

UNIVERSITAT D'ALACANT
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

DPNT DE TECNOLOGIA INFORMÀTICA I COMPUTACIÓ
DPTO DE TECNOLOGÍA INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN

Panorámica de la arquitectura de computadores

Conferencia de fin de carrera dictada a los estudiantes de Ingeniería Informática de la Universidad de Murcia en abril de 2006.

Es tan evidente que a cada prodigio computacional va a sucederle otro aún más impresionante que, a veces, es difícil disimular un poco de desconcierto. ¿O es que hay alguna manera de abordar esto de fabricar computadores razonablemente?

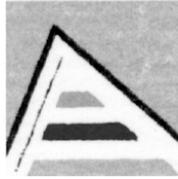
La dicotomía clásica: Los ingenios industriales más complejos que era capaz de producir el ingenio humano en la sofisticada antigüedad griega eran las grandes edificaciones. Quien estaba capacitado para concebir los edificios y dirigir las obras necesarias para su construcción era el jefe (gr.: arkhos) de los obreros (gr.: tektôn). El arquitecto, que es el término en castellano, es, pues, la persona que ejerce la arquitectura y ésta es el arte de proyectar y construir edificios; siempre en el bien entendido de que edificios eran los ingenios que se construían en esa época por equipos humanos dirigidos por un profesional. El término arquitectura se utiliza también para referirse a estructura y a forma. Admitiendo que el devenir del tiempo ha traído consigo el desarrollo y el florecimiento de muchas otras industrias y los correspondientes ingenios industriales, es inmediato generalizar la idea de arquitectura a la proyección y construcción de ingenios.

Los griegos destacaron en filosofía: prevalece el individuo.
Los romanos fueron grandes militares: prevalece el objeto.

No hay, pues, dificultad en aceptar que arquitectura de computadores se refiere al arte de proyectar y construir computadores.

En la lengua de los romanos, se denotaba como ingenio (lat.: ingenium) tanto la facultad de discurrir e inventar como la máquina o el artificio mecánico. Ingeniero es quien conduce y dirige, por medio de las matemáticas aplicadas, obras como la construcción de máquinas y otras. Ingeniería es, por tanto, el arte de aplicar los conocimientos científicos a la invención, perfeccionamiento y utilización de la técnica industrial en todas sus determinaciones.

No hay, pues, dificultad en aceptar que ingeniería de computadores se refiere al arte de proyectar y construir computadores.



Panorámica de la arquitectura de computadores (2)

Este enfoque desde el punto de vista de la etimología arroja pocos argumentos en pro de que prevalezca la terminología de lo ingenieril o la de lo arquitectural. Más bien, sugiere que las expresiones ‘arquitectura de computadores’ e ‘ingeniería de computadores’ son totalmente intercambiables y que cabe considerarlas estrictamente equivalentes. A falta de argumentos de mayor solvencia, adquiere toda la naturalidad mantener la nomenclatura que tradicionalmente ha venido utilizándose: Seguimos a la griega, dando prevalencia al profesional sobre el ingenio.

La idea de tupla arquitectural pone en su sitio los aspectos de tecnología, organización y funcionalidad de la arquitectura de los computadores.

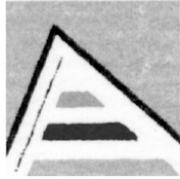
Hecha la disquisición etimológica, procede entrar en materia lo que, tratándose de un cuerpo de conocimiento, consiste en delimitar su ámbito y sus procedimientos. Si tomáramos como ejemplo la arquitectura culinaria, vendría a ser algo así como determinar qué corresponde a la cocina (utensilios, ingredientes, etc.) y cuáles son las técnicas para hacer comida (asar, presentar un plato, etc.). La idea de ‘arquitectura del computador’ puede enunciarse coloquialmente como ‘**ingeniárselas para satisfacer los objetivos de operatividad** de los computadores’. Como se trata de poner en juego ingenio para hacer algo que funcione, lo que hay que hacer es contestarse a las consabidas preguntas del ‘para hacer’; esto es, ‘para qué’ hacer computadores, ‘con qué’ hacerlos y ‘cómo’ hacerlos. He ahí un hilo argumental sencillito de seguir para llegar a una elegante definición formal de la arquitectura del computador; la cual, queda establecida como lo que podríamos llamar la tupla arquitectural: **<con qué, para qué, cómo>** y que incorpora implícitamente **los aspectos de ‘tecnología’, ‘organización’ y ‘funcionalidad’ del computador:**

- La respuesta a ‘con qué (fabricar los computadores)’ determina la tecnología a utilizar y, por tanto, conlleva las decisiones de diseño del nivel de concreción más fino: componentes, partes, sistemas, etc.
- La respuesta a ‘cómo (hacer)’ abarca los aspectos de estructura y organización; lo que en términos de diseño viene a corresponder a las decisiones intermedias de diseño del computador: modularización, relación entre las partes, etc.
- Responder a ‘para qué (se quiere)’ establece los aspectos funcionales, los de las prestaciones del computador. Obviamente, es el nivel más global de las decisiones de diseño y, como tal, corresponde esencialmente a establecer los requerimientos y a realizar la especificación.

