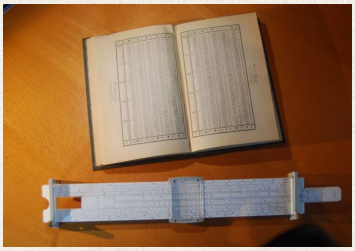
Evolución en la enseñanza de la Ingeniería Química en España

José Luis Sotelo Sancho
Universidad Complutense

Instrumentos de cálculo

Tablas de logaritmos

Regla de cálculo



(Calculadoras mecanicas)

1650

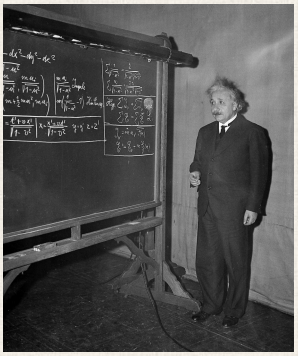
1800

1900

1970

Instrumentos de apoyo

Pizarra/Tiza



(Diapositivas)

Instrumentos de cálculo y Almacenamiento de Información

Instrumentos de apoyo

~1960 Primeros Computadores Digitales a transistores: IBM 7090 En UCM 1968

1971-72
Calculadora "científica" Hewlett-Packard 35
1 registro para un dato

~ 1990
Ordenador Personal (PC)
Incremento exponencial en capacidad y velocidad de proceso en años sucesivos

~ 2000
Ordenador Portátil
~ 2010
Tablet
Incremento de capacidad y velocidad de proceso

1960 — Proyector Diapositivas

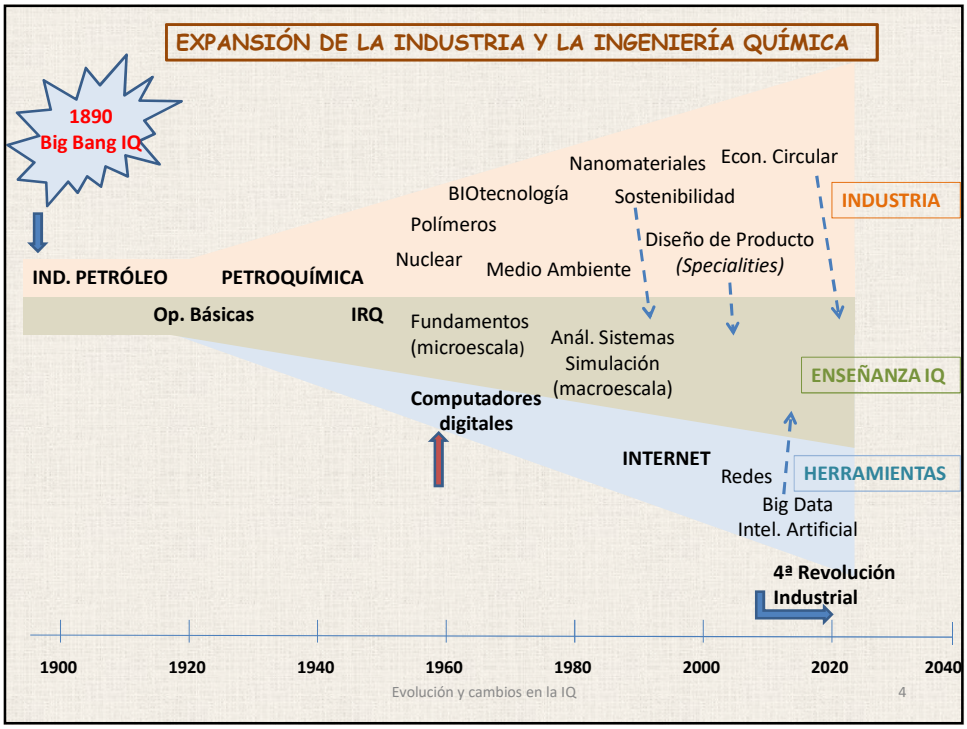
1970 — Retroproyector Transparencias

1980

1990

2000 — Cañón Proyector + Ordenador

2010 — Conexión On-Line



~ 1970 (LGE) Lic. C. Químicas Esp Industrial

~ 1992 (LRU) Ingeniero Químico

~ 2008 (EEES) Grado en Ingeniería Química

~ 2022 (RD 822/21) Grado en Ingeniería Química

?

