

Fundamentos, método e historia de la ingeniería

Una mirada al mundo de los ingenieros

Consulte nuestra página web: www.sintesis.com
En ella encontrará el catálogo completo y comentado



Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los

derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

Fundamentos, método e historia de la ingeniería

Una mirada al mundo de los ingenieros

Javier Aracil



EDITORIAL
SÍNTESIS

Ilustración de cubierta: Carmen Aracil Fernández

© Javier Aracil Santonja

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid
Teléfono: 91 593 20 98
<http://www.sintesis.com>

Depósito legal: M. 42.719-2010
ISBN: 978-84-975671-3-8

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

*A los ingenieros jóvenes
que se interrogan por su profesión*

Inveniet viam, aut faciet.

SÉNECA, *Hercules Furens*

Encontrará un camino o lo hará.

The story of civilization is, in a sense, the story of engineering –that long and arduous struggle to make the forces of nature work for man’s good.

L. SPRAGUE DE CAMP, *The ancient engineers*

La historia de la civilización es, en cierto sentido, la historia de la ingeniería –de la larga y ardua lucha para hacer que las fuerzas de la naturaleza trabajen a favor del bienestar del hombre.

En ce qui concerne l’intelligence humaine, on n’a pas assez remarqué que l’invention mécanique a d’abord été sa démarche essentielle, qu’aujourd’hui encore notre vie sociale gravite autour de la fabrication et de l’utilisation d’instruments artificiels, que les inventions qui jalonnent la route du progrès en ont aussi tracé la direction.

HENRI BERGSON, *La evolución creadora*

En lo que concierne a la inteligencia humana, no se ha considerado bastante que la invención mecánica ha constituido su primer paso esencial, que aún hoy día nuestra vida social gravita en torno a la fabricación y utilización de instrumentos artificiales, que los inventos que jalonan el camino del progreso han trazado así su dirección.

Índice general

Prólogo	17
1. La producción del mundo artificial	23
1.1. Utilidad y curiosidad	23
1.2. Lo natural y lo artificial	26
1.2.1. Una sutil línea de demarcación	31
1.3. Sobre la técnica	36
1.3.1. La utilidad como nota distintiva	38
1.3.2. La técnica no se limita a reglas	39
1.4. La hominización por la técnica	42
1.4.1. La domesticación es indisociable del sedentarismo	46
1.4.2. La técnica es parte de la cultura	49
1.5. Tecnología, un término <i>trés à la mode</i>	51

ÍNDICE GENERAL

2. Un arquetipo de la técnica	61
2.1. La medida del tiempo	61
2.1.1. La invención del reloj mecánico y el mecanismo de escape	63
2.2. La organización de la vida comunitaria en el tiempo	65
2.3. Una máquina inspiradora del mecanicismo	69
2.3.1. El racionalismo mecanicista	73
2.4. La medición de la longitud	75
2.5. Los relojes y la simultaneidad	77
2.5.1. La sincronización horaria	79
2.5.2. La relatividad	81
3. De la técnica a la ingeniería	85
3.1. La aparición de los ingenieros	85
3.1.1. Las Escuelas de ingenieros en la Ilustración	88
3.1.2. Los nuevos ingenieros	90
3.1.3. La ingeniería en el Ochoientos	92
3.2. Algunas definiciones de ingeniería	94
3.2.1. La ingeniería como profesión	99
3.3. Algunas peculiaridades del mundo de la ingeniería	102

ÍNDICE GENERAL

3.3.1.	Invención e innovación	102
3.3.2.	Ingeniería y normalización	105
3.3.3.	La avería	106
3.4.	Aceptación social de la ingeniería	109
3.4.1.	La racionalidad técnica cuestionada	111
3.4.2.	Actitudes ante la alteración del medio natural	113
3.4.3.	Reflexiones adicionales	114
4.	La ciencia o el saber contrastado y estructurado	119
4.1.	La búsqueda del saber	119
4.1.1.	La estructuración de lo que se sabe	122
4.2.	El método como guía para proceder	127
4.2.1.	El razonamiento crítico en el núcleo del método	127
4.2.2.	El método científico	130
4.2.3.	Medición y experimentación	136
4.2.4.	La representación mediante modelos matemáticos	139
4.3.	Las ciencias de la ingeniería	144
5.	La debatida prioridad entre saber y hacer	149
5.1.	Dos actividades afines con racionalidades diferentes	149

