

**CONCURSO PARA UNA PLAZA DE
PROFESOR TITULAR**

en el
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE
SISTEMAS TELEMATICOS
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACION
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

para impartir docencia en
INGENIERIA DE SISTEMAS

PROYECTO DOCENTE

José Carlos González Cristóbal

Madrid, octubre de 1990

**CONCURSO PARA UNA PLAZA DE
PROFESOR TITULAR**

en el
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE
SISTEMAS TELEMATICOS
ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACION
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

para impartir docencia en
INGENIERIA DE SISTEMAS

PROYECTO DOCENTE

José Carlos González Cristóbal

Madrid, octubre de 1990

*A mis profesores, ese colectivo anónimo
que, sin pretenderlo, me legó su aprecio
por la enseñanza.*

Indice

1	El enfoque de sistemas	1
1.1	Introducción	1
1.2	Origen del enfoque de sistemas	3
1.3	Concepto de sistema	4
1.4	Los albores del enfoque de sistemas	6
1.5	Las ciencias de la complejidad	7
1.6	Tipos de problemas	8
1.7	Metodologías de sistemas para problemas no estructurados	9
1.8	Ingeniería de Sistemas	10
1.8.1	Análisis de sistemas	12
1.8.2	Diseño de sistemas	14
1.8.3	Gestión de sistemas	16
1.9	Dinámica de Sistemas	16
2	Consideraciones metodológicas	19
2.1	Un ejercicio sistémico	19
2.2	Modelo conceptual del sistema enseñanza-aprendizaje	21
2.3	Un proyecto docente	23
3	Análisis	25
3.1	Entorno académico	25
3.1.1	El marco legal	25
3.1.2	Currículos en ciencia e ingeniería informáticas	25
3.1.3	La Ingeniería de Sistemas en los currículos	29
3.1.4	La Ingeniería del Software en los currículos	30
3.1.5	La Dinámica de Sistemas en los currículos	32
3.1.6	La Ingeniería de Sistemas en el plan de estudios	33
3.1.7	La asignatura de Ingeniería de Sistemas hasta la actualidad	36
3.1.8	Prácticas	37

3.1.9	Requisitos académicos	38
3.1.10	Asignaturas del currículo relacionadas con la Ingeniería de Sistemas	38
3.2	El entorno profesional	40
3.3	El entorno social	42
3.4	Constricciones	42
4	Diseño	46
4.1	Objetivos generales	46
4.2	Criterios	47
4.2.1	Criterios socio-académicos	47
4.2.2	Criterios de contenido	47
4.2.3	Criterios pedagógicos	48
4.3	Método docente	48
4.4	Contenidos	51
4.4.1	Parte 1. El enfoque de sistemas	53
4.4.2	Parte 2. Análisis de sistemas software	54
4.4.3	Parte 3. Dinámica de Sistemas	55
4.4.4	Parte 4. Metodologías para sistemas no estructurados	56
4.5	Requisitos	57
4.6	Planificación del curso	57
4.6.1	Distribución y ordenación de los temas	57
4.6.2	Planificación detallada	58
4.7	Bibliografía	65
4.8	Otras fuentes	68
4.8.1	Publicaciones periódicas	68
4.8.2	Congresos	69
4.9	Evaluación del alumno	70
4.10	Evaluación del curso	70
5	Conclusiones	73
5.1	El nuevo plan de estudios	73
5.2	Tendencias generales en los currículos de ingeniería	73
5.3	La Ingeniería de Sistemas en el currículo de la ETSTTM	75
A	Ingeniería de Sistemas. Resumen del curso	76
A.1	Contexto	76
A.2	Descripción	76
A.3	Objetivos	77
A.4	Requisitos	77

A.5 Programa	77
A.6 Metodología	80
A.7 Evaluación	80

Lista de Tablas

1.1	Matriz de actividad de Hall	11
3.1	Distribución temática del plan 1964-M2	27
3.2	Función principal del puesto de trabajo	41
3.3	Area tecnológica del puesto de trabajo	41
3.4	Evolución de la matrícula de las asignaturas optativas obligatorias del área III	43
3.5	Evolución de los resultados de exámenes	45
4.1	Distribución global del curso	58

Lista de Figuras

1.1	Etapas del análisis de sistemas	13
1.2	Etapas del diseño de sistemas	15
2.1	Modelo conceptual del sistema enseñanza-aprendizaje	22
2.2	Ciclo de vida del modelo	23

Capítulo 1

El enfoque de sistemas

1.1 Introducción

La Ingeniería de Sistemas, considerada como una disciplina, padece un desconocimiento generalizado y, como consecuencia, un olvido crónico en los currículos académicos. Este hecho llama especialmente la atención dadas la ubicuidad y la omnipresencia de los sistemas en nuestra sociedad.

Recientemente llevé a cabo un experimento consistente en solicitar de algunos profesionales en mi entorno más próximo una definición del término *ingeniería de sistemas*. Los resultados obtenidos fueron bastante variados, cosa que no me produjo gran preocupación. Algunas definiciones incidían en diversos aspectos que se solapaban con mi concepción del término. Sin embargo, cuando solicité de las mismas personas que aventuraran unos contenidos para un hipotético curso sobre el tema, la reacción general fue de enmudecimiento. Teniendo en cuenta mi cercano deber de defender un proyecto docente en este área, confieso que la prueba me produjo gran inquietud.

La palabra *sistema* está en todas partes y en todas las bocas. No hay más que ojear el plan de estudios de este centro para encontrarse con Sistemas de Telecomunicación, Sistemas Digitales, Sistemas Lineales, ... e Ingeniería de Sistemas. Tal vez por esa razón se encuentra tan amenazada de perder su significado. Baste un botón como muestra. Cuando este departamento se vio en la necesidad de cambiar de nombre a fin de que no coincidiera con el de un área de conocimiento, y así poder admitir a profesores adscritos a otras áreas, se decidió sustituir *telemática* por *sistemas telemáticos*. La decisión se tomó por unanimidad y casi sin discusión. En el ánimo de la mayoría estaba que la palabra *sistemas* ni añadía ni quitaba nada.

Convendrá por tanto aclarar el panorama cuanto antes. Expondré en primer

lugar los motivos por los que surge el denominado *enfoque de sistemas* y los conceptos en que se basa este modo de pensamiento. A continuación explicaré la relación entre el enfoque de sistemas, las diversas metodologías de sistemas y la ingeniería de sistemas.

He creído necesario establecer las ideas básicas citadas antes de plantear algunas consideraciones metodológicas sobre cómo abordar la realización de este proyecto docente. Para ello, no podría ser menos, enmarcaré el proyecto dentro de un sencillo modelo del sistema enseñanza-aprendizaje. Dentro del ciclo de vida de este sistema, y empleando siempre terminología y metodología de sistemas, afrontaré las dos fases de dicho ciclo que constituyen a mi juicio el objeto de todo proyecto docente: análisis y diseño.

No suele esperarse de un proyecto docente que ofrezca conclusiones. Sin embargo nos hallamos en un proceso de definición de titulaciones y en la antesala de la elaboración de un nuevo plan de estudios. Creo que este hecho obliga cuando menos a valorar la posición de una *Ingeniería de Sistemas* dentro del futuro plan.

Concluiré este trabajo con un apéndice que resume las principales decisiones de diseño de la asignatura. En cuanto a la bibliografía que he manejado para su elaboración, y dada la variada naturaleza de las fuentes consultadas, he decidido estructurarla en las siguientes secciones:

1. Enfoque de sistemas, ingeniería de sistemas (ES)
2. Dinámica de sistemas (DS)
3. Ingeniería de software (IS)
4. Currículos en ingeniería e informática (CI)
5. Diseño curricular, formación en ingeniería (DC)

Las referencias a la bibliografía a lo largo del texto se identificarán mediante los dos caracteres indicadores de la sección, seguidos del primer apellido del primer autor y las dos últimas cifras del año de publicación.

Las ideas de sistemas están presentes en el plan de estudios de esta escuela desde 1976 (plan 1964-M), en buena parte gracias al trabajo de Fernando Sáez Vacas y Gregorio Fernández. La experiencia era por aquel entonces pionera en nuestro país. Este proyecto pretende recoger en lo posible las enseñanzas recibidas de ambos y el saber acumulado por nuestro departamento durante catorce años de práctica docente en este campo. Sobre esta base plantearé mi visión de la enseñanza de la ingeniería de sistemas en nuestra escuela para los años venideros.

promoviendo así un marco de discusión previo a la elaboración del nuevo plan de estudios.

La elaboración de memorias de oposición tiene una cierta dimensión consuetudinaria. Es lógico, porque el concursante recurre a las memorias que tiene más a mano para aprender en qué consiste un proyecto docente o un proyecto investigador para un concurso; y es saludable, porque esta exploración puede contribuir a ampliar las miras y a mejorar por tanto el proyecto propio. Sin embargo, este proceso natural degenera a veces en la aparición de "familias" de memorias con una raíz común (normalmente una memoria de cátedra) y ramas particulares para diferentes áreas temáticas. Curiosamente es inusual en estos casos ver reflejadas dichas fuentes en la bibliografía de la memoria correspondiente. Por mi parte, creo una obligación dejar constancia de que he manejado varias memorias presentadas en este centro [CI Sáez-88, CI Fernández-81, CI Viña-88] y en otros [CI Torrealdea-87b, CI Toro-88]. Por otro lado he indagado la existencia de fuentes más primarias, como publicaciones de profesionales de las Ciencias de la Educación sobre diseño curricular en general y sobre la preparación de memorias de concursos para la provisión de plazas docentes en la universidad española en particular. De las primeras existen abundantes referencias. Yo he consultado [DC Císcar-87, DC Miller-81]. Entre las segundas, que también las hay, una buena referencia es [DC Hernández-89].

1.2 Origen del enfoque de sistemas

El concepto de sistema¹ arranca del problema de las partes y el todo, ya discutido en la antigüedad por Hesíodo (siglo VIII a.C.) y Platón (siglo IV a.C.). Sin embargo, el estudio de los sistemas como tales no preocupa hasta la segunda guerra mundial, cuando se pone de relieve el interés del trabajo interdisciplinar y la existencia de analogías (isomorfismos) en el funcionamiento de sistemas biológicos y automáticos. Este estudio tomaría carta de naturaleza cuando, en los años cincuenta, L. von Bertalanffy elabora una *Teoría General de Sistemas* [ES Bertalanffy-50, ES Bertalanffy-68].

La aparición del enfoque de sistemas tiene su origen en la incapacidad manifiesta de la ciencia para tratar problemas complejos. El método científico, basado en reduccionismo, repetitividad y refutación, fracasa ante fenómenos muy complejos por varios motivos [ES Checkland-81]:

- El número de variables interactuantes es mayor del que el científico puede

¹Una excelente presentación de las ideas de sistemas puede encontrarse en [ES Checkland-81].

controlar, por lo que no es posible realizar verdaderos experimentos.

- La posibilidad de que factores desconocidos influyan en las observaciones es mucho mayor.
- Como consecuencia, los modelos cuantitativos son muy vulnerables.

El problema de la complejidad es especialmente patente en las ciencias sociales, que deben tratar con un gran número de factores humanos, económicos, tecnológicos y naturales fuertemente interconectados. En este caso la dificultad se multiplica por la imposibilidad de llevar a cabo experimentos y por la propia intervención del hombre como sujeto y como objeto (racional y libre) de la investigación.

La mayor parte de los problemas con los que tratan las ciencias sociales son de gestión: organización, planificación, control, resolución de problemas, toma de decisiones, ... En nuestros días estos problemas aparecen con crudeza, y a veces con dramatismo, en la administración, la industria, la economía, la defensa, la sanidad, etc.

En esta situación, el enfoque de sistemas aparece para ([ES Checkland-81], pág. 74) ...

“... abordar el problema de la complejidad irreducible a través de una forma de pensamiento basada en la *totalidad* y sus propiedades que complementa el reduccionismo científico.”

1.3 Concepto de sistema

La exposición anterior permite vislumbrar algunos de los rasgos característicos de lo que vamos a entender por sistema. Para centrar más el tema, tomaremos algunas de la gran variedad de definiciones de este concepto que nos ofrece la literatura (ver [ES Morin-77]). Por ejemplo, von Bertalanffy escribe sencillamente [ES Bertalanffy-68]:

“Un sistema es un conjunto de unidades en interrelación.”

Una definición especialmente temprana y completa es la de Ferdinand de Saussure (citado por [ES Morin-77]), que en 1931 precisaba que sistema es ...

“... una totalidad organizada, hecha de elementos solidarios que no pueden ser definidos más que los unos con relación a los otros en función de su lugar en esa totalidad.”

También resulta atractiva, por lo formal, la definición de Bunge [ES Bunge-79], para el que un sistema Σ es una terna ordenada $[C(\Sigma), E(\Sigma), S(\Sigma)]$ en la que:

- $C(\Sigma)$ (composición de Σ) representa el conjunto de partes de Σ .
- $E(\Sigma)$ (entorno o medio ambiente de Σ) es el conjunto de aquellos elementos que, sin pertenecer a $C(\Sigma)$, actúan sobre sus componentes o están sometidos a su influencia.
- $S(\Sigma)$ (estructura de Σ) es el conjunto de relaciones y vínculos de los elementos de $C(\Sigma)$ entre sí o bien con los miembros del entorno $E(\Sigma)$.

Por último, incluimos por su relevancia para nosotros las dos definiciones del IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms [ES IEEE-83]:

“Un todo integrado, aunque compuesto de estructuras diversas, interactuantes y especializadas. Notas: (1) Cualquier sistema tiene un número de objetivos, y los pesos asignados a cada uno de ellos puede variar ampliamente de un sistema a otro. (2) Un sistema ejecuta una función imposible de realizar por una cualquiera de las partes individuales. La complejidad de la combinación está implícita.”

(IEEE Society on System, Man and Cybernetics)

“Una colección organizada de hombres, máquinas y métodos necesaria para cumplir un objetivo específico.”

(Std. X3.12-1970 (ANSI); Std. 2382/V, VI (ISO) Vocabulary for Information Processing)

Resumiendo, de las definiciones se pueden extraer unos aspectos fundamentales:

- La existencia de elementos diversos e interconectados.
- El carácter de unidad global del conjunto.
- La existencia de objetivos asociados al mismo.
- La integración del conjunto en un entorno.

1.4 Los albores del enfoque de sistemas

Lord Rutherford pronunció la frase que refleja más claramente el éxito del método científico reduccionista durante el primer tercio de este siglo: "Hay Física y hay coleccionismo de sellos". El objetivo último era explicar cualquier fenómeno natural en términos de la Física.

Fueron los biólogos quienes se vieron en primer lugar en la necesidad de pensar en términos de *totalidades*. El estudio de los seres vivos exigía considerar a éstos como una jerarquía organizada en niveles, cada uno más complejo que el anterior. En cada uno de estos niveles aparecen propiedades emergentes que no se pueden explicar a partir de los componentes del nivel inferior, sencillamente porque se derivan de la interacción, y no de los componentes individuales.

En los años cuarenta comienza un vivo interés por los estudios interdisciplinarios con el fin de explorar la tierra de nadie existente entre las ciencias establecidas. Estos estudios ponen de manifiesto la existencia de analogías (más bien isomorfismos) en la estructura y comportamiento de sistemas de naturaleza muy distinta (sistemas biológicos, mecánicos, eléctricos, etc.). Así es como Wiener y Bigelow descubren la ubicuidad de los procesos de *realimentación*, en los que informaciones sobre el funcionamiento de un sistema se transmiten a etapas anteriores formando un bucle cerrado que permite evaluar el efecto de las posibles acciones de control y adaptar o corregir el comportamiento del sistema. Estas ideas constituyen el origen de la *Cibernética*, cuyo objeto es el estudio de los fenómenos de *comunicación y control*, tanto en seres vivos como en máquinas [ES Wiener-48].

Un concepto previo al de comunicación es el de *información*. Los trabajos en este campo de Wiener y especialmente de Shannon [ES Shannon-49] llevaron a establecer una teoría estadística de la información.

En esta misma década, von Bertalanffy proponía los fundamentos de una Teoría de Sistemas Generales y en 1954 se crea la Sociedad para la Investigación de Sistemas Generales. El programa de la sociedad era el siguiente [ES Bertalanffy-68]:

1. Investigar el isomorfismo de conceptos, leyes y modelos en varios campos, y promover transferencias útiles de un campo a otro.
2. Favorecer el desarrollo de modelos teóricos adecuados en aquellos campos donde faltaran.
3. Reducir en lo posible la duplicación de esfuerzo teórico en campos distintos.
4. Promover la unidad de la ciencia, mejorando la comunicación entre los especialistas.

El objetivo último de von Bertalanffy, el desarrollo y difusión de una única meta-teoría de sistemas formalizada matemáticamente, no ha llegado a cumplirse. En su lugar, de lo que podemos hablar es de un enfoque de sistemas o un pensamiento sistémico que se basa en la utilización del concepto de sistema como un todo irreducible.

A lo largo de los años cincuenta comenzó a fraguarse en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) otra importante metodología de sistemas, la Dinámica de Sistemas. Jay W. Forrester, ingeniero electrónico, había pasado del Laboratorio de Servomecanismos, donde inventó las memorias magnéticas de núcleos de ferrita, a coordinar un gran proyecto de defensa, el sistema SAGE (Semi-Automatic Ground Equipment). En la realización de este sistema de alerta en tiempo real se percató de la importancia del enfoque sistémico para concebir y controlar entidades complejas como las que surgen de la interacción de hombres y máquinas.

Tras esta experiencia, Forrester pasaría como profesor a la Sloan School of Management del MIT, donde observó que en las empresas se producían fenómenos de realimentación que podían ser causa de oscilaciones, igual que sucede en los servomecanismos. De esta forma ideó la Dinámica Industrial [DS Forrester-61], una metodología que permitía construir modelos cibernéticos de los procesos industriales. La peculiaridad de estos modelos residía en la posibilidad de simular su evolución temporal con la ayuda del ordenador. Posteriormente aplicaría su metodología a problemas de planificación urbana [DS Forrester-69] y la generalizaría para cualquier tipo de sistema continuo, cambiando su denominación por la de Dinámica de Sistemas [DS Forrester-68, DS Meadows-71].

1.5 Las ciencias de la complejidad

El enfoque de sistemas ha dado lugar a estudios teóricos y aplicados. Entre los primeros se encuadran algunos de los citados anteriormente: la Cibernética y las teorías de Sistemas Generales, de los Sistemas Dinámicos, de los Sistemas Auto-organizativos, de la Información y de las Jerarquías. Todos ellos se pueden englobar bajo la denominación genérica de *Ciencias de los Sistemas*.

Los estudios aplicados son por su parte aquellos que emplean el enfoque sistémico para la resolución de problemas, y entre ellos se encuentran la Ingeniería de Sistemas, la Gestión de Sistemas, la Investigación Operativa o la Dinámica de Sistemas.