Otras rutas:
Ing. Industrial, Esp. Química
Ing. Técnico Industrial, Esp. Química

NRC USA. Frontiers in Chemical Engineering Research: Needs and Opportunities. National Academies Press (1988) ("Informe Amundson")

National Academy of Engineering. New directions for Chemical Engineering (Committee on Chemical Engineering for the 21st Century, Challenges and Opportunities). National Academies Press (2022)

LICENCIATURA EN C. QUÍMICAS, Esp. Q. INDUSTRIAL, UCM 1970-1993

PRIMER AÑO		SEGUNDO AÑO		TERCER AÑO		CUARTO AÑO		QUINTO AÑO	
1er sem	2º sem	1er sem	2º sem	1er sem	2º semestre	1er semestre	2º semestre	1er semestre	2º semestre
MATEMÁTICAS						DIBUJO INDUSTRIAL	MEC. FLUIDOS TRANS. CALOR (Lab. IQ II)	OPERACIONES SEPARACIÓN (+ Lab IQ III)	QUÍMICA INDUSTRIAL II
FÍSICA									PROYECTOS
QUÍMICA						INGENIERÍA REACCIÓN QUÍMICA (+ Lab IRQ I)	INGENIERÍA REACCIÓN QUÍMICA (+ Lab IRQ II)	QUÍMICA INDUSTRIAL I	DESARROLLO INDUSTRIAL (Estancia en empresa o lab. Investigación)
BIOLOGÍA						FISICA INDUSTRIAL I (RESISTENCIA MATERIALES)	FÍSICA INDUSTRIAL II (Termotecnia)	ECONOMÍA INDUSTRIAL	
GEOLOGÍA				QUÍMICA TÉCNICA		DIBUJO INDUSTRIAL	INSTRUM. Y CONTROL	OPTATIVAS: Ing. Nuclear, Cont. Ambiental, Ing. Bioquímica, Tecnol. Alimentos, Higiene y Seguridad, Otras	

~ 1970 (LGE) Lic. C. Químicas Esp Industrial

~ 1992 (LRU) Ingeniero Químico

~ 2008 (EEES) Grado en Ingeniería Química

~ 2022 (RD 822/21) Grado en Ingeniería Química

?

Otras rutas:
Ing. Industrial, Esp. Química
Ing. Técnico Industrial, Esp. Química

NRC USA. Frontiers in Chemical Engineering Research: Needs and Opportunities. National Academies Press (1988) ("Informe Amundson")

National Academy of Engineering. New directions for Chemical Engineering (Committee on Chemical Engineering for the 21st Century, Challenges and Opportunities). National Academies Press (2022)

TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO UCM 1993-2008

Créds	PRIMER AÑO 1er semestre	PRIMER AÑO 2º semestre	SEGUNDO AÑO 1er semestre	SEGUNDO AÑO 2º semestre	TERCER AÑO 1er semestre	TERCER AÑO 2º semestre	CUARTO AÑO 1er semestre	CUARTO AÑO 2º semestre	QUINTO AÑO 1er semestre	QUINTO AÑO 2º semestre
5	ALGEBRA	CÁLCULO	ECUACIONES DIFERENCIALES	CÁLCULO NUMÉRICO	FLUJO DE FLUIDOS	TRANSMISIÓN DE CALOR	OPERACIONES DE SEPARACIÓN	OPERACIONES DE SEPARACIÓN	DISEÑO DE EQUIPOS E INSTALACIONES	
10	FÍSICA	FÍSICA	QUÍMICA ORGÁNICA	QUÍMICA ORGÁNICA	INGENIERÍA CINÉTICA QUÍMICA	INGENIERÍA CINÉTICA QUÍMICA	QUÍMICA INDUSTRIAL	QUÍMICA INDUSTRIAL	ECONOMÍA Y ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL	
15	QUÍMICA FÍSICA	ESTADÍSTICA	QUÍMICA FÍSICA	LAB. QUÍMICA	LAB. INGENIERÍA QUÍMICA I	LAB. INGENIERÍA QUÍMICA I	REACTORES QUÍMICOS	REACTORES QUÍMICOS	SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL	ELECTIVAS Orientación: Medio ambiente Biotecnología
20	QUÍMICA ANALÍTICA	QUÍMICA INORGÁNICA	TÉCNICAS INSTRUM. ANALÍTICAS	TERMODIN. QUÍMICA	ELECTIVAS	ELECTIVAS	DISEÑO EXPERIMENTAL OPTIMIZACIÓN	SIMULACIÓN DE PROCESOS	PROYECTOS	
25	FUNDAMENT. INGENIERÍA QUÍMICA	FUNDAMENT. INGENIERÍA QUÍMICA	EXPRESIÓN GRÁFICA	TERMOTECNIA ELECTROTECN.			CONTROL E INSTRUMENTN. DE PROCESOS	LAB. INGENIERÍA QUÍMICA II	PRÁCTICAS EN EMPRESAS O CENTROS DE INVESTIGACIÓN	
30				FENOMENOS DE TRANSPORTE			TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE	LAB. INGENIERÍA QUÍMICA I		
35									PROYECTO FIN DE CARRERA O PROY. INVEST.	PROYECTO FIN DE CARRERA O PROY. INVEST.
39										
TOTAL	30	30	30	36	33	36	36	36	39	39

