona, basada en que el tejido cerebral está compuesto por células individuales.
- Compartió el premio Nobel de Medicina en 1906 con el investigador italiano Camillo Golgi.

8.2. Leonardo Torres Quevedo (1852-1936)

Leonardo Torres Quevedo nació en Cantabria, y fue un Ingeniero de Caminos, matemático e inventor español.

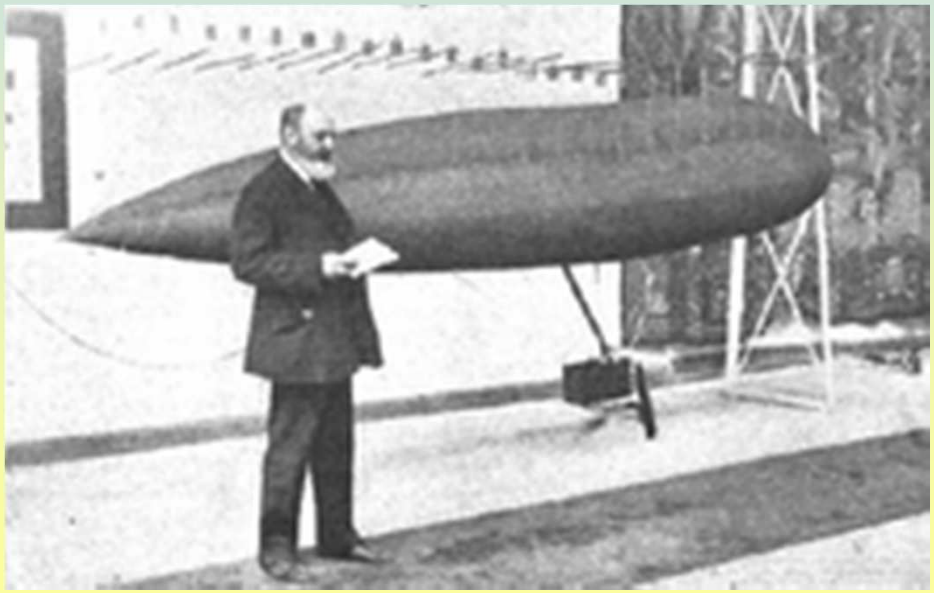
Fue académico de la Real Academia Española de la Lengua. Acudió como voluntario a la defensa de Bilbao, sitiada por las tropas carlistas de Zumalacárregui.

Aerostática

En 1905, con ayuda del capitán Alfredo Kindelán, Torres Quevedo dirige la construcción del primer dirigible español en el Servicio de Aerostación Militar del Ejército. Finalizan con gran éxito, y el nuevo dirigible, el *España*, realiza numerosos vuelos de exposición y prueba.

8.2. Leonardo Torres Quevedo (1852-1936)

A raíz de este hecho empieza la colaboración entre Torres Quevedo y la empresa francesa Astra, con una cesión de derechos extendida a todos los países, excepto a España, para posibilitar la construcción del dirigible en el país. Así, en 1911, se inicia la fabricación de los dirigibles conocidos como *Astra-Torres*. Algunos ejemplares fueron adquiridos por los ejércitos francés e inglés a partir de 1913, y utilizados durante la I Guerra mundial, fundamentalmente de protección e inspección naval.



8.2. Leonardo Torres Quevedo (1852-1936)

Transbordadores

Con numerosos antecedentes, el Spanish Aerocar, en las cataratas del Niágara, en Canadá es el que le ha dado la mayor fama en este área de actividad. El transbordador de 580 metros de longitud es un funicular aéreo que une dos puntos de la orilla canadiense del río Niágara. Se construyó entre 1914 y 1916 siendo un proyecto español de principio a final: ideado por un español, construido por una empresa española con capital español (The Niagara Spanish Aerocar Co. Limited). Una placa de bronce, situada sobre un monolito a la entrada de la estación de acceso recuerda este hecho: «*Transbordador aéreo español del Niágara. Leonardo Torres Quevedo (1852–1936)*».