En los últimos tiempos se está extendiendo el uso del término *Ciencias de la Complejidad* para referirse a todas las disciplinas que hacen uso del enfoque de

sistemas. En general, las Ciencias de la Complejidad comparten bastantes de las siguientes características:

- Han sido establecidas por grupos interdisciplinarios de investigadores interesados en explorar los aspectos invariantes de la *complejidad* y la *sistemicidad* fuera de las fronteras establecidas entre los distintos campos del saber [CI Snow-90].
- Hacen hincapié en el estudio de la estructura (interconexión entre componentes) y su importancia en el comportamiento de los sistemas. Esta estructura puede conllevar aspectos de paralelismo o circularidad (realimentación).
- Destacan el carácter de totalidad o unidad global de los sistemas objeto de estudio.
- Manejan aspectos no materiales de los sistemas, en particular aquellos que tiene que ver con información, comunicación u organización. Los conceptos de complejidad e incertidumbre suelen ser básicos.
- Suelen tratar con sistemas abiertos, aquellos que intercambian materia, energía o información con el entorno. En este contexto son especialmente importantes la interacción con el observador y la toma de decisiones.
- El ordenador es la herramienta fundamental de las ciencias de la complejidad debido a su capacidad para modelar y simular sistemas complejos.

En lo que sigue nos centraremos en los estudios aplicados, ya que los teóricos caen directamente en el ámbito de otra asignatura del plan de estudios: Cibernética y Teoría de Sistemas, de quinto curso.

1.6 Tipos de problemas

Acabamos de ver cómo, dentro del pensamiento de sistemas, coexisten diversas teorías de carácter general y diversas metodologías aplicables a la resolución de problemas concretos. Pues bien, estas últimas están necesariamente determinadas por los tipos de problemas que son capaces de resolver. Así, Checkland distingue entre dos tipos de problemas en el mundo real (por oposición a los problemas de laboratorio):

- Estructurados (duros): aquellos que se pueden formular como la búsqueda de medios eficaces para alcanzar un objetivo concreto. Se parte de un estado inicial S_0 , se conoce el estado que se desea alcanzar S_1 y se trata de seleccionar el camino más eficiente para ir del primero al segundo.
- No estructurados (blandos): no se pueden formular de la manera anterior sin simplificar en exceso. Habitualmente son problemas dinámicos y su percepción es subjetiva. El establecimiento de los objetivos es a su vez problemático.

Al conjunto de metodologías que permiten resolver problemas estructurados, o al menos aspectos parciales de los mismos, se le suele dar el nombre de Ingeniería de Sistemas, mientras que no existe denominación similar que agrupe las metodologías de sistemas no estructurados. En toda esta discusión, queda claro que cuando hablamos de problemas, estamos haciendo referencia a problemas complejos, como los que habitualmente se nos presentan en los sistemas de los que forma parte el hombre (sistemas de actividad humana, para utilizar la terminología de Checkland).

1.7 Metodologías de sistemas para problemas no estructurados

No abundan las metodologías útiles para la resolución de problemas no estructurados. El problema fundamental consiste en encontrar un punto intermedio entre la filosofía (tan abstracta que no puede proporcionar guías de acción concretas) y la técnica (tan específica que no es aplicable a la generalidad de los problemas reales).

Por otro lado, tampoco podemos exigir los resultados que normalmente se pretenden en ingeniería: encontrar soluciones óptimas. Los sistemas de actividad humana suelen tener múltiples objetivos mutuamente excluyentes. Es más, la satisfacción de tales fines suele ser contemplada de forma distinta por distintos observadores.

En el mejor de los casos, lo más que se puede esperar de estos estudios es un aprendizaje, una mayor comprensión del problema que conduzca a acciones que contribuyan a mejorar la situación.

Existen varias metodologías que proporcionan procedimientos útiles para la aplicación de los conceptos de sistemas a la resolución de problemas no estructurados. Destacan entre ellas las propuestas (y probadas) por Checkland [ES Checkland-81] y Beer [ES Beer-85].

1.8 Ingeniería de Sistemas

La primera referencia que describe ampliamente el procedimiento de la Ingeniería de Sistemas fue publicada en 1950 por Melvin J. Kelly, entonces director de los laboratorios de la Bell Telephone, subsidiaria de investigación y desarrollo de la AT&T. Esta compañía jugó un papel importante en el nacimiento de la Ingeniería de Sistemas por tres razones: la acuciante complejidad que planteaba el desarrollo de redes telefónicas, su tradición de investigación relativamente liberal y su salud financiera. Así, en 1943 se fusionaban los departamentos de Ingeniería de Conmutación e Ingeniería de Transmisión bajo la denominación de Ingeniería de Sistemas. A juicio de Arthur D. Hall ([ES Hall-89], pág. 11), "...la función de ingeniería de sistemas se había practicado durante muchos años, pero su reconocimiento como entidad organizativa generó mayor interés y recursos en la organización". En 1950 se creaba un primer curso de postgrado sobre el tema en el M.I.T. y sería el propio Hall el primer autor de un tratado completo sobre el tema [ES Hall-62].

Para Hall, la Ingeniería de Sistemas es una tecnología por la que el conocimiento de investigación se traslada a aplicaciones que satisfacen necesidades humanas mediante una secuencia de planes, proyectos y programas de proyectos. Hall definiría asimismo un marco para las tareas de esta nueva tecnología, una matriz tridimensional de actividades [ES Sage-77] en la que los ejes representaban respectivamente (tabla 1.1):

- La dimensión temporal: son las fases características del trabajo de sistemas, desde la idea inicial hasta la retirada del sistema.
- La dimensión lógica: son los pasos que se llevan a cabo en cada una de las fases anteriores, desde la definición del problema hasta la planificación de acciones.
- La dimensión del conocimiento: se refiere al conocimiento especializado de las diversas profesiones y disciplinas. (Esta dimensión, ortogonal a las anteriores, no ha sido incluida en la tabla a efectos de una mayor claridad.)

Para Wymore [ES Wymore-76], el objeto de la Ingeniería de Sistemas es el "análisis y diseño de sistemas hombre-máquina, complejos y de gran tamaño", incluyendo por tanto los sistemas de actividad humana. En estos casos el inconveniente habitual suele ser la dificultad de expresar los objetivos de manera precisa.

La definición del IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms [ES IEEE-83] nos es en esta ocasión de escasa utilidad por su grado de generalidad:

Pasos Fases	Definición problema	Diseño sistema de valores	Síntesis	Análisis	Ordenación optimización alternativas	Toma de decisiones	Planificación de la acción
Planific. programa							
Planific. proyecto							
Desarrollo sistema							
Producción							
Distribución							
Operación							
Retirada							

Tabla 1.1: Matriz de actividad de Hall

“...la aplicación de las ciencias matemáticas y físicas para desarrollar sistemas que utilicen económicamente los materiales y fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad.

Una definición especialmente completa (y que data de 1974) nos la ofrece un estándar militar de las fuerzas aéreas estadounidenses sobre gestión de la ingeniería.

“...la aplicación de esfuerzos científicos y de ingeniería para: (1) transformar una necesidad de operación en una descripción de parámetros de rendimiento del sistema y una configuración del sistema a través del uso de un proceso iterativo de definición, síntesis, análisis, diseño, prueba y evaluación; (2) integrar parámetros técnicos relacionados para asegurar la compatibilidad de todos los interfaces de programa y funcionales de manera que optimice la definición y diseño del sistema total; (3) integrar factores de fiabilidad, mantenibilidad, seguridad, supervivencia, humanos y otros en el esfuerzo de ingeniería total a fin de cumplir los objetivos de coste, planificación y rendimiento técnico.

Como vemos, en la literatura se pueden encontrar tantas definiciones del término como autores se han ocupado del tema [ES Chambers-85, ES M'Pherson-86]. A pesar de ello creo conveniente dar otra que, basada en las ideas de Hall, Wymore y M'Pherson, sea sencilla y constituya un buen punto de partida para profundizar en los contenidos:

Ingeniería de Sistemas es un conjunto de metodologías para la resolución de problemas mediante el análisis, diseño y gestión de sistemas.

Como era de esperar por el amplio espectro de sus intereses, la Ingeniería de Sistemas no puede apoyarse en una metodología monolítica. Cada una de las metodologías que comprende puede ser útil en una fase concreta del proceso o para un tipo concreto de sistemas; lo que todas ellas comparten es su enfoque: el enfoque de sistemas.

Veamos ahora de qué se ocupa cada una de las tres facetas citadas: análisis, diseño y gestión.

1.8.1 Análisis de sistemas

Esta faceta trata básicamente de determinar los objetivos y límites del sistema objeto de análisis, caracterizar su estructura y funcionamiento, marcar las directrices que permitan alcanzar los objetivos propuestos y evaluar sus consecuencias. Dependiendo de los objetivos del análisis podemos encontrarnos ante dos problemáticas distintas:

- Análisis de un sistema ya existente para comprender, mejorar, ajustar o predecir su comportamiento.
- Análisis como paso previo al diseño de un nuevo sistema-producto.

En cualquier caso, podemos agrupar más formalmente las tareas que constituyen el análisis en una serie de etapas (figura 1.1) que se suceden de forma iterativa hasta validar el proceso completo:

1. Conceptualización

Consiste en obtener una visión de muy alto nivel del sistema, identificando sus elementos básicos y las relaciones de éstos entre sí y con el entorno.

2. Análisis funcional

Describe las acciones o transformaciones que tienen lugar en el sistema. Dichas acciones o transformaciones se especifican en forma de procesos que reciben una entradas y producen unas salidas.

3. Análisis de condiciones (o constricciones)

Debe reflejar todas aquellas limitaciones impuestas al sistema que restringen el margen de las soluciones posibles. Estas se derivan a veces de los propios objetivos del sistema:

- Operativas, como son las restricciones físicas, ambientales, de mantenimiento, de personal, de seguridad, etc.

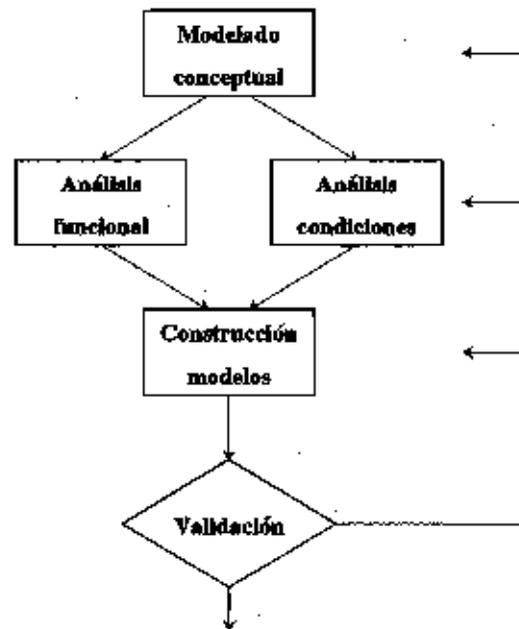


Figura 1.1: Etapas del análisis de sistemas

- De calidad, como fiabilidad, mantenibilidad, seguridad, convivencialidad, generalidad, etc.

Sin embargo, en otras ocasiones las constricciones vienen impuestas por limitaciones en los diferentes recursos utilizables:

- Económicos, reflejados en un presupuesto.
- Temporales, que suponen unos plazos a cumplir.
- Humanos.
- Metodológicos, que conllevan la utilización de técnicas determinadas.
- Materiales, como espacio, herramientas disponibles, etc.

4. Construcción de modelos

Una de las formas más habituales y convenientes de analizar un sistema consiste en construir un prototipo (un modelo en definitiva) del mismo.

5. Validación del análisis

A fin de comprobar que el análisis efectuado es correcto y evitar en su

caso la posible propagación de errores a la fase de diseño, es imprescindible proceder a la validación del mismo. Para ello hay que comprobar los extremos siguientes:

- El análisis debe ser consistente y completo.
- Si el análisis se plantea como un paso previo para realizar un diseño, habrá que comprobar además que los objetivos propuestos son correctos y realizables.

Una ventaja fundamental que presenta la construcción de prototipos desde el punto de vista de la validación radica en que estos modelos, una vez construidos, pueden ser evaluados directamente por los usuarios o expertos en el dominio del sistema para validar sobre ellos el análisis [ES Leitch-87].

1.8.2 Diseño de sistemas

El diseño de sistemas se ocupa de desarrollar las directrices propuestas durante el análisis en términos de aquella configuración que tenga más posibilidades de satisfacer los objetivos planteados tanto desde el punto de vista funcional como del no funcional (lo que antes hemos denominado constricciones). El proceso de diseño de un sistema complejo se suele realizar de forma descendente, conforme al esquema de la figura 1.2.

1. Diseño de alto nivel (o descomposición del sistema a diseñar en subsistemas menos complejos).
2. Diseño e implementación de cada uno de los subsistemas:
 - Especificación consistente y completa del subsistema de acuerdo con los objetivos establecidos en el análisis.
 - Desarrollo según la especificación.
 - Prueba.
3. Integración de todos los subsistemas.
4. Validación del diseño.

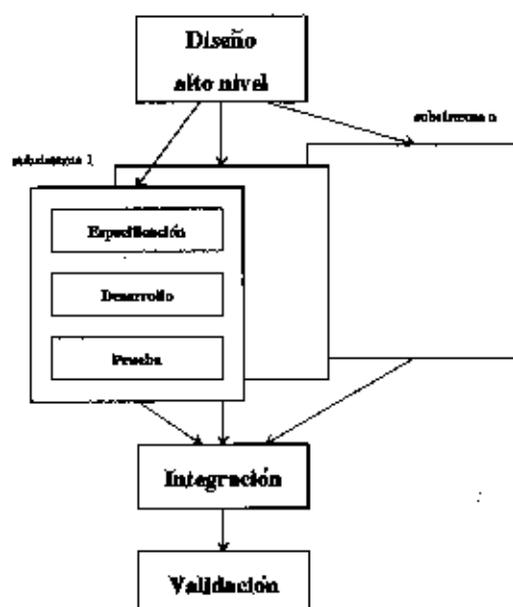


Figura 1.2: Etapas del diseño de sistemas

Dentro del proceso de diseño hay que tener en cuenta los efectos que pueda producir la introducción del nuevo sistema sobre el entorno en el que deba funcionar, adecuando los criterios de diseño a las características del mismo. En este contexto está adquiriendo una importancia creciente la adaptación de todo sistema-producto a las capacidades de las personas que van a utilizarlo, de forma que su operación sea sencilla, cómoda, efectiva y eficiente. De estas cuestiones se ocupa una disciplina, la *ergonomía*, que tiene por objeto la optimización de los entornos hombre-máquina. Si bien en un principio estaba centrada en los aspectos antropométricos de la relación hombre-máquina, en la actualidad ha pasado a intervenir con fuerza en todos los procesos cognitivos (análisis, interpretación, decisión, comunicación y representación del conocimiento). Así, con respecto al diseño de herramientas software, la ergonomía tiene mucho que decir en cuestiones relacionadas con la disposición de informaciones en pantalla, profundidad de menús, formato de iconos, nombres de comandos, control de cursores, tiempos de respuesta, manejo de errores, estructuras de datos, utilización de lenguaje natural, etc..

1.8.3 Gestión de sistemas

En su vertiente de gestión [ES M'Pherson-S6], la IS se ocupa de *integrar, planificar y controlar* los aspectos técnicos, humanos, organizativos, comerciales y sociales del proceso completo (desde el análisis y el diseño hasta la vida operativa del sistema). Los objetivos principales de la gestión de sistemas suelen ser éstos:

- Planificar y controlar el proceso completo de análisis, diseño y operación del sistema dentro del presupuesto, plazo, calidad y restantes condiciones convenientes.
- Controlar la validez de los criterios de diseño.
- Controlar la adecuación del producto del diseño a los requisitos establecidos en el análisis.
- Planificar y desarrollar las necesidades de mantenimiento.
- Planificar y desarrollar las necesidades de formación del personal que va a operar el sistema.
- Planificar la supervisión del funcionamiento del sistema.

En grandes proyectos de ingeniería, y dentro del ámbito de la gestión, el ingeniero de sistemas suele funcionar como asesor del director del proyecto, obteniendo, elaborando y presentando informaciones en un formato adecuado para que éste pueda tomar las decisiones pertinentes.

1.9 Dinámica de Sistemas

Ya hemos dicho que la Dinámica de Sistemas es una metodología puesta a punto por Jay W. Forrester durante los años sesenta y que representa una realización concreta del movimiento sistémico. Su objetivo es la construcción de modelos de simulación para sistemas complejos continuos como los que son estudiados por las ciencias sociales, la economía o la ecología.

La metodología alcanzó gran difusión durante los años setenta, al servir de base para los estudios encargados por el Club de Roma² a Forrester y su equipo

²El Club de Roma es una asociación privada integrada por hombres públicos y científicos de diferentes países cuyo fin es la investigación de los grandes problemas que tiene planteados la humanidad.

para valorar el efecto del crecimiento de la población y de la actividad humana en un mundo de recursos limitados. El propio Forrester dirigió la confección de un modelo inicial del mundo [DS Forrester-71] a partir del cual se realizaría más tarde el informe definitivo [DS Meadows-73], dirigido por D.L. Meadows y financiado por la Fundación Volkswagen. Un segundo informe, también utilizando Dinámica de Sistemas, sería encargado posteriormente a Mesarovic y Pestel [DS Mesarovic-74].

La Dinámica de Sistemas aplica métodos de sistemas duros, básicamente las ideas de realimentación y sistema dinámico, junto con la teoría de modelos en el espacio de estados y procedimientos de análisis numérico. Por tanto sería una metodología más entre las de sistemas duros. Sin embargo, en su punto de mira están los problemas no estructurados (blandos), como los que aparecen en los sistemas socioeconómicos. Esto plantea dos tipos de dificultades:

1. Cuantificación.

En Dinámica de Sistemas se comienza por identificar las variables de interés y las relaciones que ligan entre sí a estas variables. A continuación es imprescindible cuantificar dichas relaciones, lo que en ocasiones plantea dificultades insalvables.

2. Validación.

Una vez construido el modelo hay que preguntarse si refleja razonablemente la realidad. Esta cuestión puede resolverse por ejemplo en caso de que se disponga de informaciones cuantitativas de la evolución del sistema real en el pasado. Si el modelo es capaz de generar los comportamientos característicos del sistema real, denominados *modos de referencia*, entonces obtendremos una cierta confianza en la validez del modelo.

En Dinámica de Sistemas la simulación permite obtener trayectorias para las variables incluidas en cualquier modelo mediante la aplicación de técnicas de integración numérica. Sin embargo, estas trayectorias nunca se interpretan como predicciones, sino como proyecciones o tendencias. El objeto de los modelos de Dinámica de Sistemas es, como ocurre en todas las metodologías de sistemas blandos, llegar a comprender cómo la estructura del sistema es responsable de su comportamiento. Esta comprensión normalmente debe generar un marco favorable para la determinación de las acciones que puedan mejorar el funcionamiento del sistema o resolver los problemas observados. La ventaja de la Dinámica de Sistemas consiste en que estas acciones pueden ser simuladas a bajo coste, con lo que es posible valorar sus resultados sin necesidad de ponerlas en práctica sobre el sistema real. La Dinámica de Sistemas se debe considerar fundamentalmente

como una herramienta de análisis y diseño que aplica técnicas de Ingeniería de Sistemas para resolver problemas no estructurados.

Por último, hay que recordar que a lo largo de las dos últimas décadas se han desarrollado importantes contribuciones al análisis cualitativo de modelos de Dinámica de Sistemas. El análisis cualitativo trata de encontrar todos los comportamientos cualitativamente diferentes de las variables de un modelo dependiendo de los valores que tomen las condiciones iniciales del sistema y los parámetros (valores fijados externamente). Una de las fuentes de esta aportación a la Dinámica de Sistemas se encuentra en el grupo dirigido por Javier Aracil en el Departamento de Ingeniería Electrónica, de Sistemas y Automática de la E.T.S. de Ingenieros Industriales (Universidad de Sevilla) [DS Aracil-86a, DS Toro-87a].