ÍNDICE GENERAL

5.2.	El desigual papel del conocimiento en la ciencia y en la ingeniería	155
5.2.1.	Relaciones entre ingeniería y ciencia aplicada	157
5.2.2.	Los ingenieros que investigan	163
5.2.3.	La diferente formación de ingenieros y científicos	165
5.3.	Una clara distinción	167
6.	Lecciones del pasado	173
6.1.	Introducción	173
6.2.	Arquímedes, científico e ingeniero	174
6.3.	Las máquinas de un genio renacentista	178
6.3.1.	Leonardo y el método del ingeniero	180
6.4.	La máquina de vapor	182
6.4.1.	James Watt y la máquina de vapor	188
6.4.2.	Una máquina y dos disciplinas	192
6.5.	De Maxwell a Marconi: una ruta sinuosa	194
7.	Un interludio filosófico	205
7.1.	La técnica y el pensamiento	205
7.2.	La secular sumisión de las artes mecánicas al pensamiento teórico	209

ÍNDICE GENERAL

7.3.	La unión de la ciencia y la técnica en los orígenes de la Modernidad	215
7.4.	Algunos modos de pensar sobre la técnica durante el siglo pasado	219
7.4.1.	El hombre inventor	220
7.4.2.	El hombre y la técnica	224
7.4.3.	La técnica depredadora	230
7.4.4.	La técnica y la existencia humana	233
7.4.5.	La no cobertura de la técnica por la ciencia	245
7.4.6.	La naturaleza dual de los artefactos técnicos	248
8.	El pragmatismo de los ingenieros	257
8.1.	La imagen científica del mundo	257
8.2.	Pragmatismo e ingeniería	266
8.2.1.	El pluralismo de los mapas	267
8.2.2.	Los modelos como esquemas de la realidad	271
8.2.3.	El caso de las máquinas de fabricar papel	273
8.2.4.	Monismo científicista y pluralismo ingenieril	275
8.3.	La técnica y la ciencia allende la Modernidad	279
8.3.1.	La ciencia pospuesta	283
8.3.2.	La preferencia por la técnica	286

ÍNDICE GENERAL

9. El método de la ingeniería	291
9.1. La identidad de los ingenieros radica en su método	291
9.1.1. La creatividad en las raíces de la ingeniería	293
9.1.2. Diseños y proyectos	298
9.1.3. Diseño y dualidad en los objetos técnicos	301
9.2. Algunos puntos de vista sobre el método de los ingenieros .	304
9.2.1. La racionalidad acotada	304
9.2.2. El método de los ingenieros según Vaughn Koen . .	310
9.3. Anatomía del conocimiento involucrado en el ejercicio de la ingeniería	318
9.3.1. Diseño normal y revolucionario	320
9.3.2. El conocimiento empleado en el diseño	322
10. Muestras de la especificidad de la ingeniería	327
10.1. La electricidad invade la industria	327
10.2. La química y su repercusión industrial	335
10.3. Controlar el vuelo	337
10.4. El fordismo y la producción en masa	340
10.5. Una nueva primitiva para la imagen científica del mundo .	342

ÍNDICE GENERAL

10.5.1. Una ingeniería de nuestro tiempo	347
10.6. La información en el control de las máquinas	350
10.6.1. El control y la realimentación	351
10.6.2. La realimentación más allá de la ingeniería	361
10.7. El péndulo invertido: un sencillo ingenio robótico	365
10.7.1. Un artefacto para demostraciones	368
10.7.2. El péndulo invertido como ejemplo del método del ingeniero	373
11. La moral y la ética en la profesión de ingeniero	375
11.1. Los ingenieros y la moral	375
11.1.1. Costumbres y normas	377
11.1.2. La pluralidad de opciones éticas	387
11.2. La profesión de ingeniero	393
11.2.1. La capacitación de los profesionales	395
11.2.2. La autonomía en el ejercicio de una profesión	398
11.2.3. La responsabilidad social de los ingenieros	399
11.2.4. La consideración del futuro	406
11.2.5. La ética estándar del ingeniero	408