8.2. Spanish aerocar

- El transbordador, con pequeñas modificaciones, sigue en activo hoy día, sin ningún accidente digno de mención, constituyendo un atractivo turístico y cinematográfico de gran popularidad.

8.2. Máquinas analógicas de calcular

Las máquinas analógicas de cálculo buscan la solución de ecuaciones matemáticas mediante su traslado a fenómenos físicos. En esta tradición se enmarca la obra de Torres Quevedo en esta materia, que se inicia en 1893 con la presentación en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la *Memoria sobre las máquinas algébraicas*. En su tiempo, esto fue considerado como un suceso extraordinario en el curso de la producción científica española. En 1895 presenta la *Mémoire sur les machines algébraiques* en un Congreso en Burdeos. Posteriormente, en 1900, presentará la Memoria *Machines á calculer* en la Academia de Ciencias de París.

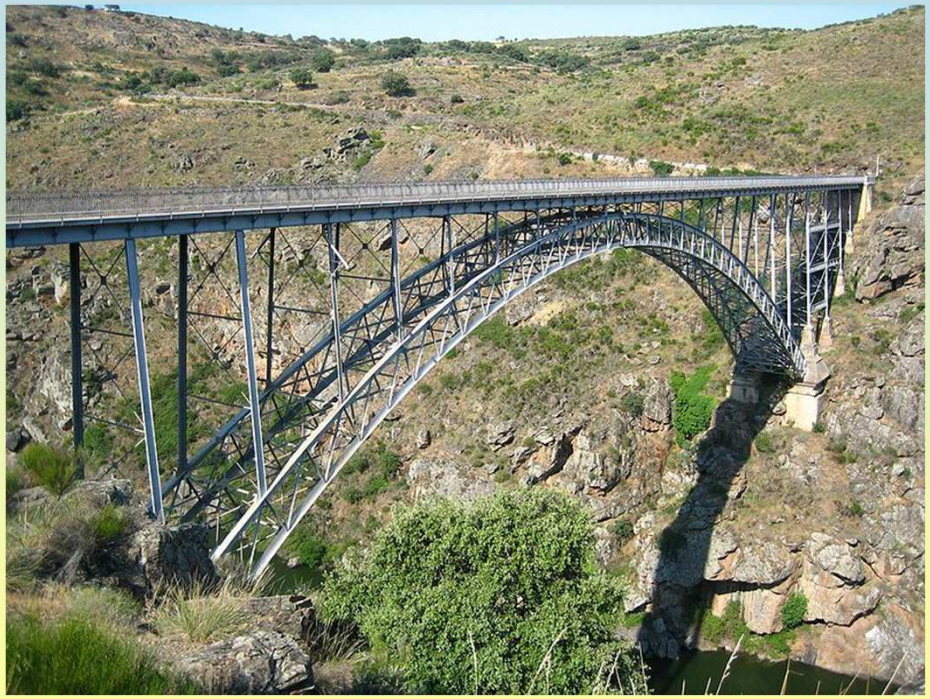
En el terreno práctico, Torres Quevedo construyó toda una serie de máquinas analógicas de cálculo, todas ellas de tipo mecánico. Una de ellas es El Ajedrecista, presentado en la feria de París de 1914. Utilizando una diversidad de elementos, pone a punto una máquina para resolver ecuaciones algebraicas: resolución de una ecuación de ocho términos, obteniendo sus raíces, incluso las complejas, con una precisión de milésimas.

8.2. La automática. El telekino

- En 1903, Torres Quevedo presentó el *Telekino* en la Academia de Ciencias de París, acompañado de una memoria y haciendo una demostración experimental. En ese mismo año obtuvo la patente en Francia, España, Gran Bretaña y Estados Unidos.
- Consistía en un autómata que ejecutaba órdenes transmitidas mediante ondas herzianas; constituyó el primer aparato de radiodirección del mundo, y fue un pionero en el campo del mando a distancia, junto a Nikola Tesla. En 1906, en presencia de Alfonso XIII y ante una gran multitud, demostró con éxito el invento en el puerto de Bilbao al guiar un bote desde la orilla.