~ 1970 (LGE) Lic. C. Químicas Esp Industrial

~ 1992 (LRU) Ingeniero Químico

~ 2009 (EEES) Grado en Ingeniería Química

Libro blanco IQ (2006)
RD 1393/2007
OM CIN 351/2009

~ 2022 (RD 822/21) Grado en Ingeniería Química

?

Otras rutas:
Ing. Industrial, Esp. Química
Ing. Técnico Industrial, Esp. Química

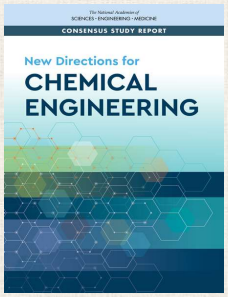
NRC USA. Frontiers in Chemical Engineering Research: Needs and Opportunities. National Academies Press (1988) ("Informe Amundson")

National Academy of Engineering. New directions for Chemical Engineering (Committee on Chemical Engineering for the 21st Century, Challenges and Opportunities). National Academies Press (2022)

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA UCM 2009

PRIMER CURSO		SEGUNDO CURSO		TERCER CURSO		CUARTO CURSO	
CUATRIM. 1	CUATRIM. 2	CUATRIM. 3	CUATRIM. 4	CUATRIM. 5	CUATRIM. 6	CUATRIM. 7	CUATRIM. 8
MATEMATICAS I		MATEMATICAS I	EXPR. GRÁFICA	INGENIERÍA TÉRMICA		ING. MECÁNICA	OPTATIVA
QUÍMICA BÁSICA			BIOQUÍMICA	SIMULACIÓN CONTROL PROC.		ING ELÉCTRICA	OPTATIVA
C MATERIALES	ECON Y ORG.	QUÍMICA ORGANICA		OPERACIONES SEPARACIÓN		PROYECTOS	OPTATIVA
INFORMATICA	ESTADÍSTICA	TERMODINAM. CINÉTICA QUÍMICA	TERMOD. APL.	ING. REACCIÓN QUÍMICA			
FÍSICA		Q. ANALÍTICA	MEC. FLUIDOS	ING. PROCESOS QUÍMICOS		OPTATIVA	
FUNDAM. INGENIERÍA QUÍMICA				TECNOL. MEDIO AMBIENTE		TRABAJO FIN DE GRADO	

New Directions for Chemical Engineering
Commission on Ch. Engng. in the 21st Century.
National Academy of Engineering (USA)
2022



- La Ingeniería Química hoy
- Descarbonización de los sistemas de energía
- Soluciones **sostenibles** para sistemas medioambientales
- Medicina Sostenible y con objetivos ingenieriles
- Fabricación flexible y sostenible. Economía circular
- Materiales nuevos y mejorados para el siglo XXI
- **Herramientas para posibilitar/facilitar el futuro de la Ingeniería Química**
- **Formación y promoción de la nueva generación de ingenieros químicos**
- Liderazgo internacional (de USA en el campo de la IQ)

~ 1970 (LGE) Lic. C. Químicas Esp Industrial

↓

~ 1992 (LRU) Ingeniero Químico

↓

~ 2008 (EEES) Grado en Ingeniería Química

↓

~ 2023 (RD 822/21) Grado en Ingeniería Química

↓

?