ÍNDICE GENERAL

11.3. El desastre del transbordador espacial <i>Challenger</i>	410
11.4. Códigos de ética para ingenieros	415
Bibliografía	421
Índice alfabético	429

Prólogo

¿Ingeniería? Cuando el que esto escribe estudiaba para ingeniero, a principios de los sesenta, esa palabra no circulaba demasiado, ni tenía un uso del todo claro. Nadie decía entonces que estudiaba ingeniería. Tradicionalmente, en España, en las Escuelas y en los Colegios profesionales, y también en las propias Asociaciones, se hablaba siempre de ingenieros. Incluso en el Ejército el Arma correspondiente es la de Ingenieros y no la de Ingeniería –como sucede con las de Infantería o Artillería–. El Instituto de la Ingeniería de España se denominó Instituto de Ingenieros Civiles cuando se creó en 1905 y hasta 1979 no adoptó la denominación actual. Posiblemente en esta nueva denominación se encuentre la primera utilización del término ingeniería para la designación de un organismo de ese rango. Después, ya en 1994, se crea la Real Academia de Ingeniería. Acaso el peso de la palabra inglesa *engineering* esté detrás de esos cambios. En todo caso, se va consolidando el empleo de ese vocablo, que también adoptan algunas Escuelas de nueva creación, aunque las tradicionales han seguido siendo Escuelas de ingenieros, de forma mayoritaria.

Este libro pretende ser una exploración reflexiva del mundo plural de la ingeniería, entendida como los conocimientos y las actividades profesionales de los ingenieros, los cuales han contribuido decisivamente a la producción del mundo artificial “ingeniado”, en el sentido de hecho con ingenio, conocimiento y habilidad –que es como los ingenieros hacen las cosas–. Se trata de esbozar un panorama sobre ese modo de quehacer, pretensión que no puede aspirar en absoluto a ser completa, ni a evitar algunas simplificaciones. El tema es tan amplio y el espacio disponible tan escaso que muchas cosas se quedarán en el tintero; aunque ello no obsta para que se pretenda aportar una visión que posea entidad propia.

En el mundo artificial en el que vivimos, la imperiosa necesidad de la afirmación de la radical especificidad de la ingeniería, y de la reflexión sobre su método y naturaleza, debe quedar más allá de toda duda. Los ingenieros son artífices destacados de ese mundo artificial, para cuya construcción se precisa la intervención de la técnica (o, como ahora dicta la moda, la tecnología –volveremos sobre esto–), que adquiere su forma más elaborada en la ingeniería. Por eso se requiere un sólido y profundo análisis de esa actividad transformadora del mundo natural que se halla íntimamente entrelazada con el complejo de actividades que forman lo que genéricamente conocemos como cultura. De hecho, la ingeniería no es algo ajeno, colateral o añadido a la cultura humana, sino que forma parte integral e indisoluble de ella. Sin olvidar tampoco que el cuerpo de conocimientos desarrollado por los ingenieros tiene todas las componentes de conocimiento científico, como se ilustrará en este libro.

La producción de lo artificial es el resultado del quehacer técnico por lo que, para empezar con el análisis de la ingeniería, en el capítulo 1 se tratará de la técnica: la acumulación de experiencia y procedimientos a partir de los cuales el hombre despliega su potencial emancipador mediante la producción de artefactos. Sigue a ese capítulo uno dedicado a una máquina que sirve de ilustración de las peculiaridades de la técnica: el reloj, con el que se pone de manifiesto la profunda interacción entre la técnica y otras manifestaciones de la cultura. Esta máquina es una muestra de los artefactos que, como también la máquina de vapor o el ordenador, han adquirido un valor que trasciende al problema utilitario que motivó su concepción. Después, en el capítulo 3, se presenta una primera aproximación a la ingeniería, como forma evolucionada y progresiva de la técnica.