8.3. José Eugenio Ribera (París 1864-1936)

Desde el principio de su carrera mantuvo una singular preocupación por las estructuras metálicas que se empleaban en la época, sobre todo el acero, ya que requerían tratamientos posteriores para mitigar la oxidación. Catedrático de la asignatura "Puentes de fábrica y de hormigón armado". Fue uno de los primeros investigadores sobre el hormigón armado en España



Puente-viaducto de Requejo sobre el río Duero

9.1. Juan de la Cierva y Codorniu (1895-1936)

- Nació en Murcia y murió en Croydon (Inglaterra) con 41 años al estrellarse en el despegue, el avión del vuelo regular en el que viajaba.
- Ministro en varias ocasiones y alcalde de Murcia
- En 1912, contando sólo con 16 años, Juan de la Cierva logró construir y hacer volar un avión biplano

9.1. Juan de la Cierva y Codorniu (1895-1936)

El autogiro

El autogiro inventado por de la Cierva tiene alas fijadas a un rotor y hace su irrupción en el panorama de la aviación sólo veinte años después de la invención de los hermanos Wright. El autogiro vuela como los aviones pero sus alas están conectada a un rotor que gira por la acción del viento relativo que lo atraviesa de abajo a arriba.

Sus intentos comienzan en 1920. Para su definitiva solución, de la Cierva realizó una completa serie de ensayos en el túnel de viento del aeródromo de Cuatro Vientos, por aquel entonces el mejor de Europa. El nuevo aparato corregido se probó exitosamente en enero de 1923 en el aeródromo de Getafe. A partir de 1923, de la Cierva, que había financiado a sus expensas sus experimentos anteriores, contó para sus trabajos con una subvención del gobierno español.

En 1926, con el apoyo financiero de James George Weir, industrial y aviador escocés, creó en el Reino Unido la sociedad Cierva Autogiro Company para el desarrollo del autogiro, produciendo varios modelos en ese país.

9.1. Juan de la Cierva y Codorniu (1895-1936)

El autogiro se puede considerar un híbrido entre el aeroplano y el helicóptero: al igual que el aeroplano, su propulsión se realiza mediante alas, pero, además de alas, tiene un rotor como el helicóptero. Este rotor no está conectado al motor de la aeronave, por lo que gira libremente («autogira»), impulsado por el aire, generando así la fuerza de sustentación. En el helicóptero, por el contrario, la propulsión y la sustentación se producen en el rotor, que sí está impulsado por el motor.[1]

Autogiro Pitcairn PCA-2, construido en los Estados Unidos bajo licencia de Juan de la Cierva.

9.1. Juan de la Cierva y Codorniu (1895-1936)

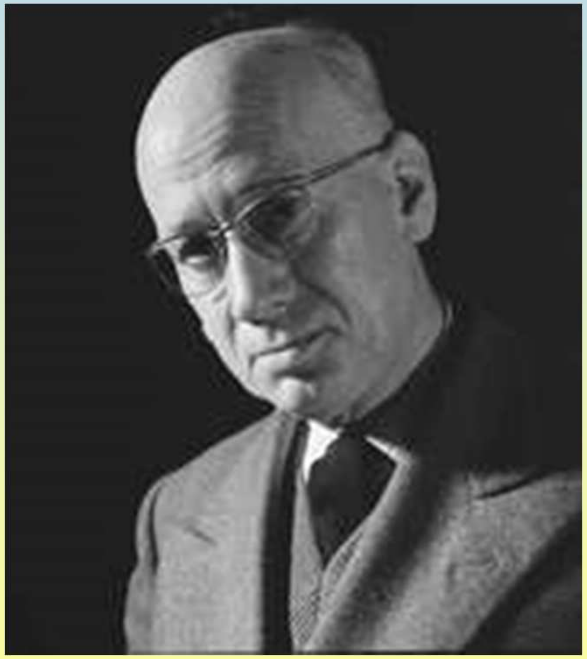
Autogiro Cierva C-6.