Otras rutas:
Ing. Industrial, Esp. Química
Ing. Técnico Industrial, Esp. Química

NRC USA. Frontiers in Chemical Engineering Research: Needs and Opportunities. National Academies Press (1988) ("Informe Amundson")

National Academy of Engineering. New directions for Chemical Engineering (Committee on Chemical Engineering for the 21st Century, Challenges and Opportunities). National Academies Press (2022)

Core Curriculum "Bachelor in Chem. Engng". EFCE, 2020

Core curriculum Chemical Engineering (First cycle)	Minimum ECTS Credits	Range in %
Fundamentals of science and natural sciences Mathematics, informatics (including data management and digitalization toolbox), physics, chemistry, biology.	35	20%-30%
Chemical Engineering fundamentals Material and energy balances, thermodynamics, fluid dynamics, heat and mass transfer, separations processes, chemical reaction engineering, unit operations, bioprocess engineering, process control	50	30%-40%
Core Chemical Engineering applications e.g. basic product engineering, chemical and process safety, health and environment, design and process software and analytical techniques	10	5%-12%
Chemical Engineering sciences or field specific chemical engineering applications according to the main emphasis of the degree course of the university; it might include a longer industrial internship as well. Classical or modern areas of the field, e.g. bioprocess engineering, biomaterials, food engineering, pharmaceutical engineering	30	15%-25%
Complementary fields e.g. economics, management, entrepreneurship, regulatory frameworks, teamwork professional English	10	5%-12%
First Cycle ('Bachelor's') thesis project or design project Final thesis or design project is not required at the bachelor level, but if it is not included, minimum 10 engineering design credits (cumulative) are required in the curriculum	10	5%-10%

CAMBIOS EN LA ENSEÑANZA DE LA IQ

- ¿Qué enseñar? (Materias, Contenidos)
- ¿Cómo enseñar? (Metodología, Adquisición de competencias y habilidades)
- ¿Por qué realizar cambios?
- ¿Cuándo realizar cambios?
- ¿Quién debe llevar a cabo los cambios?

Ley procesos cinéticos:

$$\text{Caudal/Velocidad} = \frac{\text{Fuerza Impulsora}}{\text{Resistencia}}$$

What will we remove from the Curriculum to make room for X?
Phillip C Wankat, Chem Engng. Education, Spring 1987

- Modificación asignaturas obligatorias de IQ
- Modificación asignaturas "externas" (otros departamentos)
- Introducción de nuevas asignaturas obligatorias
- Introducción de nuevas asignaturas optativas
- Establecimiento de orientaciones/Intensificaciones

Future directions in Chemical Engineering Education

…. ¿Cómo manejar todas estas nuevas tendencias en la industria? Podemos revisar las asignaturas existentes, podemos desarrollar nuevas asignaturas y podemos cambiar el plan del Bachelor. Gran parte puede lograrse cambiando el contenido de los cursos existentes. En las asignaturas tradicionales ilustramos la fuerza de los conceptos de IQ resolviendo problemas de fabricación. Primero se aplicaron a procesos derivados del carbón, luego de refino de petróleo y "commodities" petroquímicas. Aún pueden aplicarse estos principios a ejemplos de tecnologías emergentes. ….Es deseable la implantación de materias optativas que refuercen nuevas direcciones como la biotecnología, microelectrónica o materiales avanzados. ….Muchos de nuestros problemas implican fuerzas superficiales e interfaciales, fluidos complejos estabilizados por tensioactivos o polímeros, temas que deberían incluirse en las asignaturas. Una tarea urgente es el desarrollo de asignaturas referentes a Ingeniería de Producto…..como una alternativa a la Ingeniería de Proceso, que ha sido predominante hasta la fecha……

(J. Wei, Chem. Engng. Education, 1988)