Son conceptos básicos para el análisis cualitativo los de estabilidad estructural y bifurcación, procedentes de la Teoría de Bifurcaciones [ES Prigogine-79] y de la Teoría de las Catástrofes [ES Thom-75], desarrolladas respectivamente por I. Prigogine, un químico, y por R. Thom, un matemático, en la década de los setenta.

Capítulo 2

Consideraciones metodológicas

2.1 Un ejercicio sistémico

Todo proyecto docente se enmarca dentro de un proceso de enseñanza-aprendizaje. Este proceso se puede modelar utilizando para ello los conceptos y herramientas que ofrece el enfoque de sistemas. En concreto, haré uso de una parte de la metodología de sistemas blandos de Checkland [ES Checkland-81]. Mi modelo conceptual se basa, claro está, en una visión concreta del proceso, que se traduce en una definición raíz de elementos relevantes:

1. Propietario

Aun a riesgo de parecer demagógico o utópico, postulo que el propietario del sistema es la sociedad (no hace falta recordar que pertenecemos a una universidad pública). Cualquier otra hipótesis nos llevaría a un sistema muy distinto. No debemos caer en la tentación, por ejemplo, de pensar que la universidad, la escuela o el departamento son dueños de este sistema. No hay más que aceptar que la asignatura existe como tal por formar parte de un plan de estudios que fue aprobado por una orden ministerial, y que el mismo procedimiento se puede aplicar para hacerla desaparecer. Este hecho podría inducir a pensar que la propiedad recae en el ministerio. Nada más lejos de la realidad. Todos estos organismos no son más que gestores, cada uno a su nivel, del sistema, como queda patente en el artículo primero del título preliminar de la Ley de Reforma Universitaria. En él se dice que *"el servicio público de la educación superior corresponde a la Universidad"* y, posteriormente en el mismo artículo, se indica cuáles son las *"... funciones de la Universidad al servicio de la sociedad"*.

2. Actores

Evidentemente, los profesores somos agentes capitales del proceso de enseñanza-aprendizaje. Pero no lo son menos los alumnos. Recordemos que hemos denominado el sistema *de enseñanza-aprendizaje*. En el nombre quedan claras las actividades fundamentales de ambos tipos de actores. Dichas actividades son muy distintas, tanto por su naturaleza como por sus objetivos, de forma que podemos hablar incluso de dos subsistemas.

Esta perspectiva difiere drásticamente de otra, por suerte menos extendida cada día, que relega a los estudiantes a la categoría de clientes.

3. Clientes

Es la sociedad soberana quien decide dotarse a sí misma de un sistema de enseñanza universitaria, por lo que recaen en ella simultáneamente los roles de propietaria y cliente.

4. Entorno

El entorno proporciona un marco en el que se desenvuelve la actividad del sistema, a la vez que unas constricciones. Las constricciones vienen impuestas bien por la normativa legal (plan de estudios y otras disposiciones), por el alumnado (cuyo número tan sólo puede ser previsto) y por los recursos materiales y humanos puestos a disposición del sistema (ya sea por parte del departamento o de la escuela).

Además de estas condiciones, sobre las que el sistema tiene escaso o nulo margen de maniobra, el entorno que constituye en definitiva la trama social de la que forma parte el sistema, ofrece a éste un contexto académico, profesional y social, tanto en el ámbito nacional como en el internacional.

5. Proceso de transformación

Podemos definir el proceso de transformación que se lleva a cabo en el interior del sistema de la siguiente forma:

- Por un lado, el profesor (o profesores) deben analizar las constricciones y el contexto en el que tienen que realizar su labor. Con estos datos se diseña el curso en todos sus aspectos (contenido, planificación, métodos, recursos didácticos y evaluación). Comienza entonces la impartición y, ya sea durante la misma o una vez finalizada, se evalúa a los alumnos. Por último, el profesor evalúa el curso en su totalidad, de forma que la experiencia le ayude a mejorar la eficacia del sistema.

- Por otra parte, el alumno, a la luz de sus capacidades e inclinaciones, su percepción del contexto social y profesional y su análisis de la oferta de materias del centro, decide su currículo personal, materializando dicha decisión en el acto administrativo de formalizar su matrícula. A continuación participa de unas clases de las asignaturas seleccionadas, estudia, aprende y es evaluado. Como sabemos, estas fases pueden repetirse total o parcialmente un cierto número de veces. En cualquier caso, el alumno evalúa también tanto su aprendizaje como el rendimiento del subsistema de enseñanza, lo que le puede llevar, por ejemplo, a decidir que jamás volverá a tomar una asignatura impartida por el mismo profesor.

2.2 Modelo conceptual del sistema enseñanza-aprendizaje

El modelo conceptual que se deriva de la definición raíz expuesta aparece en la figura 2.1. En ella observamos que se aclaran algunos aspectos de la definición raíz:

- El entorno no es común para profesor y para estudiante. Aunque existen algunos aspectos compartidos por ambos subsistemas, no es por ejemplo idéntica su percepción del contexto social o profesional. Asimismo, existen factores que sólo son considerados por uno de los subsistemas. Si bien los profesores olvidamos con frecuencia este hecho, los alumnos no tienen ninguna duda de que la diferencia de entornos existe.
- El alumno es el objeto de la enseñanza por el profesor y éste, a su vez, recibe una realimentación por parte de aquel de su avance en el proceso de aprendizaje. Esta realimentación hace más efectivo el proceso en su conjunto.
- El profesor recibe también del alumno, de una u otra forma, una impresión de los beneficios y deficiencias del subsistema de enseñanza. Estas impresiones, junto con las suyas propias, deben ayudarle a volver a analizar y rediseñar el sistema a fin de mejorar su rendimiento.
- Sería también deseable la existencia de una flecha opuesta a la anterior, que representara la evaluación por parte del profesor del subsistema de aprendizaje del alumno. Esta nueva flecha se materializaría mediante un sistema individualizado de tutoría.

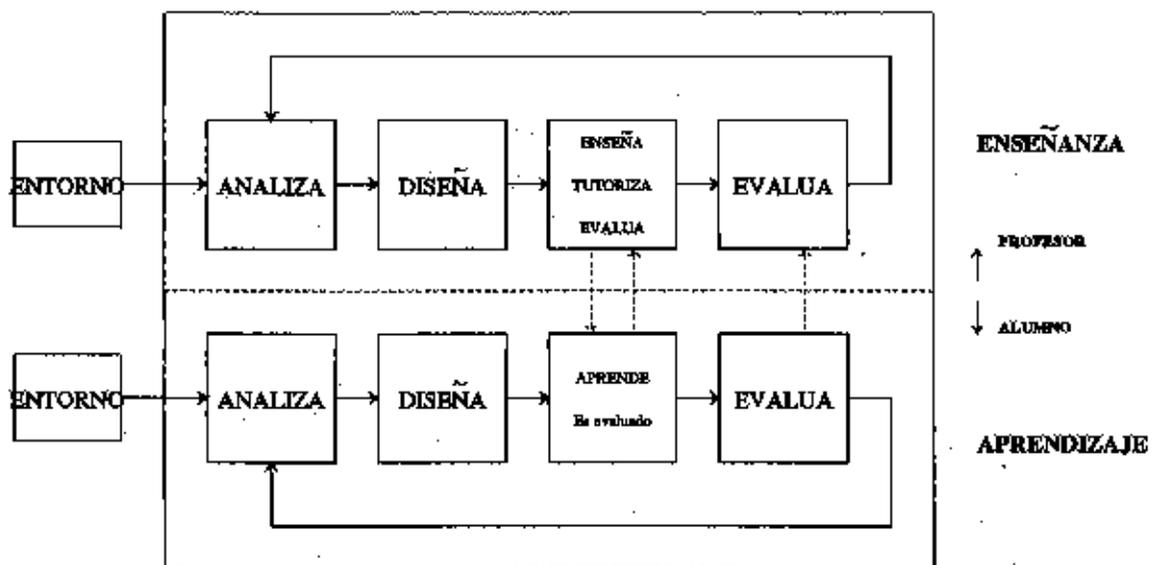


Figura 2.1: Modelo conceptual del sistema enseñanza-aprendizaje

La metodología de Checkland exige que el modelo conceptual se elabore sin tener en cuenta cómo es el sistema en la realidad. El modelo resultante se compara entonces con la situación real y, de esta forma, se asegura una mayor riqueza en la discusión de las acciones que pueden conseguir transformar (presumiblemente para bien) el sistema. Dada la masificación crónica de nuestra universidad, no he considerado prudente la inclusión de dicha flecha para no ser tachado de utópico, aun a riesgo de ser considerado como hereje por el autor de la metodología.

- Los procesos de evaluación cierran unos círculos que constituyen lo que en ingeniería de sistemas se conoce como *ciclo de vida*, compuesto por las fases de análisis, diseño, operación y mantenimiento (figura 2.2).
- Existe un subsistema que corre paralelo a los otros dos durante todo el ciclo de vida y los dirige. De este subsistema son actores, además de los anteriores, la universidad, la escuela y los departamentos. Así, la universidad aprueba unos planes de estudio y un calendario. La escuela, a través de varios órganos de gobierno y administración, fija los plazos de matrícula, examina y acepta los impresos de matrícula presentados por los estudiau-

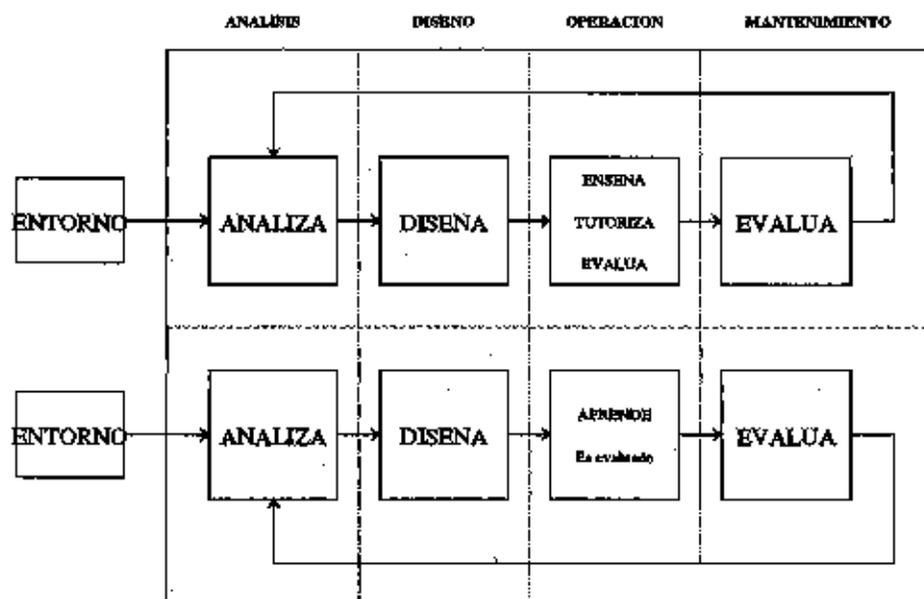


Figura 2.2: Ciclo de vida del modelo

tes, determina periodos de evaluación y entrega actas a los departamentos. Estos, por su parte, distribuyen sus recursos humanos y materiales entre las asignaturas que caen bajo su responsabilidad. Los profesores reciben por último las actas de su departamento y las devuelven cumplimentadas para su registro en la secretaría del centro. Todo este conjunto de actividades constituye lo que denominamos *gestión*.

- Un subproducto de todas las fases del ciclo de vida es la documentación. La documentación permite guardar un registro de las actividades del sistema en todas sus fases. Sólo una buena documentación de cada fase hace posible un buen desarrollo de las demás.

2.3 Un proyecto docente

La realización de un proyecto docente se circunscribe a dos fases del ciclo de vida del sistema enseñanza-aprendizaje: análisis y diseño. El análisis consiste básicamente en el estudio del entorno, de las constricciones que afectan al sistema y de la experiencia pasada. Dentro del entorno, dedicaré atención a tres aspectos del

mismo:

- El entorno académico, considerando las siguientes facetas:
 - El marco legal.
 - Los currículos en ingeniería e informática a nivel internacional.
 - La Ingeniería de Sistemas en los currículos.
 - La Ingeniería de Software en los currículos.
 - La Dinámica de Sistemas en los currículos.
 - La Ingeniería de Sistemas en el plan de estudios.
- El entorno profesional.
- El entorno social.

Una vez completado el análisis abordaré el diseño de la asignatura en todos sus extremos:

- Objetivos
- Contenidos
- Bibliografía básica
- Método docente
- Planificación del curso
- Evaluación de los alumnos
- Evaluación del curso

Capítulo 3

Análisis

3.1 Entorno académico

3.1.1 El marco legal

El marco legal en el que se desenvuelve el sistema enseñanza-aprendizaje de la Ingeniería de Sistemas queda recogido en las siguientes disposiciones:

- Ley Orgánica de Reforma Universitaria (LRU; ley orgánica 11/1983, de 25 de agosto).
- Estatutos de la Universidad Politécnica de Madrid (Real Decreto 2536/1985, B.O.E. del 27 de diciembre).
- Plan de estudios 1964-M2 de la E.T.S.I. de Telecomunicación de Madrid (Orden ministerial publicada en el B.O.E. del 24 de abril de 1985).

Evitaré disertar sobre las dos primeras referencias legales, así como acerca de la historia de nuestra Universidad o nuestra Escuela. Sobre estos asuntos puede encontrarse un comentario razonablemente resumido en [CI Fernández-81] (páginas 45 a 51) ó [CI Viña-88] (páginas 11 a 18). Tampoco incorporaré a esta memoria total ni parcialmente el texto del vigente plan de estudios, por lo que redirijo al lector interesado a la edición preparada para este curso académico 1990/91 por la Jefatura de Estudios de la Escuela [CI ETSITM-90].

3.1.2 Currículos en ciencia e ingeniería informáticas

El currículo en el que se asienta la asignatura de Ingeniería de Sistemas es un currículo de ingeniería informática, ya que se incluye como asignatura obligatoria para los alumnos de sexto curso del área III (informática-transmisión) del

plan 1964-M2. Dedicaré algún espacio a comparar este plan con los currículos establecidos en ingeniería e informática, fundamentalmente en Estados Unidos.

En Estados Unidos existen dos organismos oficiales que homologan títulos en informática: ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) y CSAB (Computing Sciences Accreditation Board). La primera de ellas nació, aunque con otro nombre, en 1933 y tiene competencia sobre todos los estudios relacionados con la ingeniería, incluida por tanto la ingeniería informática (*computer engineering*). Por su parte, CSAB surge en 1985, tras dos años de trabajo conjunto de dos influyentes y activas asociaciones profesionales: la Computer Society del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE-CS) y la Association for Computing Machinery (ACM). Su misión era la de homologar estudios en ciencias de la computación en general¹. Los posibles conflictos de competencias se solucionan mediante un sencillo criterio: inicialmente están bajo la jurisdicción de ABET todos los estudios en que aparezca la palabra *ingeniería*, y bajo CSAB el resto.

ABET y CSAB valoran in situ periódicamente los estudios ofrecidos por las universidades, basándose para ello en consideraciones, no únicamente de contenidos de programas², sino también de profesorado (tamaño, grado y carga docente), dotación de laboratorios, etc.

Las exigencias de ABET y CSAB, para carreras de cuatro años de duración divididos en ocho semestres, son muy distintas. Por ejemplo, ABET exige que los programas incluyan un 12,5% de matemáticas, 12,5% de ciencias básicas, 25% de ciencias de la ingeniería, 12,5% de diseño en ingeniería, 12,5% de humanidades y ciencias sociales y 25% de optativas. Esto, además de solicitar ciertos requisitos en cuanto a experiencias de laboratorio, comunicación oral y escrita y consideraciones éticas, económicas y de seguridad en la práctica de la ingeniería. Estas exigencias son comunes para cualquier ingeniería, incluyendo la ingeniería informática. CSAB por su parte homologa programas que, entre otras cosas, presenten la siguiente distribución: 12,5% de matemáticas, 10% de ciencias o métodos cuantitativos (la mitad de laboratorio), 33% de informática (como mínimo 40% básica y 40% avanzada), 27,5% de humanidades, ciencias sociales, arte y otros cursos y 17% de optativas.

Como vemos, ambas distribuciones son difícilmente compatibles y reflejan dos concepciones distintas de la informática: como ingeniería (enseñada en escuelas

¹Hasta el momento sólo existen dos comisiones que homologan estudios en informática (*computer science*) y sistemas de información.

²Este parece ser el único criterio fundamental en el proceso de elaboración de las nuevas titulaciones en nuestro país (asignaturas troncales, etc.), junto con la determinación de quiénes serán los responsables de la impartición de asignaturas (según áreas de conocimiento).

CURSOS	1	2	3	4	5	6	total		total		ABET %
							1-4	%	1-6	%	
Matemáticas	5	3	1		1		9	18,75	10	15,7	12,5
Ciencias básicas	5	3	2				10	21	10	15,7	12,5
Ciencias ingeniería		4	5,5	1,5			11	23	11	17,3	25
Diseño ingeniería	1,5	2	3	2,5			9	18,75	9	14,2	12,5
Humanidades			2	1	2	1,5	3	6,25	6,5	10,3	12,5
Optativas				6	6	5	6	12,5	17	26,8	25
Total	11,5	12	13,5	11	9	6,5	48	100	63,5	100	100

Tabla 3.1: Distribución temática del plan 1964-M2

de ingeniería) o como profesión liberal (enseñada en los colegios -facultades- de ciencias y letras), con una componente muy fuerte de enseñanzas no científico-técnicas.

Si bien ABET fija las proporciones anteriores para todas las enseñanzas de ingeniería, confía a asociaciones profesionales (el IEEE en el caso de la ingeniería informática) la confección de requisitos adicionales sobre los programas.

Evidentemente, el plan de estudios 1964-M2 se ajusta mucho más a los currículos homologados por ABET. En la tabla 3.1 se muestra el resultado de clasificar las asignaturas según las áreas de ABET (mi clasificación puede resultar discutible en casos concretos). La unidad de medida empleada es el equivalente a una asignatura cuatrimestral con 4 horas de clase por semana.

Si consideramos únicamente los cuatro primeros cursos, nuestro programa pasaría por muy sólido (duro) en matemáticas y ciencias básicas, escaso en cuanto a formación humanística y muy rígido (pocas optativas).

Si tomamos el ciclo completo de seis años, aún seguimos superando el objetivo en matemáticas y ciencias básicas, lo que da una idea de la elevada proporción de fundamentos matemático-científicos en comparación con los habituales en la educación americana. El déficit que se observa en ciencias de la ingeniería no es tal. Dada la amplitud de especialidades que ofrece el plan, dentro de cada área existe una buena cantidad de materias que pertenecen a estas ciencias y que, por ser optativas (aunque obligatorias dentro de un área) están incluidas en otra parte de la tabla. Por otro lado, la deficiencia en materias humanísticas queda bastante reducida en los dos últimos cursos.

Hemos visto que existen dos asociaciones profesionales, ACM e IEEE-CS, fuertemente involucradas en el trabajo de proponer modelos curriculares en informáti-

ca [CI ACM-68, CI ACM-79, CI ACM-81, CI ACM-83, CI IEEE-77, CI IEEE-83]. Una tercera institución se viene destacando en la última década por su actividad y su interés continuado por estos temas: el Instituto de Ingeniería Software de la Universidad de Carnegie Mellon (SEI-CMU)³ [IS Shaw-85, CI Ardis-89, CI Ford-90].