Ciclo sobre Historia y Filosofía de la Ciencia y de la Técnica

9.2. Eduardo Torroja y Miret (1899-1961)

Nació y murió en Madrid (sobre su mesa de trabajo).

Torroja fue quizá el máximo especialista mundial de su tiempo en construcciones de hormigón armado, juntamente con el francés Freyssinet (inventor del pretensado) y el italiano Nervi.



9.2. Eduardo Torroja y Miret (1899-1961)

Sus libros: Numerosos sobre estructuras. El más famoso:

Razón y Ser de los Tipos Estructurales

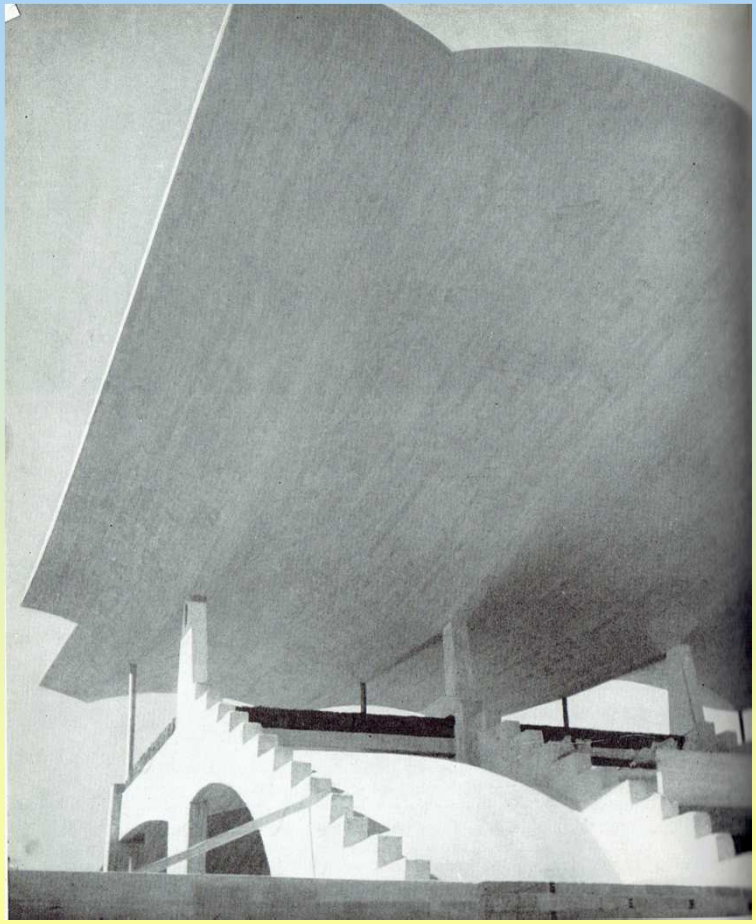
Genial libro, que se puede considerar como una Filosofía de las estructuras.

En él explica de una forma clara y profunda el funcionamiento de las diversas formas estructurales y su expresión estética.

La belleza es la expresión de la verdad, y basándose en ello defiende una correlación perfecta entre el fondo real y la forma aparente de la obra.