Un dominio que aparece vinculado con el de la ingeniería es el de la ciencia, a la que se dedica el capítulo 4. Sin embargo, como veremos, el ingeniero tiene que enfrentarse a un mundo mucho más complejo y variado que el que cubre la ciencia establecida. Con todo, ingenieros y científicos comparten un uso peculiar de la razón. Ambos se relacionan con la realidad mediante conceptos y medidas, que dan lugar a magnitudes susceptibles de ser tratadas matemáticamente, lo

PRÓLOGO

que permite hacer cálculos e inferencias lógicas. Sin embargo, aplican racionalidades diferentes pues persiguen objetivos desiguales, lo que determina que los métodos de unos y de otros, a pesar de tener zonas de coincidencia, acaben siendo distintos. El análisis de estas afinidades y diferencias es el objeto del capítulo 5, al que sigue otro dedicado a explorar en el pasado casos concretos que ilustren esa diferente racionalidad.

Los dos capítulos siguientes, el 7 y el 8, se dedican a presentar algunos puntos de vista relativos a cómo se han visto la técnica y la ingeniería desde el mundo del pensamiento. Para una sociedad tan importante es producir ingeniería y ciencia como crear significado. Esto último ha sido la labor tradicional del filósofo en su búsqueda de sentido para la existencia y las actividades humanas. Por ello, resulta conveniente dedicar algún espacio a la visión del mundo de la técnica que han tenido algunos de estos pensadores, a lo que se dedican estos dos capítulos. Se han incluido únicamente puntos de vista que resultan pertinentes para las tesis que aquí se sustentan, sea por afinidad o por contraste.

Pero, ¿qué identifica a los ingenieros? En este libro se defiende que es el método el que cumple ese papel, al que se dedica el capítulo 9, en el que se pretenden aclarar algunas de las peculiaridades del polivalente método de la ingeniería. Este método está basado en formas y modos peculiares de abordar los problemas que son propios de los profesionales de ese quehacer.

Sigue un capítulo en el que, análogamente a lo que se hizo en el 6, se presentan algunos casos históricos que ilustran la tesis que aquí se defiende: el carácter específico del método de la ingeniería. Estos casos incluyen cuestiones como la aparición de la electricidad en el mundo de las actividades ingenieriles, entre otros. Se habla también del advenimiento de la información como un concepto primitivo para la descripción del mundo, originado en los nuevos dominios de la ingeniería que florecen en nuestro tiempo. En este contexto se alude a la incorporación de la propia información al funcionamiento de las máquinas para permitir su autogobierno, lo que conduce al estudio de los

sistemas realimentados, cuyo diseño permite ilustrar rasgos peculiares del método del ingeniero.

El análisis que se presenta aquí se desenvuelve entre dos polos. Por una parte, se trata de asociar a la ingeniería con un cuerpo de conocimientos sólidos; es decir, un conjunto de disciplinas a las que se puede propiamente calificar de científicas –de saberes basados en la experiencia y estructurados racionalmente, de acuerdo con los rigores del método científico–. Por otra, se considera la ingeniería como una profesión. El conocimiento, aunque es una porción esencial del patrimonio del ingeniero, es únicamente una parte de él. Tan importante como el conocimiento es aquello que hace que el ingeniero se desenvuelva en el espinoso mundo de la acción, en el que desempeña múltiples tareas. Así, se dedica tanto a hacer proyectos como a la dirección de la producción, a la gestión, a la investigación y a otras muchas labores, y también a combinaciones de ellas. El complejo proceso de la ingeniería involucra desde componentes de intuición, creatividad y cálculo, hasta implicaciones de tipo ético. Por esto último, el libro se cierra con un capítulo dedicado a una cuestión tan resbaladiza como ineludible, como es la ética, y en particular la ética profesional del ingeniero.