Pues bien, con este rico panorama de actores se ha desatado en los últimos tiempos una interesnate discusión sobre la formación en informática que arranca de los problemas (casi crónicos) que aquejan al desarrollo de grandes sistemas software. Así, ACM iniciaba recientemente un debate sobre la enseñanza de la informática [CI Denning-89] con un artículo de E.W. Dijkstra [CI Dijkstra-89]. En este artículo se razonaba la necesidad de dar un nuevo enfoque a los cursos introductorios a la programación, un enfoque que esté soportado por métodos matemáticos formales. Programar consistiría, desde este punto de vista, en derivar programas formalmente a partir de especificaciones igualmente formales. Casi nadie duda de la necesidad de poner un mayor énfasis en la utilización de métodos formales en la educación universitaria de grado, como contestaron todos los participantes en el debate publicado por ACM. (Este acuerdo no alcanza sin embargo al modo de poner en práctica esta idea.) Las deficiencias en matemáticas del currículo de ACM ya habían sido criticadas en una propuesta curricular de Carnegie Mellon hace cinco años [IS Shaw-85].

Frente a esta postura existe otra que, además de aceptar esta necesidad de mejor y mayor formación en métodos formales, defiende la importancia de la utilización de los métodos de la ingeniería en la formación informática. El principal mentor de este punto de vista es D. Parnas. En un artículo muy crítico [CI Parnas-90], expone su opinión de que los programas en informática no aportan a los titulados el conocimiento fundamental necesario para el crecimiento profesional a largo plazo. La razón de este hecho es que estos programas han sustituido matemáticas y principios de la ingeniería por material nuevo que rápidamente se hace obsoleto. Asimismo estima excesivas e inadecuadas las prácticas con ordenador.

Como alternativa, Parnas propone una formación claramente ingenieril, con los requisitos y la rigidez de los programas de ingeniería. En su opinión los ingenieros tienen mayor y mejor formación en matemáticas y ciencias básicas para la ingeniería, como la Teoría de la Información, Teoría del Control, Tratamiento de Señales, etc. Además, los ingenieros saben apreciar el valor de gran cantidad de

³Este instituto fue creado a finales de 1984 por un contrato de la universidad con el Departamento de Defensa estadounidense. Su principal misión es contribuir a mejorar la práctica de la ingeniería del software. Uno de los medios básicos para cumplir sus fines es promover y orientar la educación de esta ingeniería en la comunidad universitaria.

trabajo sistemático rutinario (planificación, análisis, documentación, validación, etc.)

Como ingeniero, no puedo por menos que simpatizar con la propuesta de Parnas. Sus ideas están en nuestro caso avaladas por la experiencia. (Es bien conocido el aprecio que existe en el mercado laboral por nuestros titulados especializados en informática). Sin embargo, la principal crítica que se le puede hacer es que no deja prácticamente lugar para enseñanzas no estrictamente técnicas, fundamentales para una formación integral del ingeniero. Además, echo en falta en su programa algún material que introduzca cuando menos al estudiante en la problemática del análisis, diseño o gestión de sistemas complejos, como los que se encontrará en su vida profesional. En mi opinión es posible inculcar en los alumnos una actitud que les facilite el camino para resolver problemas reales, y un buen camino para hacer esto es a partir de la noción de sistema.

Conviene destacar que en la actualidad existe un comité conjunto de ACM e IEEE-CS elaborando un nuevo currículo en informática. Está previsto que los trabajos de este comité estén terminados antes de fin del presente año.

3.1.3 La Ingeniería de Sistemas en los currículos

Snow refiere en [CI Snow-90] 105 universidades en el mundo que ofrecen programas (de grado o postgrado) en las Ciencias de la Complejidad, así como 68 instituciones de investigación en el mismo campo. De entre las universidades, alrededor de 35 ofrecen estudios en ingeniería de sistemas (entendida en su sentido más estricto).

Sin embargo no siempre se encuentra a la Ingeniería de Sistemas como tal entre las asignaturas troncales u optativas ofrecidas por los departamentos de informática. Sí es frecuente (en Estados Unidos) que asignaturas de sistemas sean ofrecidas a los informáticos por departamentos de sistemas (Systems Science) o de gestión (Management Science). Lo que sí ocurre siempre es la existencia de asignaturas de ingeniería de sistemas de un tipo concreto: sistemas software.

El currículo de Carnegie Mellon ha sido uno de los primeros en reconocer que el concepto de sistema debe ser uno de los contenidos básicos en los cursos de grado de informática avanzada. En este caso se propone que el concepto sea adquirido en cursos de ingeniería software. Citando textualmente ([IS Shaw-85], página 35):

“El estudio de sistemas incluye la identificación, cuantificación y gestión de la complejidad en sistemas, el diseño y construcción de sistemas grandes, la evaluación del rendimiento, fiabilidad y seguridad de

sistemas, y cómo está distribuido un sistema y se produce la comunicación entre sus componentes.”

En otra parte de la misma referencia ([IS Shaw-85], páginas 55-56) se habla de la importancia de la abstracción, en el sentido de construcción de modelos matemáticos:

“Los informáticos tratan habitualmente con situaciones que son demasiado complicadas como para ser comprendidas por completo de una vez. La herramienta fundamental para tratar la complejidad es la abstracción, un proceso consistente en huir del detalle o ignorar la estructura de forma selectiva. A la inversa, los sistemas reales complejos se construyen a partir de descripciones abstractas por un proceso opuesto de realización o representación, consistente en la introducción selectiva de la estructura subyacente.”

“... Un estudiante que llegue a sentirse a gusto pensando en términos de sistemas será más dado a apreciar la completa generalidad de los programas o sistemas que crea, y menos a pensar sólo en términos de la aplicación concreta a la que se enfrenta.”

Hay que hacer notar que la cuestión que plantea el texto es un problema de ingeniería, siendo la informática (o la ingeniería software) sólo un caso particular.

3.1.4 La Ingeniería del Software en los currículos

Una curiosidad sobre el currículo de Carnegie Mellon y la rápida evolución que está viviendo el campo de los planes de estudio en informática. Su informe del año 1985, elaborado por el departamento de *Computer Science*, declara (página 19):

“... estamos empezando a ver propuestas sobre programas de grado en *ingeniería software* distintos de los programas en *informática*. ... creemos que la *ingeniería software* es un subconjunto de lo que un informático entrenado debería conocer, y creemos que la *ingeniería software* por sí sola constituye un programa demasiado reducido para una titulación de grado.”

Cinco años después, el Instituto de Ingeniería Software de esta universidad, no sólo muestra una opinión contraria, sino que ha tenido tiempo de publicar un extenso informe proponiendo un programa a nivel de grado en Ingeniería Software [CI Ford-90]. En este informe se adopta un enfoque eminentemente pragmático (excesivo en mi opinión):

- Se exponen argumentos diversos sobre si la ingeniería software es una parte de la informática (*computer science*) o viceversa, sin llegar a definirse sobre la cuestión.
- Se dedican muchas páginas al tema de las homologaciones y se hacen ejercicios acrobáticos para proponer un currículo que pueda ser homologado tanto por ABET como por CSAB, de forma que sea válido, tal vez introduciendo algunos cambios menores, tanto en escuelas de ingeniería como en facultades liberales.
- También se tratan en profundidad las estrategias más adecuadas para que las escuelas y facultades que ahora dan titulaciones en informática se reconviertan gradualmente hacia la ingeniería software.
- La razón última que se alega para crear estudios de grado en ingeniería software es que la mayor parte de los titulados (*Bachelor*) en informática no optan por continuar estudios a nivel de maestría o doctorado. (Para estos niveles existe una oferta abundante en ingeniería software). Además se alega que la evolución de la pirámide de población en los Estados Unidos hace que haya cada año menos jóvenes en edad universitaria, y por otra parte éstos se ven cada vez menos atraídos por los estudios en informática.

No parece que los autores estén realmente convencidos de la entidad y la madurez de la ingeniería software para que ésta sea elevada a la categoría de estudios de grado⁴. Sobre este particular opino que la ingeniería software tiene más sentido como un programa de postgrado, independientemente de la formación que en este área debe tener todo informático o ingeniero afín. Una de las razones reside en la dificultad de educar intensivamente al estudiante en la importancia de determinadas técnicas de grandes sistemas a la vez que se le forma en herramientas matemáticas y ciencias básicas y en el diseño de sistemas mucho más simples. Por otra parte, los motivos expuestos hace cinco años por el departamento de *Computer Science* y defendidos aún por la directora del SEI-CMU me siguen pareciendo válidos.

⁴En una reciente reunión del grupo de trabajo 3.2 del IFIP en Providence, Rhode Island, hace sólo unos meses, Mary Shaw, directora del Instituto de Ingeniería Software y editora del informe de 1985, mantiene la postura expresada entonces de que no está justificada aún la existencia de una titulación de grado en ingeniería software por no existir de momento contenidos sólidos y duraderos.

3.1.5 La Dinámica de Sistemas en los currículos

La Dinámica de Sistemas tampoco está presente como tal disciplina en los currículos internacionales de informática. Sin embargo, los conceptos y técnicas de Dinámica de Sistemas sí aparecen recogidos de una u otra forma en muchos de ellos.

Así, en el currículo propuesto por ACM y adoptado por CSAB para Sistemas de Información [CI ACM-83] incluye los cursos siguientes:

IS3 Sistemas de información en las organizaciones:

- Representación y análisis de la estructura de un sistema.
- Sistemas, información, decisión.
- Aplicaciones a sistemas de información.
- Evaluación y selección de sistemas.

IS7 Modelado y sistemas de decisión:

- Principios de la toma de decisión.
- Modelado.
- Herramientas de análisis de decisión.
- Sistemas soporte para la decisión.

En la bibliografía recomendada para ambos cursos aparecen referencias de Dinámica de Sistemas.

En Estados Unidos, los principales grupos de investigación y focos a su vez de publicaciones de carácter docente en Dinámica de Sistemas se encuentran en los siguientes centros:

- M.I.T., Sloan School of Management
- University of Bradford
- System Dynamics Laboratory, University of Southern California.

En cuanto a nuestro país, la Dinámica de Sistemas se enseña, además de en nuestra escuela, al menos en los siguientes centros:

- Facultad de Informática de Madrid: la asignatura Teoría de Sistemas, de tercer curso, está dedicada en una tercera parte a la Dinámica de Sistemas.

- Facultad de Informática de Barcelona: asignatura optativa de Dinámica de Sistemas, aunque orientada hacia aspectos de control.
- Facultad de Informática de San Sebastián: asignatura optativa en cuarto curso.
- Facultad de Informática de Málaga: asignatura de Modelado y Simulación.
- E.T.S. Ingenieros Industriales de Sevilla.
- Escuela Universitaria de Informática de Málaga: Teoría de Sistemas, en tercer curso.
- Escuela Universitaria de Informática de Murcia: Sistemas Informáticos, dedicada en buena parte a modelado y simulación con Dinámica de Sistemas.
- Escuela Universitaria de Informática de Sevilla: Dinámica de Sistemas, en tercer curso.

3.1.6 La Ingeniería de Sistemas en el plan de estudios

La ingeniería de sistemas aparece por primera vez como asignatura en el plan de estudios 1964-M2 (implantado en el curso académico 84/85), aunque su peripecia vital, como veremos, es más antigua.

El 4 de agosto de 1970 se aprobaba la Ley General de Educación, siendo ministro de educación José Luis Villar Palasí. Se trataba de una ley increíblemente moderna para su tiempo. Tan moderna que sólo llegó a ponerse en práctica parcialmente. En la Escuela la ley se recibió con ilusión, y para junio del año siguiente ya existía un documento de 40 folios⁵ que constituye el primer borrador del plan 1964-M. (Este plan sería aprobado finalmente el 16 de septiembre de 1976). Muestra de este candoroso entusiasmo es la siguiente expresión del segundo capítulo de dicho texto:

“La Ley General de Educación ... abre nuevas esperanzas, no sólo permitiendo, incluso, una mayor apertura de miras, sino también que estas aspiraciones puedan llegar a ser admitidas e implantadas.”

⁵Hay que agradecer a Gregorio Fernández la conservación y rescate de este curioso “incunabile”.

La ley preveía (con algún adelanto, como hemos tenido oportunidad de comprobar) la estructuración de las universidades en departamentos, la implantación de enseñanzas obligatorias y optativas en los planes de estudios, e incluso un régimen de tutorías.

En cuanto al borrador mencionado, no podía quedar atrás en su modernidad. Tanto que se puede asegurar que el próximo plan de estudios de este centro se parecerá en su forma más a aquel anteproyecto que al plan vigente. Veamos algunos ejemplos:

- Las asignaturas (semestrales) se valoraban en forma de créditos y se clasificaban en grupos: básicas, técnicas, de nivel avanzado (científico-técnicas), laboratorios, humanísticas y de doctorado.
- Se introducían estudios de humanidades de forma obligatoria.
- Se establecían cuatro grados: ingeniero técnico, primer ciclo, ingeniero superior y doctor. En ningún momento el estudiante debía tomar una decisión drástica acerca del nivel máximo a alcanzar. Todas las asignaturas podían ser tomadas por todos los estudiantes, y sólo el número de créditos conseguido junto con la proporción obtenida en cada uno de los grupos anteriores determinaba el título final.
- Se establecía que cada alumno sería asistido por un tutor, con cuya ayuda establecería su programa de estudios, eligiendo de entre las asignaturas ofrecidas por la Escuela, por la Universidad Politécnica o por otras universidades.

Pues bien, ya en este boceto aparece una asignatura denominada *Ingeniería de Sistemas*, aunque leyendo sus contenidos se aprecia una clara tendencia hacia los sistemas de control. A lo largo de los trabajos que, tras cinco años, desembocaron en la redacción definitiva del plan 1964-M, esta asignatura quedaría desgajada en dos: *Cibernética y Teoría de Sistemas I y II*, ambas impartidas en el cuarto curso (de seis).

En la primera de ellas se estudiaban los conceptos de sistema y complejidad, tanto desde el punto de vista cibernético como de Teoría de la Información. Además se incluían conceptos de Dinámica de Sistemas (basándose en el instructivo libro de Rosnay [ES Rosnay-75]) y la *Teoría General de Sistemas*, de acuerdo con el enfoque de George J. Klir [ES Klir-69].

La segunda se dividía a su vez en dos partes, dedicadas a la Cibernética (sobre la versión traducida del libro de Ashby [ES Ashby-56]) y a modelación y simulación (abarcando modelos de entrada-salida y en el espacio de estados, tanto

en sistemas continuos como muestreados). Para esta parte se utilizaba el libro escrito al efecto por Gregorio Fernández [ES Fernández-80].

En el año 1981 se inicia el proceso de elaboración del plan de estudios actual, que no sería aprobado hasta cuatro años más tarde. En una serie de reuniones se pulsa la opinión de representantes del sector⁶ y, más tarde, los antiguos departamentos de Cibernética y Ordenadores, Informática y Teoría de Sistemas, Comunicación de Datos, Electrónica y Sistemas Digitales elevan una propuesta de modificación del plan de estudios en el área de la informática a la correspondiente comisión de la Escuela.

En esta primera propuesta, de abril de 1982, se propone la introducción de algunas asignaturas nuevas, entre ellas Programación, Redes de Ordenadores, Sistemas Digitales II, Proceso Digital de la Señal, Control Automático de Procesos y Fabricación, Laboratorio de Sistemas Digitales, Informática de Gestión, Ingeniería del Software, Conmutación de Circuitos II e Ingeniería de Sistemas.

Como casi siempre, el ambicioso proyecto debió reducirse en última instancia por dificultades presupuestarias, al no habilitarse las plazas de profesores que habrían sido necesarias. Por este motivo desapareció por ejemplo la Ingeniería del Software, cuyo programa propuesto era éste:

ciclo de vida del software; técnicas de análisis y diseño; planificación; estimación y control; productividad; complejidad; mantenibilidad; tipología de los programas; ciencia del software.

Las dos asignaturas dedicadas a Cibernética y Teoría de Sistemas, anteriormente impartidas en cuarto curso se refundían finalmente en una sola cuatrimestral de quinto curso. Sus contenidos comprendían la teoría de sistemas generales de Klir y conceptos generales de cibernética, quedando aligerada de los temas dedicados a sistemas lineales continuos y muestreados, que se repetían en varias asignaturas.

El programa inicial de Ingeniería de Sistemas, nueva asignatura optativa en sexto curso y obligatoria en el área III (informática-transmisión), era el siguiente:

esquemas de actividades de la ingeniería en grandes sistemas; análisis de impactos cruzados; procesos de toma de decisiones; previsión y evaluación de la tecnología.

⁶Entre las necesidades expresadas por los representantes de la industria se citó la Ingeniería de Sistemas.

3.1.7 La asignatura de Ingeniería de Sistemas hasta la actualidad

La asignatura de Ingeniería de Sistemas se ha articulado hasta el momento alrededor de un bloque temático: la Dinámica de Sistemas. Gregorio Fernández, primer responsable que tuvo la asignatura, pensó que era conveniente que los estudiantes conocieran con profundidad una metodología de Ingeniería de Sistemas, y escogió la Dinámica de Sistemas por considerar que incorporaba un excelente potencial formativo. Esta misma opinión ha sido mantenida por los siguientes responsables de la asignatura, incluido el autor de este proyecto.

Como introducción a la Dinámica de Sistemas se ha venido dedicando un cierto número de horas a los temas de modelado y simulación en Ingeniería de Sistemas, con énfasis sobre:

- modelos matemáticos para sistemas dinámicos (de entrada-salida y en el espacio de estados).
- métodos de simulación (tanto numéricos como operacionales).
- lenguajes de simulación.

En mi opinión, esta introducción que hemos venido realizando resulta en la actualidad innecesaria, excesiva e inadecuada. Innecesaria porque se trata de conceptos que los estudiantes ya conocen en su mayor parte de otras asignaturas de la carrera, como Sistemas Lineales o Análisis Numérico. Excesiva por el aparato matemático que se pone en juego y que después no encuentra utilidad a lo largo del curso. Inadecuada porque, al centrarse sobre herramientas matemáticas, rompe la unidad del curso y hace perder al estudiante el hilo conductor de la asignatura.

También se juzgó desde un principio que el volumen del cuerpo básico de doctrina de la Dinámica de Sistemas no exigía la dedicación completa de la asignatura. Así, inicialmente se completaba el temario con conceptos de análisis cualitativo de sistemas dinámicos, tomando como base la Teoría de las Catástrofes. En el curso 87/88 se incluyeron unas clases de Ingeniería de Software, pero algunas alteraciones de la normalidad académica durante dicho curso hicieron que la proporción de tiempo dedicada a este tema no llegara al 15%, con lo que no hubo oportunidad de entrar realmente en materia.

A lo largo de los dos últimos cursos se ha llevado a cabo una experiencia distinta, consistente en repartir al 50% la asignatura entre Dinámica de Sistemas e Ingeniería de Sistemas Basados en Conocimiento (o simplemente Ingeniería del Conocimiento). La decisión estaba justificada por el interés formativo de esta

Ingeniería de Sistemas particular, ya que, al igual que la Dinámica de Sistemas, es una metodología que permite construir modelos simbólicos formales de sistemas complejos para ayuda al análisis y la toma de decisiones. En el caso de la Ingeniería del Conocimiento, su objeto es construir modelos, generalmente estáticos, conocidos como *sistemas expertos*, con los que se pretende emular el comportamiento de los expertos humanos en un dominio concreto del saber.