9.2. Eduardo Torroja y Miret (1899-1961)

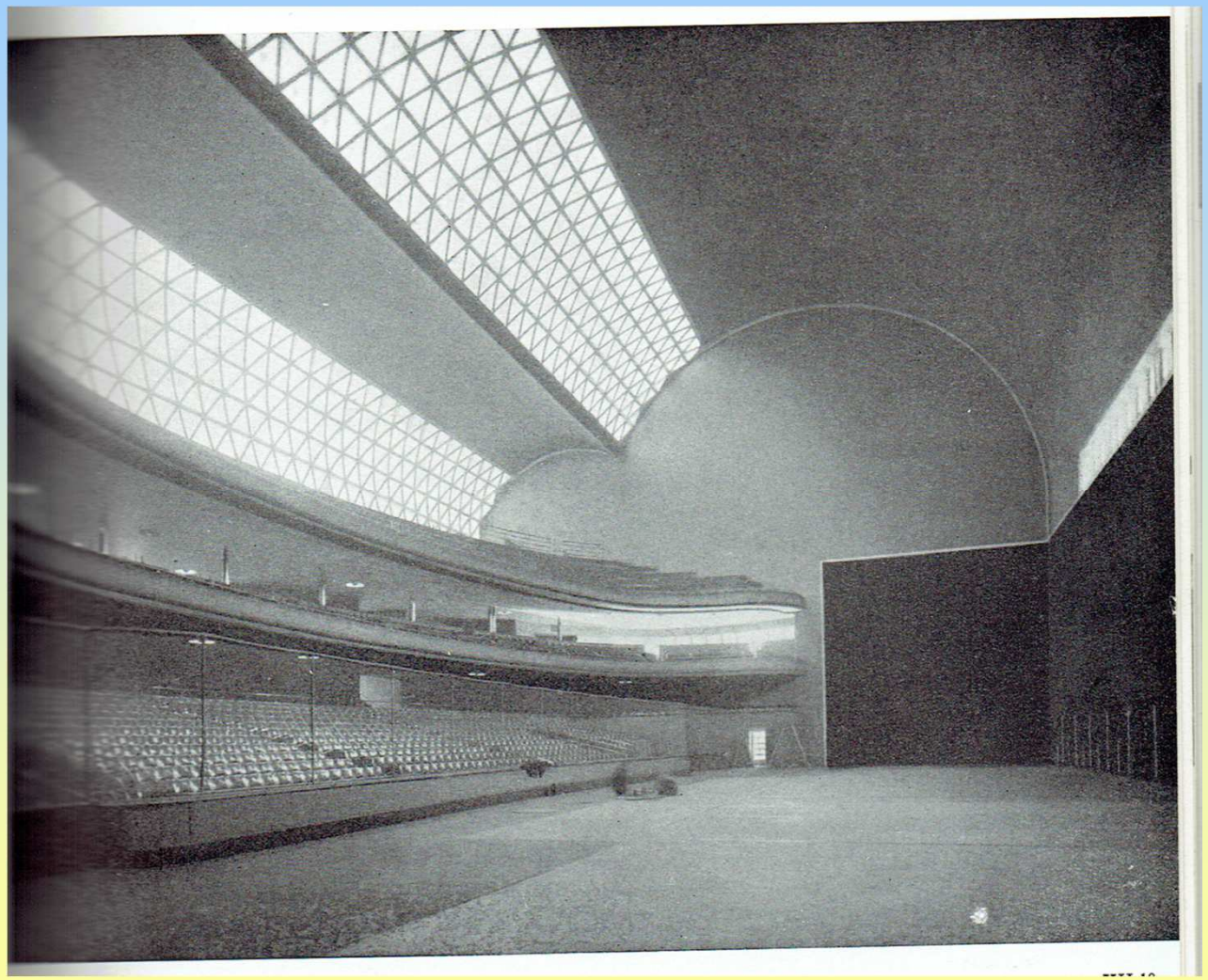
- **Sus obras**



Tribuna del hipódromo de la Zarzuela

Cubierta del mercado de Algeciras

9.2. Eduardo Torroja y Miret (1899-1961)



Frontón Recoletos (Madrid)

Ciclo sobre Historia y Filosofía de la Ciencia y de la Técnica

9.2. Eduardo Torroja y Miret (1899-1961)

Cubierta del campo de fútbol de Las Corts

Ciclo sobre Historia y Filosofía de la Ciencia y de la Técnica

9.2. Eduardo Torroja y Miret (1899-1961)

Fundador del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento en 1934 y Director del Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción en 1941.