Los ingenieros han tenido tradicionalmente un gran éxito profesional, por lo que han estado muy ocupados en sus propias labores, y no ha sido corriente entre ellos dedicarse a analizar los entresijos de la profesión, su historia y su fundamentación –pues esta última parecería obvia, dado el éxito alcanzado por sus productos–. Sin embargo, ese análisis se hace hoy ineludible tanto desde el punto de vista de la percepción social que recibe la profesión como, y quizá sobre todo, desde dentro de la misma comunidad de los que la ejercen. Además, el crecimiento desorbitado del número de escuelas de ingenieros en España, en algunos casos establecidas precipitadamente careciendo de unas bases adecuadas, hace necesario el tratar de hacer explícitos los atributos que definen las correspondientes actividades. A ello pretende contribuir este volumen. De modo que con independencia de que todo libro tiene una vida propia cuando sale de las manos del autor y el editor, éste que tiene ahora el lector ante sus ojos, aunque encuadrado en un marco académico, está en principio pensado al menos para dos

PRÓLOGO

tipos de lectores: los propios ingenieros, especialmente los más jóvenes, que se cuestionan el sentido de su profesión; y el público culto general que pretenda acercarse al frondoso mundo de la ingeniería.

El origen de este libro se encuentra en una asignatura no convencional que se imparte desde hace algunos años en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, denominada “Metodología e Historia de la Ingeniería”. Esta asignatura fue promovida por el entonces Director de la Escuela, José Domínguez Abascal, quien pretendía que hubiese una asignatura que cursasen todos los estudiantes que pasasen por ese Centro, con independencia de su especialidad (dejando aparte las ciencias básicas como las matemáticas y la física). Parte de los materiales reunidos para organizar esta nueva asignatura han aportado la trama del libro.

La organización del material que forma este volumen ha ofrecido algún problema, debido a la variedad de cuestiones que abarca, lo que ha obligado a recurrir a continuas llamadas, de las que el lector presuroso sin duda prescindirá, pero que acaso sirvan de ayuda al sosegado para buscar sus propias rutas. Por otra parte, es posible que el lector encuentre excesivas algunas repeticiones pero, si es así, es porque se ha tenido que volver, una y otra vez, sobre algunas cuestiones que son recurrentes a lo largo del libro: especialmente las relacionadas con lo peculiar del quehacer técnico e ingenieril con respecto a otros modos de actividad que pudieran resultar cercanos e incluso arrogarse una relación de dominación con respecto al modo de actividad que aquí se glosa. En cualquier caso, acepte el lector esas repeticiones como una especie de estribillos wagnerianos.

Agradecimientos

Este libro incorpora material que ha circulado durante años, en diferentes formatos, y que ha sido objeto de debates tanto en sesiones de seminarios como en las propias clases con los estudiantes. Por tanto, la lista de quienes han contribuido a depurarlo es extremadamente larga.

Sin embargo, algunas personas han tenido una especial influencia en la forma definitiva que ha adquirido este volumen.

Para esta forma final han sido decisivos los sabios consejos de Fernando Broncano, Enrique Cerdá Olmedo, José Ferreirós y Manuel Silva. Asimismo, han aportado continuas y sustanciosas propuestas los profesores que imparten la asignatura antes mencionada, y que son Manuel Alcalde, Francisco Colodro, Fabio Gómez-Estern y Luis Vilches. El autor está también agradecido a quienes desbrozaron embarazos borradores, o le facilitaron enriquecedoras consultas, y cuyas observaciones y sugerencias han permitido introducir considerables mejoras en el texto definitivo. Son éstos Antonio Barrero, Jaime Conde, Jaime Domínguez Abascal, Antonio Gómez, Francisco Gordillo, Manuel Liz, Antonio Luque, Margarita Vázquez, Jesús Vega Encabo, y ha quedado para el final José Martínez García, quien aunque al principio colaboró en la asignatura que ha servido de inspiración a este libro, se ha convertido en un agudo detractor de las tesis aquí expuestas, lo que no ha impedido que generosamente aportase valiosos comentarios, que han sido especialmente relevantes por lo que tenían de contrapunto. Habiendo dispuesto de tan cualificadas asesorías, el autor se siente abrumado por las incorrecciones que, pese a ello, se hayan podido deslizar en la versión final. Habrá que asumirlas como inevitables gajes del oficio.

Por otra parte, mención especial merecen Francisco Gordillo, Francisco Salas y mi hija Carmen por su infinita paciencia al asesorarme en cuantos problemas informáticos he tenido durante la escritura y composición del libro.

Por último, la concesión de un año sabático por la Universidad de Sevilla, así como el régimen de Reducción de Docencia, me han permitido disponer de tiempo para poner en limpio múltiples notas y dar forma a este conjunto de ideas.