Además del objetivo formativo expuesto, se conseguía cubrir un área, la Inteligencia Artificial, que ha experimentado un crecimiento creciente en los últimos años, y que sin embargo carecía de respaldo en el currículo de la escuela.

La experiencia llevada a cabo ha sido interesante y fructífera. Sin embargo hemos observado que es difícil en la práctica docente diaria hacer girar la impartición del bloque temático dedicado a Ingeniería del Conocimiento alrededor de la idea de *sistema*. Este hecho hace que los alumnos vean en general la asignatura como dividida en dos partes con escasos vínculos de conexión. Nuestra impresión se ha visto confirmada por las encuestas de fin de curso realizadas a los alumnos.

La impresión de división aparentemente no es apreciada como algo negativo por los estudiantes. A pesar de ello, y en mi opinión, el temario de una asignatura debe mantener una consistencia interna y una unidad que no se está consiguiendo en la actualidad.

3.1.8 Prácticas

El plan 1964-M2 no contempla una asignatura de laboratorio paralela a la Ingeniería de Sistemas. Sin embargo, y aunque la asignatura se ha concebido hasta ahora como "de lápiz y papel", no por ello se debe rehuir la utilización de herramientas informáticas como un medio de motivación y refuerzo del aprendizaje.

Desde finales del año 1981 hemos venido trabajando en el área de las herramientas para ayuda a la elaboración de modelos de Dinámica de Sistemas, primero en el Laboratorio de Ordenadores, Cibernética y Teoría de Sistemas y después en el Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos. El trabajo comenzó a instancias de Gregorio Fernández, dirigiendo mi proyecto fin de carrera [DS González-85, DS González-86] y lo hemos continuado hasta la actualidad⁷. El resultado es un entorno denominado AMDS (una Ayuda para la elaboración de Modelos de Dinámica de Sistemas), ejecutable sobre ordenadores compatibles IBM-PC. Las características más notables de esta herramienta son:

- Soporta la construcción de modelos de forma interactiva, desde la definición de variables y relaciones hasta la simulación.

⁷Durante el periodo comprendido entre marzo de 1987 y marzo de 1988 éste trabajo estuvo financiado por la empresa Unión Iberoamericana de Tecnología Eléctrica S.A..

- La clasificación de las variables se hace de forma semiautomática.
- Las ecuaciones del modelo se escriben en un lenguaje propio que simplifica la notación habitual (DYNAMO).

El entorno se mantiene vivo, generándose periódicamente nuevas versiones. A esto contribuye su libre distribución a los alumnos de la asignatura y a diferentes instituciones de investigación. Así, dirijo en este momento dos proyectos fin de carrera tendentes a producir un interfaz que permita la edición gráfica de los modelos y la generación automática de diagramas. Está previsto que la próxima versión, convenientemente documentada, esté lista antes de que finalice el presente curso académico.

La aceptación de AMDS por los estudiantes es buena, ya que la mayor parte de los alumnos de sexto curso tienen acceso a la utilización de ordenadores personales. Para aquellos que no lo tienen hemos dispuesto sesiones demostrativas en los laboratorios del departamento en los últimos años. En mi opinión esta alternativa debería ser considerada por todos aquellos profesores que reclaman la necesidad de asignaturas específicas de laboratorio como complemento para sus cursos teóricos.

3.1.9 Requisitos académicos

El plan de estudios 1964-M2 no impone ningún prerrequisito ni correquisito para la asignatura de Ingeniería de Sistemas. Este hecho, especialmente en una materia de sexto curso, revela el carácter menos especializado que los diseñadores del plan pretendieron dar a la asignatura, a pesar de incluirla como obligatoria para los alumnos del área III.

Los conocimientos previos que los alumnos necesitan serán establecidos en el capítulo siguiente, una vez definidos los contenidos.

3.1.10 Asignaturas del currículo relacionadas con la Ingeniería de Sistemas

La asignatura del currículo más directamente relacionada con la Ingeniería de Sistemas es *Cibernética y Teoría de Sistemas*, en quinto curso, optativa fuera de área. Desde la implantación del actual plan de estudios, su objetivo ha sido el descubrimiento por los estudiantes de la complejidad, como una dimensión inevitable y creciente de las Tecnologías de la Información.

Tanto el enfoque de la asignatura, como sus contenidos y su metodología son originales y atípicos, en unos tiempos de marcada tendencia hacia la superespe-

cialización y de escaso interés por los problemas socio-técnicos en los currículos. La originalidad del planteamiento y el interés de este experimento didáctico llevado a cabo por F. Sáez han merecido la reciente publicación de un artículo en la revista *Systems Practice* [CI Sáez-90].

Los contenidos de la asignatura son dinámicos, aunque algunos temas fundamentales son:

- Complejidad en informática, tanto relativa a hardware como a software.
- Teoría de la complejidad.
- Convivencialidad, sociedad, hombres y máquinas.
- Tendencias e integración en las tecnologías de la información.

La matrícula de la asignatura, que como hemos dicho no es obligatoria en ningún área, es bastante reducida. Su enfoque es marcadamente conceptual, mientras que el de la Ingeniería de Sistemas debe ser a mi entender mucho más práctico. En cuanto a los contenidos de ambas, son claramente disjuntos, aunque afines. Estas consideraciones pretenden aclarar que ambas asignaturas, aunque hagan uso de importantes conceptos comunes (sistema, complejidad, etc.), tanto por su audiencia, como por su enfoque o sus contenidos, son muy diferentes.

Otra asignatura que guarda relación con la de Ingeniería de Sistemas es la de *Investigación Operativa y Teletráfico*. La Investigación Operativa es una de las Ciencias de la Complejidad, ya que tiene por objeto ofrecer técnicas de análisis y optimización de sistemas complejos. Sin embargo, el enfoque que se da a la asignatura se aparta mucho del punto de vista de sistemas. En la actualidad es fundamentalmente un curso de teoría de colas orientado a la evaluación de prestaciones de sistemas informáticos y de tráfico.

La asignatura de *Organización de Empresas y Legislación* trata, entre otras cosas, de la organización de la informática en la empresa y de técnicas cuantitativas de gestión. Está relacionada por tanto con la ingeniería de sistemas en su vertiente de gestión.

Por último, la asignatura de *Bases de Datos* hace hincapié en los métodos de modelado de la información. Estos son una herramienta de análisis de sistemas software, por lo que están íntimamente relacionados con la ingeniería de sistemas en cuanto a software se refiere.

3.2 El entorno profesional

A la hora de diseñar cualquier currículo hay que considerar cuál es el entorno profesional al que se van a dirigir los estudiantes en el futuro, un entorno que está determinado en última instancia por una demanda social. Para ello me basaré en los estudios socioprofesionales realizados por el Colegio y la Asociación de Ingenieros de Telecomunicación [CI Pérez-83, CI Pérez-88b]. Los resultados que más nos interesan son los referentes a las áreas de actividad y las funciones de los ingenieros.

De acuerdo con las encuestas encargadas para dichos estudios, la función principal desempeñada por los ingenieros de telecomunicación en 1988 se distribuía según se indica en la tabla 3.2 (reproducida de [CI Pérez-88b]). En la misma tabla se muestran otras dos columnas, una con el mismo dato referido únicamente a ingenieros jóvenes (menores de 30 años) y otra con la previsión realizada sobre la demanda en dichas áreas en 1984 para el periodo 1985-1990.

Para nuestros efectos interesa mostrar que el 51,6% de los ingenieros de telecomunicación españoles se dedicaban como función principal en el momento del estudio a tareas de diseño, proyectos, gestión y dirección, todas ellas actividades relacionadas directamente con la Ingeniería de Sistemas. Los resultados serían mucho más abultados si incluyéramos las personas que realizan estas funciones como tareas secundarias. La razón es que el estudio revela que tan sólo un 22,9% realiza una única función, mientras que el 35,4% realiza dos funciones y el 41,7% desempeña tres.

En relación con este asunto existen estudios referidos a los Estados Unidos [ES Gharajedaghi-85] que aseguran que más del 60% de las personas que obtuvieron un título en ingeniería, al cabo de quince años habían llegado a ser directores o gestores de alguna clase, o bien dejaron la profesión para aventurarse a los negocios.

Por lo que respecta a áreas tecnológicas, los resultados se muestran en la tabla 3.3. En ella vemos que el 31,1% trabaja en alguna parcela de la informática, porcentaje que se incrementa hasta un 44,6% en los ingenieros jóvenes. Es de destacar que casi la cuarta parte de los titulados recientes declaran trabajar en tecnología del software.

El mismo proceso de evolución que se da en cuanto a funciones, aparece también, aunque en mucha menor medida, en las áreas tecnológicas. Así, el mismo estudio americano citado anteriormente indica que el 20% de los doctores abandona el campo en el que obtuvo su título en un plazo de cinco años, y el 35% lo hace al cabo de quince.

J. Pérez analiza la adecuación de los perfiles académicos a los perfiles docentes

FUNCION PRINCIPAL	Previsión demanda (85)	Resultados actuales (88)	Generación < 30 años
Investigación y desarrollo	14,5%	16,4%	33,3
Diseño y proyectos	38,9%	25,9%	40,9
Producción	7,1%	5,5%	1,5
Operación y mantenimiento	9,4%	5,0%	4,6
Ventas y aplicaciones	15,5%	11,1%	6,1
Gestión y administración	8,1%	15,7%	10,6
Alta dirección	0,8%	10,0%	0,0
Enseñanza	2,6%	5,9%	1,5
Otras	3,1%	5,0%	1,5

Tabla 3.2: Función principal del puesto de trabajo

FUNCION	Previsión demanda (85)	Resultados actuales (88)	Generación < 30 años
Radiocomunicaciones	8,2%	19,1%	7,7
Ingeniería telemática	23,6%	12,6%	18,5
Tecnología software	39,5%	13,4%	24,6
Arquit. y tecnol. ordenad.	9,7%	5,1%	1,5
Control de sistemas	8,8%	9,8%	9,2
Diseño de circuitos	5,7%	10,6%	23,1
Tecnologías electrónicas	3,7%	5,9%	6,2
Otras	6,8%	23,5%	9,2

Tabla 3.3: Area tecnológica del puesto de trabajo

[CI Pérez-88a] de acuerdo con los estudios realizados por el Colegio y la Asociación. Con respecto a las funciones de los ingenieros hace notar que los actuales currículos en tecnologías de la información capacitan para las labores más técnicas, siendo muy deficiente la formación para la gestión y las labores comerciales. En consecuencia, la formación universitaria sólo prepara para niveles técnicos de decisión, nunca para la toma de decisiones económicas o de política de empresa.

3.3 El entorno social

La rapidez del desarrollo tecnológico en nuestra sociedad ha desembocado en un énfasis creciente en la necesidad de especialización en todas las ramas de la ciencia y la ingeniería. Es de prever que esta necesidad no hará sino acrecentarse en el futuro.

Como consecuencia de lo anterior, la sociedad hace una segunda demanda al ingeniero: un esfuerzo de transdisciplinariedad. Las tecnologías de la información son instrumentales, en el sentido de que ofrecen herramientas para la resolución de problemas. Este hecho obliga al ingeniero a traspasar los límites de su especialización para comunicarse con usuarios y clientes, a cuyos propósitos sirve en definitiva.

Simultáneamente a estas demandas, Lorente [CI Lorente-88] observa una disminución en el papel directivo del ingeniero. Tradicionalmente los ingenieros maduros pasaban a ocupar cargos de dirección o gestión. Su experiencia les proporcionaba una visión más general de los problemas que les hacía propicios para esos puestos. La especialización en la formación, pero sobre todo en el ejercicio profesional, sería la causa de la pérdida creciente de este espacio de actividad, un espacio que es además el mejor remunerado.

Es evidente que una formación en Ingeniería de Sistemas debe fomentar en los estudiantes una visión holística de los problemas del mundo real. Esta visión proporcionará a los futuros ingenieros una mayor capacidad, tanto para la transdisciplinariedad dentro de la especialización, como para las tareas de gestión y dirección. Con ello conseguiríamos, por encima de otras consideraciones, satisfacer más plenamente las demandas de la sociedad.

3.4 Constricciones

Existe una serie de limitaciones que afectan al desarrollo de la docencia y que es imprescindible tener en cuenta en todo proyecto docente. La primera de ellas hace referencia al número de alumnos matriculados en la asignatura.

ASIGNATURA	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90
Arquitectura de Ord.	239	307	379	184	175	196
Fundamentos Ord.II	155	233	309	287	264	293
Fund. Telemática	269	259	250	327	307	348
Inv. Operativa y Tel.	258	327	425		200	236
Comunicación Datos	129	257	261	187	197	202
Redes Ordenadores	100	195	225	246	300	288
Sistemas Digit. II	132	268	268	183	180	162
Sistemas Operativos	100	211	232	285	258	229
Bases de Datos	84	116	190	219	307	285
Ing. de Sistemas	66	122	185	237	304	333

Tabla 3.4: Evolución de la matrícula de las asignaturas optativas obligatorias del área III

Si bien conocemos el número total de alumnos matriculados en cada asignatura optativa desde el curso 86/87 (esta información se recoge en [CI ETSITM-90]), la secretaría de la escuela ignora otros datos interesantes, como la distribución de alumnos por áreas en cada asignatura.

En la tabla 3.4 se puede apreciar cómo el alumnado de Ingeniería de Sistemas ha venido creciendo ininterrumpidamente durante los cinco últimos cursos académicos a un ritmo superior al experimentado por las demás asignaturas optativas obligatorias en el área III. En este periodo la matrícula se ha multiplicado por 5, mientras que la de Bases de Datos lo ha hecho por 3.4, Redes de Ordenadores por 2.9 y Sistemas Operativos por 2.3, mientras que en las restantes asignaturas no llegaba a duplicarse o incluso se veía reducida.

La causa de este fuerte incremento radica en dos hechos deducibles de la tabla:

- El aumento de entradas en primer y segundo año hasta el curso 86/87, en que se implantó una limitación drástica de los contingentes de entrada a la Escuela.
- El aumento del grado de aceptación de la asignatura entre los alumnos de otras áreas, en mi opinión debido a su carácter polivalente y menos tecnológico que otras materias.

Podría pensarse en una hipotética influencia de la percepción que los alumnos tienen de la proporción de aprobados. Sin embargo esta cifra, si bien era elevada hasta el curso 87/88, ha disminuido ostensiblemente para mantenerse bastante constante desde entonces entorno a un 70% de los alumnos presentados (ver tabla 3.5). Aunque es pronto para emitir juicios al respecto, no parece que este consciente aumento de exigencia haya influido hasta el momento en el sentido de reducir la matrícula⁸. Cuando menos, se puede asegurar que dicho factor se ha visto ampliamente compensado por otros factores; por ejemplo el irresistible ascenso de promociones más numerosas, el cambio del segundo al primer cuatrimestre en el curso 89/90, la oferta de un grupo adicional de tarde desde el curso 88/89, un mayor atractivo del temario a partir del mismo curso al incluir técnicas más "de moda", o el efecto de acumulación generado por la disminución en el porcentaje de aprobados.

El mayor aumento de exigencia se refleja también en la disminución paulatina de la proporción de alumnos presentados en la convocatoria ordinaria de cada curso. Sobre este hecho debe influir también la tendencia creciente de los alumnos de sexto curso a matricularse de un exceso de asignaturas, lo que les permite descartar unas u otras sobre la marcha según su conveniencia.

Extrapolando las cifras de la tabla 3.4, es de esperar que el número de alumnos se estabilice (o en el peor de los casos aumente levemente durante un año más), para ir descendiendo paulatinamente a partir de entonces.

Desde el curso 88/89 la matrícula está dividida en dos grupos, de mañana y de tarde, bastante desiguales en cuanto a asistencia (en una proporción real de 2 a 1 a favor del grupo de la mañana). El número habitual de asistentes a clase durante el curso 89/90 ha sido de 115 por la mañana y 55 por la tarde.

Estas cifras, que permiten calificar a la asignatura de masiva para un último año de carrera, determinan en buena medida el tipo de enseñanza que "es posible" ofrecer.

⁸También se podría achacar la disminución de la proporción de aprobados a una posible disminución en la calidad del profesorado. No creemos, con los resultados de las encuestas de los dos últimos años en la mano, que ésto sea cierto.

Curso	Convocatoria	Matric.	Present.	%	Aprob.	%
87/88	Febrero	1	1	100,0	1	100,0
	Junio	236	197	83,5	161	81,8
	Septiembre	75	34	45,3	30	88,2
88/89	Febrero	4	4	100,0	4	100,0
	Junio	310	245	79,0	171	69,8
	Septiembre	139	76	54,7	52	68,4
89/90	Febrero	333	241	72,4	170	70,5
	Junio	163	71	43,6	44	62,0

Tabla 3.5: Evolución de los resultados de exámenes

Capítulo 4

Diseño

4.1 Objetivos generales

El objetivo básico de la asignatura será fomentar en los estudiantes una actitud de sistemas hacia los complejos problemas/sistemas a los que deberá hacer frente en su ejercicio profesional. Esta actitud supone un punto de vista global, complementario al enfoque reduccionista y experimental del método científico al que está habituado el alumno en las restantes materias del currículo.

Además de dotar a los estudiantes con herramientas conceptuales y aplicadas para abordar problemas complejos en ámbitos técnicos, se pretende mostrar que, en la vida real, los problemas manifiestan su complejidad en un entramado de implicaciones socio-técnico-económico-ambientales. Se deben presentar por tanto útiles adecuados para comprender y afrontar problemas de estas características.

El ingeniero de sistemas no puede ser una persona diestra en una sola metodología. Al contrario,

1. debe conocer y saber hacer uso de varias metodologías de ingeniería de sistemas.
2. al mismo nivel de importancia del punto 1, debe saber reconocer el ámbito de aplicación y las limitaciones de dichos métodos.
3. más importante que los puntos 1 y 2, debe estar preparado para valorar y apreciar las metodologías y herramientas que no conoce (no es posible, ni siquiera deseable, aprender todas ellas en una asignatura), incluidas aquellas que a buen seguro surgirán y deberá aprender durante su vida profesional.

4.2 Criterios

4.2.1 Criterios socio-académicos

La asignatura de Ingeniería de Sistemas se encuadra en el sexto curso de los estudios de Ingeniería de Telecomunicación de Madrid, de acuerdo con el plan de estudios 1964-M2. La asignatura es optativa, pero obligatoria para los alumnos del área III (informática-transmisión). Se trata de una asignatura cuatrimestral impartida en la actualidad en el primer cuatrimestre. El número total de horas lectivas del curso es normalmente superior a las 50, a razón de dos clases semanales, divididas en dos sesiones de 50 minutos.

La formación previa de los alumnos sobre la materia se reduce a la asignatura de 5º curso *Cibernética y Teoría de Sistemas*. Dicha asignatura, por ser una optativa fuera de área, tiene una matrícula reducida. Esto hace que no llegue a un 25% la proporción de los alumnos matriculados en Ingeniería de Sistemas que han cursado *Cibernética y Teoría de Sistemas*.