EVOLUCIÓN DE CONTENIDOS EN ASIGNATURAS

Énfasis previo	Nuevo énfasis
TERMODINÁMICA	
Moléculas pequeñas	Moléculas grandes
Gases y líquidos simples	Líquidos complejos y sólidos
FENÓMENOS DE TRANSPORTE	
Difusión gaseosa	Difusión en líquidos y sólidos
Fluidos newtonianos	Fluidos No-Newtonianos y polímeros
CINÉTICA	
Reacciones homogéneas gas	Reacciones Fluido-Sólido
Reacciones catalíticas	Reacciones bioquímicas, r. de polimerización
SEPARACIÓN	
Destilación de petróleo	Membranas
	Separación de proteínas
INGENIERÍA DE LA REACCIÓN	
Reactores continuos específicos	Reactores batch flexibles
Petróleo y prod. petroquímicos	Polímeros, Biotecnología, Electrónica
Máx Rendimiento y Selectividad	Reducción de riesgos y emisiones
DISEÑO	
Procesos	Productos
Eficiencia económica	Calidad de producto, seguridad, m.ambiente

CAMBIOS GENERALES EN INDUSTRIA

4ª Revolución Industrial (Industria 4.0)

- Tecnología del Conocimiento
- Carácter transversal (no solo en industria, economía, etc.)
- Inteligencia artificial (Ciencia de datos, ML, DL)

  Cambio de paradigma: modelos tradicionales tratan de comprender un fenómeno y establecer ecuaciones que lo representen; la IA se basa en algoritmos que gestionan datos y efectúan excelentes predicciones del comportamiento de un sistema

Economía circular (Sostenibilidad)

CAMBIOS ESPECÍFICOS EN INDUSTRIAS QUÍMICA Y RELACIONADAS

- Descarbonización de las fuentes de energía
  - -Importancia decreciente del petróleo como m.p. energética
  - -Energías renovables: solar térmica, fotovoltaica, eólica, geotérmica,…
- Procesos electroquímicos (H_2 verde, células de combustible) y fotoquímicos
- Operaciones menos intensivas en energía (membranas,…..)
- Intensificación de procesos
- Nuevos materiales (nanomateriales, nuevos polímeros)
- Menor atención al diseño de procesos (tecnología "madura")
- Mayor atención al diseño de productos (incluye aspectos más científicos, operaciones "menos modelizadas", sistemas más complejos (sólidos, fluidos complejos, etc.))

OTROS CAMBIOS A INTEGRAR EN CURRICULUM

- Importancia creciente de aplicaciones/programas de Simulación: MD, CFD (Computational Fluid Dynamics), Termodinámica, MATLABS/SIMULINK, Procesos (ASPEN, ….)
- Aplicaciones en Diseño y también en Formación de los estudiantes, p.ej. para comprender efecto de variables en una operación o proceso (como práctica virtual)
- Equilibrio entre Fundamentos de una operación o proceso (formación) y Simulación (caja negra)
- Contenido de materias "externas" a IQ (matemáticas, estadística,física,…)
- Mayor carácter científico
- Conectando los "silos"

¿CÓMO ENSEÑAR?

- ¿Enseñanza Presencial, Híbrida (40-60 % n.p), Virtual (>80 % n.p.)?
- Enseñanza presencial: Coincidencia síncrona de profesor-estudiante ¿en espacio físico (aula, laboratorio,….)?
- ¿Sigue siendo válido relacionar la enseñanza presencial exclusivamente a espacios físicos?
- Características de la nueva generación de estudiantes (generación Z): Se dice que es la primera nativa digital; toda la información es digital; inmediatez en la resolución de tareas; multitarea; tendencia a dispersión
- "Nuevas" metodologías: Aula invertida, BPL (proyectos, problemas) …… deberían afectar a toda la titulación, no ser experimentos aislados llevados a cabo en una asignatura o por un profesor.

RETOS FUTUROS

- El tiempo y la vigencia de los planes de estudio
- Planes de estudio flexibles, que permitan incorporar nuevos avances sin modificaciones completas y laboriosas (¿mayor optatividad?)
- Modificaciones orientadas a mantener programas de INGENIERÍA QUÏMICA actuales y eficientes para lograr la mejor formación de los graduados, más que para cumplir normativas (verificación, acreditación, habilitación,….)
- Aprovechar las facilidades que ofrece la transformación digital en las metodologías docentes y en el desarrollo de las actividades teóricas y prácticas, y valorar las consecuencias que tendrían los retrasos o deficiencias en su integración.