Presidente de la Asociación Internacional del Hormigón Pretensado, así como miembro del *bureau* del Comité Europeo del Hormigón.

Catedrático de la E.T.S. de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos desde 1939.

9.3. Ramón Iribarren Cavanilles (1900-1967)

Nació y murió en Irún.

Miembro electo de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, aunque no le dio tiempo a tomar posesión de su cargo.

Fue Catedrático de Puertos en la Escuela Especial del Cuerpo. Además ostentó los cargos de director del Laboratorio de Puertos.

- Fue autor del proyecto y construcción de las obras de numerosos puertos guipuzcoanos, incluido el de San Sebastián. Elaboró los informes acerca del proyecto del puerto petrolero de Luanda (Angola) y el informe sobre la defensa de las costas de Cartagena en Colombia.

9.3. Ramón Iribarren Cavanilles (1900-1967)

Famosísimo en el mundo entero por su fórmula de la ola y por los métodos de cálculo de puertos frente al oleaje. Con sus métodos se han calculado puertos en todo el mundo

9.3. Ramón Iribarren Cavanilles (1900-1967)

Trabajos publicados

Entre sus trabajos publicados destacan los siguientes:

Una fórmula para el cálculo de los diques de escollera

Cálculo de diques verticales

Obras de abrigo de los puertos

Talud límite entre la rotura y la reflexión de la ola

Generalización de la fórmula para el cálculo de los diques de escollera y comprobación de sus coeficientes

Violentas presiones accidentales producidas por la rotura de las olas

Otras comprobaciones de la fórmula para el cálculo de los diques de escolleras

Método de cálculo de los planos de oleaje que desarrolló después de realizar los estudios del oleaje dentro de la dársena del puerto de Motrico.

9.4. Severo Ochoa (Luarca 1905-Madrid 1993)

- El Doctor Negrín propuso a Ochoa y otro estudiante, José Valdecasas, trabajar sobre el metabolismo de la creatinina, y Ochoa pasó el verano de 1927 en Glasgow, trabajando en ello. Durante este periodo mejoró el citado método y al regresar a España escribió junto a Valdecasas un artículo científico describiendo su trabajo en el *Journal of Biological Chemistry*, que fue rápidamente aceptado, iniciando de esa manera su carrera de investigación en bioquímica. Gracias a su publicación acerca de la creatinina, en 1929 consiguió una invitación para unirse al hoy Instituto Max Planck en Berlín. Ochoa terminó su licenciatura en medicina en verano de 1928. En 1930, Ochoa regresa a Madrid a terminar su tesis doctoral. Viajó al *London National Institute for Medical Research*, donde trabajó en el estudio de la vitamina B1, de la enzima glioxialasa. Estos estudios fueron el comienzo del importante interés en el estudio de la enzimas que Ochoa tuvo a lo largo de su vida, y supuso una revolución en el estudio del metabolismo.

9.4. Severo Ochoa (Luarca 1905-Madrid 1993)

- En septiembre de 1936 viajó a Alemania, luego al Reino Unido y finalmente, en 1940 pasó a afincarse en los Estados Unidos. En 1941 consigue trabajo en la Universidad de Washington y en 1945 en la Universidad de N.Y. Ochoa se dedicó a realizar investigaciones sobre farmacología y bioquímica.
- En 1955 Ochoa publicó en el *Journal of the American Chemical Society* con la bioquímica francorrusa Grunberg-Manago , el aislamiento de una enzima del colibacilo que cataliza la síntesis de ARN.
- A partir de ello, el grupo de Severo Ochoa, en paralelo con el grupo de Nirenberg, llegaron al desciframiento de la clave genética.
- En 1956, el norteamericano Kornberg, discípulo de Ochoa, demostró que el ADN se sintetiza igualmente mediante su polimerasa. Ambos compartieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1959 por sus respectivos hallazgos.
- España quiso recuperar su magisterio, y al efecto en 1971 se creaba para él en Madrid el Centro de Biología Molecular.