La función principal de los ingenieros de telecomunicación en el ámbito laboral es la de diseño, proyectos, gestión y dirección en más de un 50% de los casos, tareas todas relacionadas con la ingeniería de sistemas. En cuanto al área tecnológica del puesto de trabajo es alguna de las parcelas de la informática en casi un tercio de los casos (un 44,6% para los ingenieros jóvenes).

Dada la necesidad de especialización creciente observable en todas las facetas de la tecnología, la sociedad exige cada vez más al ingeniero un esfuerzo de transdisciplinariedad para traspasar la barrera de la especialización y comunicarse con usuarios, clientes y otros profesionales con los que debe colaborar. Esta exigencia impone un punto de vista de sistemas.

4.2.2 Criterios de contenido

Los contenidos del curso se escogen de modo que contribuyan al objetivo prioritario del mismo: reforzar la actitud de sistemas de los alumnos.

La idea central que guiará el desarrollo del programa y servirá de hilo conductor del mismo será el concepto de sistema, como una totalidad dotada de unos objetivos, integrada en un entorno y compuesta por elementos diversos e interconectados. Estas ideas ponen énfasis en un enfoque interdisciplinar de la asignatura.

El término *ingeniería de sistemas*, se considerará en un sentido amplio, entendido como un conjunto de metodologías para la resolución de problemas mediante el análisis, diseño y gestión de sistemas

A pesar de que los objetivos básicos expuestos en el apartado 4.1 son muy generales y la asignatura debe resultar en consecuencia útil para cualquier ingeniero, su inclusión de forma obligatoria dentro de un área aconseja una cierta especificidad¹. Los alumnos que sigan el área III tienen cierto derecho a esperar que la asignatura tenga algún valor añadido para ellos. En este sentido hay que considerar además que la demanda laboral de ingenieros de telecomunicación se dirige particularmente al sector informático (45% de los ingenieros jóvenes, de los cuales más de la mitad corresponde al área de tecnología software).

4.2.3 Criterios pedagógicos

Los criterios generales y de contenidos expuestos ponen de manifiesto una preponderancia de lo formativo sobre lo informativo. El desarrollo de una actitud intelectual es objetivo prioritario por contraposición a la simple transmisión de unos conocimientos. Esta voluntad enmarcaría la impartición de la asignatura de acuerdo con un paradigma cualitativo (no cuantitativo) de la educación superior. Sin embargo, estos criterios pedagógicos chocan irremediabilmente con la realidad de masificación de la asignatura.

4.3 Método docente

Una enseñanza de calidad en Ingeniería de Sistemas requeriría que el método docente empleado se asentara sobre la labor de los propios estudiantes trabajando como ingenieros de sistemas. Si bien el conocimiento de los aspectos teóricos de la materia es un requisito imprescindible, su utilidad se revela en mayor medida cuando las herramientas que la disciplina ofrece se aplican a problemas reales. Por otra parte, el aprendizaje de la Ingeniería de Sistemas adquiere su verdadera dimensión cuando el trabajo se desarrolla en grupos.

En una situación ideal el método de enseñanza consistiría en varios tipos de actividades²:

¹Cabe preguntarse hasta qué punto un área debe orientar una asignatura. Si hemos de seguir el criterio de los diseñadores del plan de estudios, creo que es obligado, aun a pesar de la universalidad de la asignatura en sí misma.

²Una práctica semi-institucionalizada parece obligar a presentar en los Proyectos Docentes un catálogo de recursos didácticos y de evaluación que tiene a su disposición el profesor universitario en su práctica docente. Este catálogo, de cuyo interés no dudo, suele abarcar desde la lección magistral hasta la instrucción vis-a-vis, pasando por el *brainstorming*, y desde el examen tipo test al oral individual. Tales exposiciones suelen requerir entre 10 y 20 páginas de la mayor de los Proyectos Docentes presentados a concursos.

Sin embargo, no creo que tales presentaciones de carácter general deban ser objeto de un

1. Clases con un propósito primordial de motivación, en las que se procuraría un elevado grado de diálogo y que servirían para introducir los temas (4 horas).
2. Clases básicamente informativas impartidas por el profesor y dirigidas al gran grupo. Estas clases servirían para introducir a los alumnos en distintas metodologías de sistemas y absorberían la mitad de las horas lectivas del curso (22 horas).
3. Discusión de casos prototípicos y problemas de los estudiantes en gran grupo. Servirían para poner de manifiesto la utilidad de las metodologías y para orientar a los alumnos en sus trabajos de curso (22 horas).
4. Clase de recapitulación y evaluación del curso. Esta clase completaría el programa lectivo del curso (2 horas).
5. Trabajos realizados por los estudiantes en grupos de cuatro o cinco personas. Estos trabajos se centrarían en problemas reales de análisis conocidos por los alumnos, para cuya resolución deberían profundizar y adquirir un nivel suficiente de dominio en algunas de las metodologías presentadas en las clases teóricas. Dada la estructura de contenidos propuesta, lo más conveniente sería que los grupos de alumnos abordaran al menos un problema relativo a sistemas no estructurados y otro de análisis de un sistema software.
6. Acción tutorial desarrollada por el profesor en interacción con cada uno de los grupos de trabajo. La tutoría sirve de guía para los alumnos en la realización de los trabajos prácticos y además constituye una ayuda para la evaluación del rendimiento de los grupos.

Como vemos, para que este método de enseñanza pudiera llevarse a cabo de forma efectiva se requeriría una importante labor de tutoría por parte del profesor. Evidentemente esta función no puede realizarse de forma eficaz para un

Proyecto Docente, ya que normalmente sólo sirven para repetir hasta la saciedad manidos comentarios sobre los métodos docentes y dar una exigua pátina de interés pseudo-pedagógico sobre proyectos mayoritariamente centrados alrededor de los aspectos científico-técnicos de los contenidos del currículo.

Esta opinión está avalada por los profesionales de la Pedagogía. En concreto, P. Hernández propone unos criterios para la confección de Proyectos Docentes [DC Hernández-89] con destino a concursos-oposición para la provisión de plazas de los cuerpos docentes universitarios con arreglo a la Ley Orgánica de Reforma Universitaria. En ninguna parte de su exposición demanda, ni siquiera sugiere, la posibilidad de incluir tales referencias en un proyecto.

número indefinidamente elevado de grupos. En mi opinión este método no puede materializarse de ningún modo con más de quince grupos por profesor. Aún así, suponiendo una dedicación media de diez minutos semanales por grupo, esto obliga a un esfuerzo docente adicional de dos horas y treinta minutos semanales. En las condiciones actuales el número de grupos sería superior al doble, lo que hace inviable la práctica de este método.

Mientras la matrícula de la asignatura supere los 75 alumnos por grupo (en la actualidad ronda los 170) es utópico pensar en ofrecer este tipo de enseñanza. En su lugar sólo se puede aspirar a una enseñanza de corte mucho más tradicional basada únicamente en actividades a nivel de gran grupo. Estas actividades incluyen las clases convencionales, principalmente informativas y en las que cabe una escasa interacción con la audiencia, y las clases prácticas, en las que se resuelven casos típicos y en las que se debe fomentar un elevado grado de diálogo con los estudiantes. Estas clases prácticas son fundamentales por que, al menos, permiten que el alumno vislumbre el rango, la potencia y las limitaciones de las técnicas presentadas en las clases teóricas. Por otro lado aportan una componente de realimentación hacia el profesor de la asimilación que los estudiantes van haciendo de los nuevos conceptos y técnicas.

Siempre conviene cuidar al máximo los aspectos comunicativos, especialmente en las clases con formato más convencional (tipo conferencia). De no ser así, la clase se convierte, según el aforismo de Weinberg, en "... un modo de trasladar material de las notas del profesor a las notas del estudiante sin necesidad de pasar a través del cerebro de ninguno de los dos".

Otra dimensión importante del método docente es la motivación. Motivar es imprescindible en una asignatura de sexto curso, cuando los estudiantes tienen a veces más deseos de terminar que de aprender. La motivación se puede conseguir por varios caminos:

- Conectando con centros de interés próximos al alumno.
La Ingeniería de Sistemas trata con problemas complejos. El problema de mayor complejidad al que se enfrenta un alumno durante los estudios de grado es su proyecto fin de carrera. Un elevado porcentaje de los alumnos de la asignatura (y una proporción aún mayor de los que realizan el proyecto en nuestro departamento) desarrollará software más o menos complejo para su proyecto. Por lo tanto, cualquier orientación que se pueda ofrecer a los estudiantes para el análisis de su aplicación o de su sistema software será espléndidamente recibida.
- Proporcionando al alumno ayudas informáticas adecuadas.
Suministrar herramientas informáticas de suficiente calidad contribuye a

una mayor motivación de los estudiantes. Estos pueden comprobar las ideas explicadas en clase y experimentar por su cuenta, lo que contribuye a una mayor eficiencia del aprendizaje.

- Aplicando técnicas conocidas a problemas insospechados. Sorprender suele ser una buena técnica de motivación. Algunas metodologías de sistemas, como la Dinámica de Sistemas, sorprenden por su capacidad para modelar problemas de la vida real, en los que es difícil cuantificar las relaciones entre variables.

4.4 Contenidos

De acuerdo con los objetivos y criterios establecidos, propongo agrupar los contenidos de la asignatura en cuatro partes:

1. El enfoque de sistemas
2. Análisis de sistemas software
3. Dinámica de sistemas
4. Metodologías para sistemas no estructurados

La primera de ellas sirve para encuadrar la ingeniería de sistemas dentro del enfoque de sistemas. La segunda aborda la problemática del análisis dentro de una ingeniería de sistemas particular, la ingeniería del software. La selección del análisis se debe a que, dentro del proceso de desarrollo software, es la faceta que:

- demanda con mayor intensidad una concepción de sistemas.
- es menos dependiente de la tecnología.
- debe tener en más en cuenta la influencia de factores humanos, sociales, económicos, etc.

La Dinámica de Sistemas, tercera parte, tiene la peculiaridad de utilizar métodos de la ingeniería para abordar problemas sociales, económicos, etc. mediante la construcción de modelos formales. Esta característica la hace especialmente atractiva para la formación de los ingenieros, que pueden así aproximarse a problemas a los que no están acostumbrados mediante herramientas que les son familiares.

En cuanto a la cuarta parte, metodologías para sistemas no estructurados, se ha seleccionado a pesar de no poderse considerar estrictamente como una metodología de ingeniería de sistemas. El motivo es que suministra útiles conceptuales para abordar problemas complejos que no son susceptibles de ser tratados con métodos formales. Este tipo de problemas son mucho más difíciles de resolver que los meramente tecnológicos y ponen más de relieve la necesidad de un enfoque de sistemas.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las partes, con una escueta exposición de los temas tratados en cada una y los objetivos específicos que se pretenden alcanzar. Para la exposición de los objetivos he utilizado la *taxonomía de objetivos educativos* de Bloom [DC Bloom-56], al modo de los módulos curriculares propuestos por el Software Engineering Institute. Esta taxonomía clasifica los objetivos en los siguientes niveles: conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación.

4.4.1 Parte 1. El enfoque de sistemas

- *Descripción:*

Se presentan las ideas fundamentales en las que se basa el enfoque de sistemas, los tipos de problemas de sistemas y las metodologías más adecuadas para abordarlos.

- *Temas:*

1. Fundamentos del enfoque sistémico
2. Metodologías de sistemas

- *Objetivos específicos:*

1. Comprensión de la terminología básica de sistemas.
2. Comprensión de la problemática de sistemas y de las limitaciones del enfoque científico para resolver problemas complejos.
3. Conocimiento de las metodologías más importantes de sistemas.

4.4.2 Parte 2. Análisis de sistemas software

- *Descripción:*

Se introduce la problemática del análisis de sistemas software. Se presentan varios métodos de definición de requisitos, profundizando en el Análisis Estructurado. Se plantea la necesidad de técnicas de especificación formal.

- *Temas:*

1. Ingeniería de Sistemas Software. Modelos de ciclo de vida
2. Factores humanos en el desarrollo de sistemas software
3. Requisitos software
4. Técnicas para la definición de requisitos
5. Análisis Estructurado
6. Variantes del Análisis Estructurado
7. Métodos de especificación formal

- *Objetivos específicos:*

- Comprensión de los distintos modelos de ciclo de vida.
- Comprensión de la importancia de la consideración de los factores humanos en el análisis de sistemas software.
- Comprensión del proceso de definición de requisitos.
- Aplicación de estándares para la definición de requisitos.
- Conocimiento de los métodos más representativos de definición de requisitos.
- Aplicación del Análisis Estructurado a problemas simples.
- Conocimiento de los principales métodos de especificación formal.

4.4.3 Parte 3. Dinámica de Sistemas

- *Descripción:*

Se presenta la Dinámica de Sistemas como una metodología de Ingeniería de Sistemas aplicable a sistemas sociales, socio-técnicos, económicos o ecológicos.

- *Temas:*

1. Instrumentos de la Dinámica de Sistemas
2. Estructuras elementales
3. Construcción de modelos
4. Métodos analíticos

- *Objetivos específicos:*

1. Capacidad para sintetizar modelos de Dinámica de Sistemas empleando para ello diagramas de Forrester.
2. Capacidad para sintetizar las ecuaciones analíticas o de simulación (empleando lenguajes de Dinámica de Sistemas) de un modelo.
3. Comprensión de los métodos analíticos para el estudio de modelos y su aplicación a casos elementales.

4.4.4 Parte 4. Metodologías para sistemas no estructurados

- *Descripción:*
Se introduce la problemática particular de los sistemas no estructurados. Se presentan las metodologías de Checkland y Beer.
- *Temas:*
 1. Metodologías de sistemas blandos
 2. La metodología de Checkland
 3. El sistema viable de Beer
- *Objetivos específicos:*
 1. Comprender la problemática específica de los sistemas blandos.
 2. Comprender los objetivos, etapas y utilidad de las metodologías de Checkland y Beer. Capacidad para aplicarlas a un nivel elemental.

4.5 Requisitos

El plan de estudios 1964-M2 no plantea, a mi juicio acertadamente, ningún prerrequisito ni correquisito para la asignatura. Las condiciones que se presuponen en los alumnos matriculados de la asignatura, todas ellas satisfechas por los estudiantes de sexto curso de la escuela, son las siguientes:

- Conocimiento de un lenguaje de programación de alto nivel, habiéndose enfrentado al desarrollo de algún programa de complejidad media (nivel de la asignatura de Programación, en segundo curso).
- Conocimiento elemental de modelos matemáticos de sistemas continuos (nivel de la asignatura de Sistemas Lineales, en tercer curso).
- Conocimiento elemental de métodos de integración numérica (nivel de Análisis Numérico, asignatura obligatoria en quinto curso).

4.6 Planificación del curso

4.6.1 Distribución y ordenación de los temas

De acuerdo con los objetivos, criterios, contenidos y métodos expuestos, propongo una ordenación y distribución horaria de los temas del curso de acuerdo con la tabla 4.1. La tabla supone un total de 25 unidades lectivas de dos horas de duración divididas en dos sesiones de 50 minutos con un descanso intermedio de 10 minutos. Conforme al calendario escolar, el número de unidades lectivas para una asignatura cuatrimestral con cuatro horas semanales de clase puede ser algo superior (27 unidades para el curso 90/91). Sin embargo, siempre acontecen imprevistos (elecciones a todos los niveles, asambleas u otros actos autorizados por la dirección, etc.) que hacen improbable que todas las jornadas hábiles según calendario lleguen a ser útiles. Creo prudente destinar ese 7% restante a imponderables, en lugar de abultar más un temario que posiblemente habría que comprimir con mayores perjuicios para los estudiantes.

Por otro lado, siempre pueden producirse retrasos provocados por una mala planificación o simplemente por cambios en la misma. Lo planificado debe seguirse como una guía, no como un oráculo. Deben efectuarse todas aquellas modificaciones que redunden manifiestamente en beneficio de los objetivos y criterios establecidos con anterioridad, prestando especial atención a las consideraciones pedagógicas. Por el contrario, sería absolutamente desaconsejable alterar dichos objetivos o criterios durante el curso.

CONTENIDO	HORAS	PROPORCION
Introducción al curso Enfoque de Sistemas	4	8%
Análisis de Sistemas Software	16	32%
Dinámica de Sistemas	16	32%
Metodologías de Sistemas no estructurados	12	24%
Resumen y Evaluación del curso	2	4%

Tabla 4.1: Distribución global del curso

En cualquier caso, a medida que se vaya acercando el fin del cuatrimestre habrá que ir reajustando el temario, completándolo si fuera necesario con clases de tipo práctico; nunca con inclusión de materia adicional.

La distribución del tiempo disponible se ha hecho dividiéndolo a partes iguales entre los temas 1+4, 2 y 3, dejando una última clase para hacer balance del curso. En cuanto a la ordenación se podía haber hecho partiendo de los problemas más técnicos y estructurados (sistemas duros) y terminado por los menos (sistemas blandos) o viceversa. Finalmente he escogido la primera opción, por que permite entroncar más directamente con los conocimientos y la experiencia previa de los alumnos.

4.6.2 Planificación detallada

A continuación se propone una distribución detallada del tiempo de clase. Los contenidos se han dividido en cuatro partes y éstas en unidades. Las unidades se corresponden con cada uno de los periodos lectivos de dos horas.

Parte 1. EL ENFOQUE DE SISTEMAS

Unidad 1. Fundamentos del enfoque sistémico

1. El método científico
 - Historia y características
 - Problemas para la ciencia: complejidad, ciencias sociales y gestión
2. Historia del enfoque sistémico
3. Conceptos básicos:
 - Emergencia y jerarquía
 - Comunicación y control
4. Tipos de trabajos

Unidad 2. Metodologías de sistemas

1. Tipos:
 - Metodologías de sistemas duros
 - Metodologías de sistemas blandos
2. Ingeniería de Sistemas
 - Aspectos: análisis, diseño y gestión
 - Metodologías de Ingeniería de Sistemas

Parte 2. ANALISIS DE SISTEMAS SOFTWARE

Unidad 3. Ingeniería de Sistemas Software

1. Problemática del desarrollo de sistemas software
2. Modelos de ciclo de vida:
 - Modelo clásico (en cascada)
 - Prototipado
 - Desarrollo incremental
 - Modelo transformacional

- Modelo espiral

Unidad 4. Factores humanos en el desarrollo de sistemas software

1. El modelo humano de procesamiento del conocimiento
2. Trabajo en grupo
3. Ergonomía

Unidad 5. Requisitos software

1. Requisitos y especificación
2. El proceso de definición de requisitos software
 - Identificación de requisitos
 - Análisis de requisitos
 - Presentación de requisitos
 - Validación de requisitos
 - Gestión del proceso de definición de requisitos
3. Productos de la definición de requisitos
 - Clases de requisitos
 - Estándares
 - Requisitos orientados al cliente-usuario
 - Requisitos orientados al diseñador

Unidad 6. Técnicas para la definición de requisitos

1. Técnicas para extraer requisitos
2. Técnicas de modelado
3. Métodos más representativos:
 - Desarrollo de software estructurado en los datos (DSSD)
 - Técnica de análisis y diseño estructurado (SADT)
 - Análisis estructurado y especificación de sistemas (SASS)

- Lenguaje de declaración de problemas / Analizador de declaración de problemas (PSL/PSA)

4. Herramientas para el desarrollo de modelos

Unidad 7. Análisis Estructurado (I)

1. Elementos básicos del Análisis Estructurado:

- Diagramas de flujo de datos
- Diccionarios de datos
- Especificación de procesos primitivos
- Revisión estructurada

Unidad 8. Análisis Estructurado (II)

1. Extensiones del análisis estructurado para aplicaciones en tiempo real
2. Herramientas CASE para soporte del Análisis Estructurado

Unidad 9. Análisis Estructurado (III)

1. Estudio de casos

Unidad 10. Técnicas de especificación formal

1. Beneficios de la especificación formal
2. Especificación algebraica
3. Especificación basada en un modelo

Parte 3. DINAMICA DE SISTEMAS

Unidad 11. Introducción a la Dinámica de Sistemas

1. Marco histórico de la DS
2. DS y modelos
3. Génesis, evolución y situación actual de la DS
4. Características de los modelos de DS

- Características estructurales
- Características funcionales

Unidad 12. Herramientas de la Dinámica de Sistemas

1. Diagramas causales o de influencias
2. Diagramas de Forrester
3. Simulación
 - Herramientas
 - Escritura de ecuaciones
 - Integración

Unidad 13. Estructuras elementales en modelos de DS (I)

1. Sistemas de primer orden
 - Realimentación negativa
 - Realimentación positiva
 - Realimentación positiva y negativa

Unidad 14. Estructuras elementales en modelos de DS (II)

1. Sistemas de segundo orden
2. Retrasos
 - Retrasos de material
 - Retrasos de información
 - Tiempos de ajuste

Unidad 15. Construcción de modelos de Dinámica de Sistemas

1. Fases de la construcción de modelos
2. Empleo de modelos DS
 - Cuantificación

- Agregación
- Objetivos del modelado
- Ventajas del modelado con DS

Unidad 16. Algunos modelos sencillos

1. Modelos de poblaciones
2. Modelo de la calidad de la enseñanza

Unidad 17. Métodos analíticos

1. Clases de métodos
2. Linealización
3. Análisis de sensibilidad
4. Estimación de parámetros
5. Análisis cualitativo

Unidad 18. Aplicación a Ingeniería Software

1. Modelos de desarrollo de sistemas software:
 - Subsistema de producción
 - Subsistema de gestión de recursos humanos
 - Subsistema de planificación

Parte 4. METODOLOGÍAS PARA SISTEMAS NO ESTRUCTURADOS

Unidad 19. Metodologías de sistemas blandos

1. Problemática de los sistemas no estructurados
2. Aplicación del pensamiento de sistemas duros a problemas blandos
3. Método de trabajo: la investigación en la acción

Unidad 20. La metodología de Checkland (I)

1. Etapas de la metodología
2. Tipos de estudios
3. Resultados y conclusiones

Unidad 21. La metodología de Checkland (II)

1. Estudio de casos

Unidad 22. El sistema viable de Beer (I)

1. Viabilidad de un sistema
2. Variedad. Ley de la variedad requerida
3. Canales de información. Transductores
4. Principios de organización

Unidad 23. El sistema viable de Beer (II)

1. Retroalimentación
2. Autonomía
3. Axiomas de gestión
4. Ley de cohesión

Unidad 24. El sistema viable de Beer (III)

1. Estudio de casos

Unidad 25. Resumen y evaluación del curso

1. Recapitulación de los contenidos
2. Conclusiones
3. Evaluación del curso

4.7 Bibliografía

En este apartado se incluye la bibliografía básica y complementaria aconsejada para los contenidos anteriores.

Parte 1. EL ENFOQUE DE SISTEMAS

Unidades 1-2

- Bibliografía básica:
 - [ES Checkland-81], capítulos 1 a 5
- Bibliografía complementaria:
 - [ES Aracil-86b]
 - [ES Bertalanffy-68], capítulos 1 y 2
 - [ES Hall-89], capítulo 1.
 - [ES Morin-77], parte I, capítulo 2
 - [ES Pagels-89], capítulo 2.
 - [ES Rosnay-75], capítulo 2

Parte 2. ANALISIS DE SISTEMAS SOFTWARE

Unidad 3

- Bibliografía básica:
 - [IS Sommerville-89], capítulo 1
 - [IS Davis-88]
- Bibliografía complementaria:
 - [IS Scacchi-89]
 - [IS Agresti-86]
 - [IS Boehm-84]
 - [IS Boehm-86]
 - [IS Zave-84]
 - [IS Partsh-83]

Unidad 4

- Bibliografía básica:
 - [IS Sommerville-89], capítulo 2
- Bibliografía complementaria:
 - [IS Norman-86], sección 1

Unidades 5-6

- Bibliografía básica:
 - [IS Sommerville-89], capítulos 3 a 6
- Bibliografía complementaria:
 - [IS Pressman-87], capítulos 4 y 5
 - [IS Brackett-90]
 - [IS Rombach-90]
 - [IS Davis-90]
 - [IS IEEE-84]
 - [IS Hirschheim-88]
 - [IS Boehm-84]

Unidades 7-9

- Bibliografía básica:
 - [IS Svoboda-90]
- Bibliografía complementaria:
 - [IS Yourdon-89], partes 2 y 3
 - [IS Ward-85], volumen 1, sección 2
 - [IS Hatley-87], partes 3 y 4

Unidad 10

- Bibliografía básica:

- [IS Sommerville-89], capítulos 7 a 9

- Bibliografía complementaria:

- [IS Cohen-86]
- [IS Morgan-84]
- [IS Berziss-89]

Parte 3 DINAMICA DE SISTEMAS

Unidades 11-18

- Bibliografía básica:

- [DS Aracil-86a], capítulos 1 a 5
- [DS Abdel-Hamrik-89b] (para la unidad 18)

- Bibliografía complementaria:

- [DS Martínez-86a]
- [DS Martínez-86b]
- [DS Roberts-83]
- [DS Forrester-71]

Parte 4. METODOLOGIAS PARA SISTEMAS NO ESTRUCTURADOS

Unidades 19-21

- Bibliografía básica:

- [ES Checkland-81], capítulos 6-8

- Bibliografía complementaria:

- [ES Checkland-79]

Unidades 22-24

- Bibliografía básica:

- [ES Beer-85]

- Bibliografía complementaria:
 - [ES Beer-79]
 - [ES Beer-81]

4.8 Otras fuentes

4.8.1 Publicaciones periódicas

- International Journal of Systems Science
Taylor and Francis, mensual.
- Systems Research
Pergamon Press, trimestral.
(Órgano de la International Federation for Systems Research).
- Revue Internationale de Systémique
Dunod, trimestral.
- International Journal of General Systems
Gordon and Breach, trimestral.
- Cybernetics and Systems. An International Journal
Hemisphere, bimensual.
- Revista Internacional de Sistemas
Sociedad Española de Sistemas Generales, cuatrimestral.
- Systems Dynamics Review
System Dynamics Society.
- Dynamica
University of Bradford.
- IBM Systems Journal
IBM, trimestral.
- International Journal of Man-Machine Studies
Academic Press, mensual.
- Transactions on System, Man and Cybernetics
Computer Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, bimensual.

- Journal of Applied Systems Analysis
Department of Systems and Information Management, University of Lancaster, anual.
- The Journal of Systems and Software
North Holland, 9 números al año.
- Computer
Computer Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, bimensual.
- Software
Computer Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, bimensual.
- Transactions on Software Engineering
Computer Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers, mensual.
- Software Engineering Journal
British Computer Society, Institute of Electrical Engineers, bimensual.
- Communications of the ACM
ACM Press, mensual.
- Software Engineering Notes
ACM Press, Special Interest Group on Software Engineering, trimestral.
- Software. Practice and Experience
Wiley, 14 números al año.

4.8.2 Congresos

La siguiente lista muestra algunas de las reuniones internacionales de carácter científico que tratan temas incluidos en el temario propuesto para la asignatura. Su periodicidad es anual en la mayor parte de los casos:

- Annual Meeting of the International Society for General Systems Research.
- International Conference of the System Dynamics Society.
- International Conference on Cybernetics.

- SEI Conference on Software Engineering Education
- International Conference on Software Engineering (ICSE).
- International Conference on Computer Systems and Software Engineering (COMPEURO).
- International Workshop on Computer Aided Systems-Engineering (CASE).

4.9 Evaluación del alumno

Utilizando el modelo ideal de enseñanza propuesto en el apartado 4.3, cada grupo debería estar formado por cuatro o cinco alumnos. Los temas deberían ser propuestos por estos grupos y aceptados, modificados o rechazados por el profesor. Lo natural es que los trabajos de análisis de sistemas software salgan de los proyectos fin de carrera de los propios estudiantes.

La evaluación sería realizada por el profesor sobre la base de los trabajos realizados por los alumnos y con los datos recogidos durante las tutorías. El objeto último de la evaluación no debería ser tanto el resultado final al que el alumno ha llegado como el procedimiento que éste ha seguido. No considero necesario por tanto en este caso ningún tipo de examen final. No es tan importante para el aprendizaje de la Ingeniería de Sistemas el producto (en el sentido de conocimiento de una serie de técnicas) como el proceso que lleva a la comprensión de la problemática de los sistemas y a la interiorización del enfoque de sistemas.

Esta concepción de la evaluación pone por tanto menos énfasis en el conocimiento de todas las metodologías y herramientas que se presentarán en la clase que en la interiorización de una visión de sistemas.

Sin embargo, hemos mostrado las causas que hacen inviable este modelo de enseñanza y por tanto de evaluación. En las condiciones actuales sólo se puede pretender basar la evaluación en un examen final que permita entrever el grado de comprensión de los conceptos y el grado de adiestramiento adquirido por el alumno en la utilización de las metodologías expuestas en clase. Este examen tendría por tanto dos partes, una de comprensión (teórica, sin libros ni apuntes) y otra de aplicación (práctica, con utilización de todo tipo de material impreso).

4.10 Evaluación del curso

No creo preciso recalcar la necesidad y los beneficios de una evaluación, ya sea de este curso o de cualquier otro. Para esta evaluación, además de contar con el

juicio de los profesores que lo imparten y la evaluación del rendimiento académico de los alumnos, conviene utilizar métodos que pongan de manifiesto la valoración que los alumnos hacen de la asignatura y de la labor del profesorado. Para ésto se debe acudir a encuestas, especialmente cuando la masificación hace que el contacto con los alumnos no sea tan directo como sería aconsejable. Desgraciadamente todavía hay quien piensa que este tipo de actividades representan un sacrificio injustificable de un tiempo que debería dedicarse a incrementar el volumen o la profundidad de los contenidos impartidos.

La Jefatura de Estudios de la escuela ha tomado una elogiabile iniciativa en el curso 89/90 proponiendo un modelo de cuestionario con dos partes, una de evaluación de la asignatura y otra de evaluación del profesorado. Ambas son básicamente cuantitativas, solicitando que el alumno puntúe en una escala de 1 a 5 un total de 45 aspectos distintos. Además se deja espacio libre para que el profesor formule cuestiones específicas, así como para observaciones y sugerencias que el alumno desee expresar.

En la primera parte del cuestionario, relativa a la asignatura como tal, se incluyen preguntas relativas a aspectos como:

- Relación de la asignatura con el currículo.
- Contenido.
- Material de estudio y trabajo.
- Prácticas de laboratorio (si se realizan).
- Exámenes.
- Calificación global.

En la segunda parte, acerca del profesorado, se pide una valoración de:

- Cumplimiento de obligaciones.
- Dominio de la asignatura.
- Transmisión de conocimientos.
- Interacción con el grupo.
- Calificación global.

Ambas encuestas son claras, completas y están muy bien estructuradas, por lo que creo que resultan un excelente medio de evaluación. Sólo haré algunas consideraciones sobre las mismas. En primer lugar, con un cuestionario tan largo, los estudiantes tienden a no hacer ningún comentario adicional. Estos comentarios resultan a menudo más reveladores para el profesor que los asépticos cuestionarios cuantitativos, y proporcionan un medio cualitativo indispensable para una buena evaluación. En el pasado hemos formulado preguntas concretas tras la finalización de alguno de los bloques temáticos del curso a las que se solicitaba que los alumnos respondieran por escrito durante la clase. Así, el curso pasado se solicitó que respondieran a la siguiente cuestión:

“Explica tu valoración de la Dinámica de Sistemas dentro de tu formación como ingeniero de telecomunicación”

Además de ofrecer una valoración positiva o muy positiva en más de un 80% de los casos, resultado que afirmaba mi confianza en el potencial formativo de la metodología, las respuestas presentaban una gran variedad de matices que enriquecieron en gran medida mi comprensión de la percepción que los alumnos tenían del tema.

Una segunda consideración hace referencia a cuál es el momento idóneo para realizar las encuestas. En mi opinión, debe hacerse al menos una el último día lectivo del curso; nunca en el momento del examen, ya que los alumnos no se encuentran en la disposición de ánimo más adecuada. El mayor problema lo plantea la evaluación de los propios exámenes de la asignatura. Esta es una cuestión que el profesor debe plantearse tras la corrección de los mismos, así como una vez concluido el proceso de las revisiones personales.

Por último, aunque las encuestas son en general muy interesantes como herramientas de evaluación, siempre que sea posible debe fomentarse un diálogo directo sobre estos temas en la clase.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1 El nuevo plan de estudios

La propuesta de nuevas titulaciones, en trámite actualmente dentro del Consejo de Universidades, obligará a una renovación inmediata de los planes de estudios. Ya se empieza a hablar de reducciones de la duración del plan vigente, de la carga lectiva de los estudiantes y del número de asignaturas. Hay quienes, pensando en todo ésto y repasando el currículo actual, tienden a descartar aquellas materias que se resisten a calzar el estrecho zapato de lo que a veces se entiende por telecomunicación (o telemática). Ha sido uno de mis objetivos a lo largo de esta memoria mostrar las razones que, a mi juicio, justifican sobradamente la inclusión de la Ingeniería de Sistemas dentro del currículo de nuestra escuela; sobre todo en la especialidad de informática-transmisión (área III). El propósito de este capítulo es mostrar algunas tendencias generales en la enseñanza de la ingeniería que apoyan esta postura y justificar el modo en que la Ingeniería de Sistemas contribuye a la formación más integral de nuestros estudiantes.

5.2 Tendencias generales en los currículos de ingeniería

Una característica básica de la sociedad de la información (por contraposición a la sociedad industrial) reside en que los problemas a los que se enfrenta son extraordinariamente complejos, desbordando las fronteras establecidas entre disciplinas. En consecuencia, su solución requiere la cooperación de expertos en muy diversas áreas. Esta diferencia radical exige un nuevo enfoque de la enseñanza de la ingeniería.

Así, la National Academy of Engineering americana proponía hace unos pocos años una reestructuración radical de los currículos en ingeniería [CI NAE-85]. Las principales recomendaciones de este estudio eran:

1. Énfasis en una educación más amplia en los principios básicos de la ingeniería y abierta a las artes y profesiones liberales en el nivel de estudios de grado; posiblemente a través de programas dobles (un título en ingeniería y otro en un campo distinto).
2. Posponer la especialización en profundidad a los estudios de postgrado.
3. Reconocer la creciente necesidad de la educación continua en una sociedad caracterizada por rápidos cambios tecnológicos, ya sea a través de la empresa, programas universitarios o asociaciones profesionales.
4. El trabajo de los ingenieros tenderá a desarrollarse de forma creciente dentro de equipos interdisciplinarios, por lo que necesitarán una formación suficiente en las ciencias de los sistemas.

Postulados similares son defendidos por V. Ortega, actual director de esta escuela. Así, en dos recientes publicaciones [CI Ortega-88, CI Ortega-89] cita numerosos estudios nacionales e internacionales en el mismo sentido. Ortega apunta además la necesidad de completar la formación científico-técnica del ingeniero en dos ámbitos:

“El ámbito organizativo, el conocimiento de la actividad económica, industrial y laboral; es decir, el marco profesional donde se insertará el ingeniero.

El ámbito cultural, que comprende el conjunto de valores, creencias, ideas de creatividad y progreso que determinan el marco social de referencia del ingeniero.”

Por su parte, G. Klir recoge las recomendaciones precedentes y destaca la importancia de las ciencias de los sistemas y del modelado y simulación con ordenador, por encima de la ciencia reduccionista y del trabajo experimental. En cuanto al marco en que nos desenvolvemos. Klir opina [CI Klir-86]:

“... La sociedad de la información será un entorno completamente diferente de la sociedad industrial. Es de esperar que el aumento de conocimiento disponible, el nivel de complejidad y el grado de turbulencia sean significativamente mayores.”

5.3 La Ingeniería de Sistemas en el currículo de la ETSITM

Para terminar, tan sólo quisiera recordar algunas de las ideas ya expuestas y que justifican el lugar que la Ingeniería de Sistemas ocupa actualmente y debe seguir ocupando en el futuro currículo de la escuela:

- Es necesario educar a los futuros ingenieros en la adopción de puntos de vista globales e integradores sobre los problemas (sistemas) complejos a los que deberán hacer frente en su vida profesional.
- Las ideas de sistemas aportan una preparación muy valiosa para el trabajo dentro de equipos interdisciplinarios.
- Para una educación de este tipo no basta con enfrentar a los estudiantes a sistemas complejos dentro de disciplinas técnicas concretas del currículo.
- Las ideas de sistemas contribuyen a sensibilizar a los estudiantes hacia los problemas (técnicos o no) de la sociedad.
- Las ideas de sistemas son más abiertas, profundas y perdurables que los contenidos de la mayor parte de las restantes disciplinas (técnicas o no) del currículo, por lo que capacitan en mayor medida para mantener la competencia profesional por medio del aprendizaje a lo largo de la vida del ingeniero.

Apéndice A

Ingeniería de Sistemas. Resumen del curso

A.1 Contexto

Asignatura integrada en el Plan de Estudios 1964-M2 de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Madrid, impartida en el sexto curso con carácter obligatorio para los alumnos de la especialidad de Informática-transmisión (área III) y optativo para los demás.

Se trata de una asignatura cuatrimestral con cuatro horas semanales de clase. El número mínimo de horas lectivas puede estimarse en 50 para todo el curso.

El número de alumnos se ha multiplicado por cinco entre los cursos 85/86 y 89/90, habiendo alcanzado un máximo de 333 alumnos en el curso 89/90. Desde el curso 88/89 la matrícula está dividida en dos grupos.

A.2 Descripción

Este curso aborda el estudio de la *ingeniería de sistemas* considerada en un sentido amplio, como un conjunto de metodologías para la resolución de problemas mediante el análisis, diseño y gestión de sistemas.

Se presentan diversas herramientas conceptuales y aplicadas para abordar problemas complejos en ámbitos técnicos y no-técnicos. Se incluyen metodologías para el estudio de sistemas estructurados (Análisis Estructurado, en el ámbito de la ingeniería software) y no estructurados (Dinámica de Sistemas, metodología de Checkland y sistema viable de Beer).

A.3 Objetivos

El objetivo básico de la asignatura es fomentar en los estudiantes una actitud de sistemas hacia los complejos problemas/sistemas a los que deberá hacer frente en su ejercicio profesional.

Tras completar este curso, los estudiantes estarán en disposición de aplicar metodologías y utilizar estándares para la definición de requisitos software; serán capaces de estudiar sistemas socio-técnico-económico-ambientales mediante la construcción de modelos de Dinámica de Sistemas y comprenderán los conceptos más relevantes para el estudio de sistemas no estructurados.

A.4 Requisitos

No existen prerrequisitos ni correquisitos establecidos por el plan de estudios. Los conocimientos que se suponen en el estudiante son:

- Conocimiento de un lenguaje de programación de alto nivel, habiéndose enfrentado al desarrollo de algún programa de complejidad media (nivel de la asignatura de Programación, en segundo curso).
- Conocimiento elemental de modelos matemáticos de sistemas continuos (nivel de la asignatura de Sistemas Lineales, en tercer curso).
- Conocimiento elemental de métodos de integración numérica (nivel de Análisis Numérico, asignatura obligatoria en quinto curso).

A.5 Programa

Horas	Temas y subtemas (<i>Objetivo</i>)
4	<p>El enfoque de sistemas (<i>Comprensión</i>) Se presentan las ideas fundamentales en las que se basó el enfoque de sistemas, los tipos de problemas de sistemas y las metodologías más adecuadas para abordarlos.</p> <p>[ES Checkland-81], capítulos 1 a 5</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fundamentos del enfoque sistémico 2. Metodologías de sistemas

Horas Temas y subtemas (*Objetivo*)

16 **Análisis de sistemas software** (*Aplicación*)

Se introduce la problemática del análisis de sistemas software. Se presentan varios métodos de definición de requisitos, profundizando en el Análisis Estructurado. Se plantea la conveniencia de utilizar técnicas de especificación formal.

[IS Sommerville-89], capítulos 1 a 9 (páginas 1-173)

1. Ingeniería de Sistemas Software. Modelos de ciclo de vida
[IS Davis-88]
 2. Factores humanos en el desarrollo de sistemas software
 3. Requisitos software
[IS IEEE-84]
 4. Técnicas para la definición de requisitos
 5. Análisis Estructurado y sus variantes
[IS Svoboda-90]
 6. Métodos de especificación formal
-

16 **Dinámica de Sistemas** (*Síntesis*)

Se presenta la Dinámica de Sistemas como una metodología de Ingeniería de Sistemas aplicable a sistemas sociales, socio-técnicos, económicos o ecológicos.

[DS Aracil-86a], capítulos 1 a 5 (páginas 1-218)

1. Instrumentos de la Dinámica de Sistemas
 2. Estructuras elementales
 3. Construcción de modelos
 4. Métodos analíticos
-

Horas Temas y subtemas (*Objetivo*)

- 12 **Metodologías para sistemas no estructurados** (*Comprensión*)
 Se introduce la problemática particular de los sistemas no estructurados. Se presentan las metodologías de Checklánd y Beer.
1. Metodologías de sistemas blandos
 2. La metodología de Checkland
 [ES Checkland-81], capítulos 6-7 (páginas 149-242)
 3. El sistema viable de Beer
 [ES Beer-85]

A.6 Metodología

El curso consistirá básicamente tres tipos de actividades, todas ellas con orientación de gran grupo:

- Clases de motivación, en las que se procurará un importante grado de diálogo, y servirán para introducir los temas.
- Clases fundamentalmente expositivas, en las que el profesor presentará conceptos básicos, métodos y herramientas.
- Clases prácticas, con discusión de casos prototípicos. Sirven para demostrar la utilidad de las metodologías para resolver problemas reales.

A.7 Evaluación

Mediante examen de comprensión (teórico, sin libros ni apuntes) y de aplicación (práctico, con utilización de todo tipo de material impreso).

Referencias

La bibliografía está estructurada en las siguientes secciones:

- CI Currículos en ingeniería e informática
- DC Diseño curricular
- DS Dinámica de sistemas
- ES Enfoque de sistemas, ingeniería de sistemas
- IS Ingeniería de software

Las referencias a la bibliografía a lo largo del texto se identifican mediante los dos caracteres indicadores de la sección, seguidos del apellido del primer autor y las dos últimas cifras del año de publicación.

- [CI ACM-68] ACM Curriculum Committee on Computer Science. Curriculum 68: Recommendations for academic programs in computer science. *Communications of the ACM*, 11(3):151-197, 1968.
- [CI ACM-79] ACM Curriculum Committee on Computer Science. Curriculum 78: Recommendations for the undergraduate program in computer science. *Communications of the ACM*, 22(3):147-166, 1979.
- [CI ACM-81] ACM Curriculum Committee on Computer Science. Recommendations for master's level programs in computer science. *Communications of the ACM*, 24(3):115-123, 1981.
- [CI ACM-83] ACM Education Board. *ACM Curricula Recommendations for Information Systems*. ACM, 1983.

- [CI Ardis-89] Mark Ardis and Gary Ford. 1989 SEI report on graduate software engineering education. Technical Report CMU/SEI-89-TR-21, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1989.
- [CI Denning-89] Peter J. Denning. A debate on teaching computing science. *Communications of the ACM*, 32(12):1397-1414, 1989.
- [CI Dijkstra-89] Edsger W. Dijkstra. On the cruelty of really teaching computer science. *Communications of the ACM*, 32(12):1398-1404, 1989.
- [CI Fernández-81] Gregorio Fernández. *Memoria de Oposición (Plaza de Profesor Agregado de Universidad)*. E.T.S.I. Telecomunicación, Madrid, 1981.
- [CI ETSITM-90] E.T.S.I. Telecomunicación. *Plan de Estudios 1964-M2*. Departamento de Publicaciones de la E.T.S.I.T., Madrid, 1990.
- [CI Ford-90] Gary Ford. 1990 SEI report on undergraduate software engineering education. Technical Report CMU/SEI-90-TR-3, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1990.
- [CI IEEE-77] Education Committee of the IEEE Computer Society (Model Curriculum Subcommittee). *A Curriculum in Computer Science and Engineering*. IEEE Computer Society, 1977.
- [CI IEEE-83] Educational activities Board of the IEEE Computer Society (Model Program Committee). *The 1983 IEEE Computer Society Model Program in Computer Science and Engineering*. IEEE Computer Society, 1983.
- [CI Klir-86] George J. Klir. New demands and requirements for cross-disciplinary engineers. In A. Gertenfeld, editor, *Manufacturing Research: Organizational and Institutional Issues*. Elsevier, 1986.
- [CI Lorente-88] Santiago Lorente. Formación de los ingenieros en TTI y su rol social. *BIT*, 11(54):74-80, 1988.

- [CI NAE-85] National Academy of Engineering. *Engineering Education and Practice in the United States: Foundations of our Techno-Economic Future*. National Academy Press, Washington, D.C., 1985.
- [CI Ortega-88] Vicente Ortega. Nuevos planes de estudio. *BIT*, 11(54):45-49, 1988.
- [CI Ortega-89] Vicente Ortega. Algo más que ingenieros. *BIT*, 12(60):10-11, 1989. Lección inaugural del curso 1989/1990 de la Universidad Politécnica de Madrid.
- [CI Pérez-83] Jorge Pérez et al. El ingeniero de telecomunicación 1984. *BIT*, 6(43), 1983.
- [CI Pérez-88a] Jorge Pérez. Titulaciones y perfiles profesionales para las tecnologías de la información. *BIT*, 11(54):34-42, 1988.
- [CI Pérez-88b] Jorge Pérez et al. El ingeniero de telecomunicación 1989. *BIT*, 11(54), 1988.
- [CI Parnas-90] David L. Parnas. Education for computing professionals. *IEEE Computer*, 23(1):17-22, 1990.
- [CI Sáez-88] Fernando Sáez. *Memoria de Cátedra (Grupo XXVII Ordenadores Electrónicos)*. E.T.S.I. Telecomunicación, Madrid, 1988.
- [CI Sáez-90] Fernando Sáez. A complexity architecture for information technologies: A three year didactic experiment. *Systems Practice*, 3(1):81-96, 1990.
- [CI Snow-90] Blaine Snow. *Education in the Systems Sciences: An Annotated Guide to Education and Research Opportunities in the Sciences of Complexity*. The Elmwood Institute, 1990.
- [CI Torrealdea-87b] Javier Torrealdea. *Proyecto Docente (Plaza de Profesor Titular de Universidad)*. Facultad de Informática de San Sebastián, Universidad del País Vasco, San Sebastián, 1987.

- [CI Toro-88] Miguel Toro. *Proyecto Docente (Plaza de Profesor Titular de Escuela Universitaria)*. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela Universitaria Politécnica, Universidad de Sevilla, Sevilla, 1988.
- [CI Viña-88] Angel Viña. *Proyecto Docente (Plaza de Profesor Titular de Universidad)*. Departamento de Ingeniería Telemática, E.T.S.I. Telecomunicación, Madrid, 1988.
- [DC Bloom-56] B. Bloom. *Taxonomy of Educational Objectives: Handbook I: Cognitive Domain*. David McKay, New York, 1956.
- [DC Císcar-87] Concepción Císcar and María E. Uría. *Un Enfoque Sistémico del proceso didáctico*. NAU llibres, Valencia, 1987.
- [DC Hernández-89] Pedro Hernández. El proyecto docente del profesor universitario. In P. Hernández, editor, *Diseñar y Enseñar: Teoría y Técnicas de la Programación y del Proyecto Docente*, páginas 301-326. Narcea, Madrid, 1989.
- [DC Miller-81] Allen H. Miller. *Course Design for University Lecturers*. Kogan Page, London, 1981.
- [DS Abdel-Hamik-89b] Tarek K. Abdel-Hamid. The dynamics of software project staffing: A system dynamics based simulation approach. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 15(2):109-119, 1989.
- [DS Aracil-86a] J. Aracil. *Introducción a la Dinámica de Sistemas*. Alianza, Madrid, 3rd edition, 1986.
- [DS Forrester-61] J.W. Forrester. *Industrial Dynamics*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1961.
- [DS Forrester-68] J.W. Forrester. *Principles of Systems*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1968.
- [DS Forrester-69] J.W. Forrester. *Urban Dynamics*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1969.

- [DS Forrester-71] J.W. Forrester. *World Dynamics*. Wright-Allen Press, 1971.
- [DS González-85] J.C. González and G. Fernández. AMDS: Sistema programado en microordenador para ayuda a la elaboración de modelos de dinámica de sistemas. In *Actas del VI Congreso de Inform'atica y Autom'atica*, Madrid, páginas 325-328, 1985.
- [DS González-86] J.C. González and G. Fernández. EASDM: An expert aid for system dynamics modelling. In J. Aracil, J.A.D. Machuca, and M. Karsky, editors, *Proceedings of the 1986 International Conference of the System Dynamics Society*, páginas 1019-1028, 1986.
- [DS Meadows-71] D.L. Meadows. Dynamic systems modelling. In *International Seminar on Trends in Mathematical Modelling*, páginas 60-77. Springer-Verlag, 1971.
- [DS Meadows-73] D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers, and W.W. Behrens. *The Limits to Growth*. Universe Books, New York, 1973. (Traducido al español: *Los Límites del Crecimiento*, Fondo de Cultura Económica, 1973).
- [DS Mesarovic-74] M. Mesarovic and E. Pestel. *Mankind at the Turning Point. The Second Report to The Club of Rome*. Universe Books, 1974. (Traducido al español: *La Humanidad en la Encrucijada. Segundo Informe al Club de Roma*, Fondo de Cultura Económica, 1975).
- [DS Martínez-86a] S. Martínez and A. Requena. *Dinámica de Sistemas 1. Simulación por Ordenador*. Alianza, Madrid, 1986.
- [DS Martínez-86b] S. Martínez and A. Requena. *Dinámica de Sistemas 2. Modelos*. Alianza, Madrid, 1986.
- [DS Roberts-83] N. Roberts, R. Adersen. D. ands Deal, M. Garet, and W. Shaffer. *Introduction to Computer Simulation*. Addison-Wesley, 1983.
- [DS Toro-87a] Miguel Toro. *Análisis Cualitativo y Caos en Dinámica de Sistemas*. PhD thesis, E.T.S. Ingenieros Industriales de Sevilla, 1987.

- [ES Aracil-86b] J. Aracil. *Máquinas, Sistemas y Modelos. Un Ensayo sobre Sistémica*. Tecnos, Madrid, 1986.
- [ES Ashby-56] Ross W. Ashby. *An Introduction to Cybernetics*. Chapman and Hall, Londres, 1956. (Traducido al español: "Introducción a la Cibernética"; Nueva Visión, Buenos Aires, 1976).
- [ES Beer-79] Stafford Beer. *The Heart of Enterprise*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1979.
- [ES Beer-81] Stafford Beer. *Brain of the Firm*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 2nd edition, 1981.
- [ES Beer-85] Stafford Beer. *Diagnosing the System for Organizations*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1985.
- [ES Bertalanffy-50] L. von Bertalanffy. An outline of general system theory. *British Journal of Philosophy of Science*, 1:139-164, 1950.
- [ES Bertalanffy-68] L. von Bertalanffy. *General Systems Theory. Essays on its Foundation and Development*. Braziller, New York, 1968. (Traducido al español: "Teoría General de los Sistemas", Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1976).
- [ES Bunge-79] Mario Bunge. *A World of Systems*. Reidel, 1979.
- [ES Chambers-85] G.J. Chambers. What is a systems engineer? *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, 15(4):517-521, July 1985.
- [ES Checkland-79] Peter Checkland. Techniques in soft systems practice. *Journal of Applied Systems Analysis*, 6, 1979.
- [ES Checkland-81] Peter Checkland. *Systems Thinking, Systems Practice*. John Wiley. Chichester, U.K., 1981.
- [ES Fernández-80] Gregorio Fernández. *Modelos Matemáticos y de simulación para Sistemas Continuos*. E.T.S.I. Telecomunicación, Madrid, 1980.

- [ES Gharajedaghi-85] J. Gharajedaghi and R.L. Ackoff. Toward systemic education of systems scientists. *Systems Research*, 2(1):21-27, 1985.
- [ES Hall-62] A.D. Hall. *A Methodology for Systems Engineering*. Van Nostrand, Princeton, N.J., 1962.
- [ES Hall-89] Arthur D. Hall. *Metasystems Methodology. A New Synthesis and Unification*. Pergamon Press, 1989.
- [ES IEEE-83] IEEE. *IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms*. Wiley, 1983.
- [ES Klir-69] George J. Klir. *An Approach to General Systems Theory*. Van Nostrand, New York, 1969.
- [ES Leitch-87] R.R. Leitch. Modelling of complex dynamic systems. *IEE Proceedings*, 134, Pt. D(4):245-250, July 1987.
- [ES Morin-77] Edgar Morin. *La Methode I. La nature de la Nature*. Editions du Seuil, Paris, 1977. (Traducido al español: "El Método. La naturaleza de la Naturaleza", Cátedra, Madrid, 1981).
- [ES M'Pherson-86] P.K. M'Pherson. Systems engineering: a proposed definition. *IEE Proceedings*, 133, Pt. A(6):330-331, September 1986.
- [ES Pagels-89] Heinz R. Pagels. *The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity*. Bantam Books, New York, 1989.
- [ES Prigogine-79] I. Prigogine. *La Nouvelle Alliance*. Gallimard, Paris, 1979.
- [ES Rosnay-75] Joel de Rosnay. *Le Macroscopie: vers une Vision Globale*. Editions du Seuil, Paris, 1975. (Traducido al español por F. Sáez Vacas: "El Macroscopio: hacia una Visión Global", AC, Madrid, 1977).
- [ES Thom-75] R.Thom. *Structural Stability and Morphogenesis*. Benjamin Cummings, 1975.

- [ES Sage-77] A.P. Sage. *Methodology for Large-Scale Systems*. McGraw-Hill, 1977.
- [ES Shannon-49] C.E. Shannon and W. Weaver. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, Ill., 1949.
- [ES Wiener-48] Norbert Wiener. *Cybernetics*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1948.
- [ES Wymore-76] A.W. Wymore. *Systems Engineering Methodology for Interdisciplinary Teams*. Wiley, New York, 1976.
- [IS Agresti-86] William W. Agresti. What are the new paradigms? In William W. Agresti, editor, *New Paradigms for Software Development*. IEEE Computer Society Press, 1986.
- [IS Berztiss-89] Alfs Berztiss. Formal specification of software. Curriculum Module SEI-CM-8-1.0, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pa., 1989.
- [IS Boehm-84] B.W. Boehm, T.E. Gray, and T. Seewaldt. Prototyping versus specifying: A multiproject experiment. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 10(3):290-302, 1984.
- [IS Boehm-84] Barry W. Boehm. Verifying and validating software requirements and design specifications. *IEEE Software*, 1(1):75-88, 1984.
- [IS Boehm-86] Barry W. Boehm. A spiral model of software development and enhancement. *ACM Software Engineering Notes*, 11(4):14-24, 1986. (Reimpreso en *Computer*, vol. 21, no. 5, pp. 61-72, 1988.
- [IS Brackett-90] John W. Brackett. Software requirements. Curriculum Module SEI-CM-19-1.2, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pa., 1990.
- [IS Cohen-86] B. Cohen, W.T. Harwood, and M.I. Jackson. *The Specification of Complex Systems*. Addison Wesley, 1986.

- [IS Davis-88] A.M. Davis, E.H. Bersoff, and E.R. Comer. A strategy for comparing alternative software development life cycle models. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 14(10):1453-1461, 1988.
- [IS Davis-90] Alan M. Davis. The analysis and specification of systems and software requirements. In R.H. Thayer and M. Mir Dorfman, editors, *System and Software Requirements Engineering*. IEEE Computer Society Press, 1990.
- [IS Hatley-87] D.J. Hatley and I.A. Pirbhai. *Strategies for Real-Time System Specification*. Dorset House, 1987.
- [IS Hirschheim-88] Rudy Hirschheim and Gunter Schafer. Requirements analysis: A new look at an old topic. *Journal of Applied Systems Analysis*, 15:101-118, April 1988.
- [IS IEEE-84] Institute of Electrical and Electronics Engineers. *IEEE Guide to Software Requirements, ANSI/IEEE Std 830-1984*, 1984.
- [IS Morgan-84] C. Morgan and B. Sufrin. Specification of the UNIX filing system. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 10(2):128-142, 1984.
- [IS Norman-86] Donald A. Norman and Stephen W. Draper, editors. *User Centered System Design. New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- [IS Pressman-87] R.S. Pressman. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill, 2nd edition, 1987.
- [IS Partsh-83] H. Partsch and R. Steinbruggen. Program transformation systems. *Computing Surveys*, 15(3):199-236, 1983.
- [IS Rombach-90] H. Dieter Rombach. Software specifications: A framework. Curriculum Module SEI-CM-11-2.1, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pa., 1990.

- [IS Scacchi-89] W. Scacchi. Models of software evolution: Life cycle and process. Curriculum Module SEI-CM-10-1.0, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pa., 1989.
- [IS Shaw-85] Mary Shaw, editor. *The Carnegie-Mellon Curriculum for Undergraduate Computer Science*. Springer-Verlag, New York, 1985.
- [IS Sommerville-89] Ian Sommerville. *Software Engineering*. Addison Wesley, 3rd edition, 1989.
- [IS Svoboda-90] Cyril P. Svoboda. Structured analysis. In Richard H. Thayer and Merlin Dorfman, editors, *System and Software Requirements Engineering*. IEEE Computer Society Press, 1990.
- [IS Ward-85] P.T. Ward and S.J. Mellor. *Structured Development for Real-Time Systems*. Yourdon Press, 1985.
- [IS Yourdon-89] E. Yourdon. *Modern Structured Analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1989.
- [IS Zave-84] Pamela Zave. The operational versus the conventional approach to software development. *Communications of the ACM*, 27(2):104-118, 1984.