Lo cuantitativo aparece como una clasificación de las magnitudes en las ramas de la arquitectura de los computadores: funcionalidad, organización, tecnología.

Una vez ha quedado establecido que la tupla arquitectural proporciona estructuración interna a la naturaleza de la arquitectura del computador en tecnología, organización y funcionalidad, por dar un poco más de panorámica sobre la potencia expresiva de la propia tupla arquitectural, al pasar al nivel de la cuantificación se esclarece la clasificación de las magnitudes arquitecturales. Así:

- **Productividad, QoS, rendimiento, coste, rentabilidad, etc.** son **medidas del ámbito del ‘para qué’**. En efecto, son los parámetros de valoración de las prestaciones de los computadores.



Panorámica de la arquitectura de computadores (3)

- Portabilidad, **escalabilidad**, **autonomía**, **modularidad**, configurabilidad, reutilizabilidad, **etc.** son medidas que corresponden al dominio del 'cómo'. No en vano, son las magnitudes de la organización de los computadores.
- **Componentes** electrónicos, **circuitos**, programas informáticos, **sistemas**, **etc.** son medidas del mundo de la tecnología de los computadores; o lo que es lo mismo, del 'con qué'.

La ordenación de la tupla arquitectural está relacionada con los aspectos del diseño de los computadores

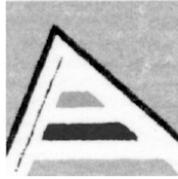
Por su parte, la ordenación de la tupla es el factor que determina los efectos cualitativos de caracterización metodológica del diseño de los computadores:

- a. Para qué Z cómo Z con qué. Es la secuencia de acción que corresponde a la metodología de diseño 'de arriba hacia abajo'. Especificado lo que se quiere, decidir sobre la organización y la estructura para, finalmente, determinar los componentes.
- b. Para qué Z con qué Z cómo: Da lugar a la tipología en que primero se establecen los componentes y, a continuación se relacionan entre ellos; esto es, el consabido método 'de abajo hacia arriba'.

Si no se empieza por el 'para que' el resultado puede ir desde la más pura creación artística hasta la más solemne estupidez pasando, probablemente, por ejercicios de adiestramiento que requieren gran esfuerzo y son paupérrimos en rendimiento. Es la consecuencia de la falta de objetivo claro inicial.

- c. Cómo Z para qué Z con qué: El caso del que, sabiendo hacer cosas de una manera, obtendrá determinados resultados según qué componentes utilice. Podría ser la situación de tratar de hacer computadores electrónicos utilizando técnicas de fontanero.
- d. Cómo Z con qué Z para qué: El resultado, si lo hay, dependerá de la compatibilidad de los componentes con la estructura.
- e. Con qué Z para qué Z cómo: Bricolaje del de utilizar los componentes restantes para hacer lo que se pueda. Seguramente dará lugar a objetos superfluos.
- f. Con qué Z cómo Z para qué: Hacer lo que salga con lo que hay disponible. Probablemente, más que un computador, resulte una escultura de dudoso gusto o un montón de componentes mal conectados.

El ejercicio de caracterizar dentro de los seis casos anteriores algunos actos de docencia (prácticas descontextualizadas de laboratorio, problemas en exámenes, etc.) de los que, a veces, hace uso la academia puede ser ilustrativo de que lo correcto es iniciar la intervención ingenieril contemplando los aspectos arquitecturales de funcionalidad: Es mucho más



pedagógico argumentar previamente 'para qué' a fin de potenciar la actitud del discente.

El diseño intuitivo consiste en para qué Z con qué Z cómo
El método de diseño universal es para qué Z cómo Z con qué

Nótese que, mientras que los casos a y b son, respectivamente, los métodos analítico y sintético; los casos c y d podríamos calificarlos como de análisis burdo (y entre ellos, más burdo d que c). Los casos e y f son, por su parte, burdos pero de naturaleza sintética (otra vez más burdo el caso que contempla el 'para qué' en última instancia). Que convenga recurrir a técnica analítica o sintética de diseño de los computadores o de sus partes es una cuestión que está muy clara desde el momento en que cada una de las técnicas pone en juego características radicalmente diferentes:

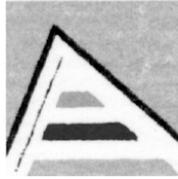
- El método 'de abajo hacia arriba' tiene complejidad creciente con la talla del problema en la fase del 'cómo'. Por esa razón, las técnicas de síntesis no son escalables y su ámbito de aplicación queda limitado a lo que la capacidad intelectual de un individuo aislado es capaz de concebir. En cambio, como requiere poco esfuerzo de abstracción, es de aplicación esencialmente intuitiva. La conclusión es que se adecua especialmente a problemas pequeños y a subproblemas.
- El diseño 'de arriba hacia abajo' no es otra cosa que la particularización del método científico para la producción de ingenios (caso particular de producción de conocimiento). Por esa razón es universal y su complejidad independiente de la talla del problema pero, a cambio, como se basa en la concepción de modelos, requiere mayor abstracción para resolver problemas más complejos.

El enunciado pide que se sigan los pasos del diseño de arriba hacia abajo

Un ejemplo puede clarificar la elegancia sistemática de la técnica de diseño 'de arriba hacia abajo':

El acceso a algunas instalaciones consiste en un sistema de doble compuerta con cámara intermedia cuya operativa garantiza la unidireccionalidad de flujo en cada instante; esto es, el acceso opera para entrar o para salir en un momento dado e impide ambos modos al mismo tiempo.

1. Establecer los requerimientos de estas instalaciones.
 - a. Poner al menos cuatro ejemplos de aplicación realista de estos sistemas.
 - b. A la luz de los ejemplos del apartado anterior, describir en lenguaje natural un modelo que los englobe.
2. Especificar el modelo.
 - a. Describir formalmente el sistema de control.
3. Diseñar la solución.



- a. Tomar decisiones sobre la tecnología a utilizar, la metodología de diseño y la planificación de las acciones.
- b. Realizar el diseño.
4. Validar los resultados.
 - a. Comprobar la corrección de la solución formalmente o, en su defecto, experimentalmente.
 - b. Corregir y refinar la solución.

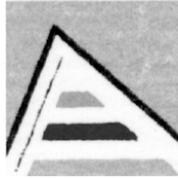
Solución

Lo primero que se aborda es el 'para qué'

1. Establecer los requerimientos de estas instalaciones.
 - a. Poner al menos cuatro ejemplos de aplicación realista de estos sistemas. Buscar ejemplos similares ayuda a clarificar los aspectos que caracterizan al problema que se trata de resolver. Incluso, considerar casos que sean contraejemplos puede ser de mucha utilidad a tal fin. Por cuestiones de genericidad, conviene que los ejemplos procedan de áreas diversas:
 - Puerta doble de seguridad de acceso a oficinas bancarias.
 - Muelle de trasiego de reses y otras especies del sector ganadero.
 - Eclusas de compensación de diferencias de nivel marino.
 - Reserva de un canal de conexión punto a punto; por ejemplo, entre un computador personal y un servidor.
 - El corazón de los mamíferos.
 - b. A la luz de los ejemplos del apartado anterior, describir en lenguaje natural un modelo que los englobe. Podría plantearse una descripción como la siguiente: Recinto de dos puertas accionadas por pulsadores de manera que puede estar abierta una puerta o la otra pero no ambas simultáneamente. Al hacer referencia a la estructura o a la tecnología (pulsadores) se toman decisiones prematuras de diseño. Es preferible describir en términos de funcionalidad; es decir, en el sentido más amplio de arquitectura: Control de acceso que puede utilizarse concurrentemente por varias entidades en su modo 'entrar' o en su modo 'salir' y de manera mutuamente excluyente entre ambos modos.

La concreción rigurosa del 'para qué' se solapa con el 'cómo' que va implícito en el instrumento de formalización

2. Especificar el modelo.
 - a. Describir formalmente el sistema de control. Conviene utilizar el máximo rigor siempre que ello sea de ayuda. En este caso, podría



llegarse a obtener una expresión algebraica o quedarse en un cronograma e incluso utilizar pseudocódigo. Un grafo es una potente herramienta formal de especificación.

- Estados:
 - Disponible: El sistema no está siendo utilizado ni se han iniciado las gestiones para su reserva de uso.
 - Entrando: Se extiende desde que una entidad inicia la gestión de reserva del recurso para utilizarlo en modo 'entrar' hasta que franquea la compuerta interior y lo deja disponible.
 - Saliendo: Se extiende desde que una entidad inicia la gestión de reserva del recurso para utilizarlo en modo 'salir' hasta que franquea la compuerta exterior y lo deja disponible.

- Entradas:

- Accionador puerta exterior: x_e
- Accionador puerta interior: x_i

$$x_j = \begin{cases} 0, nada \\ 1, accionar \end{cases} \forall j \in \{e, i\}$$

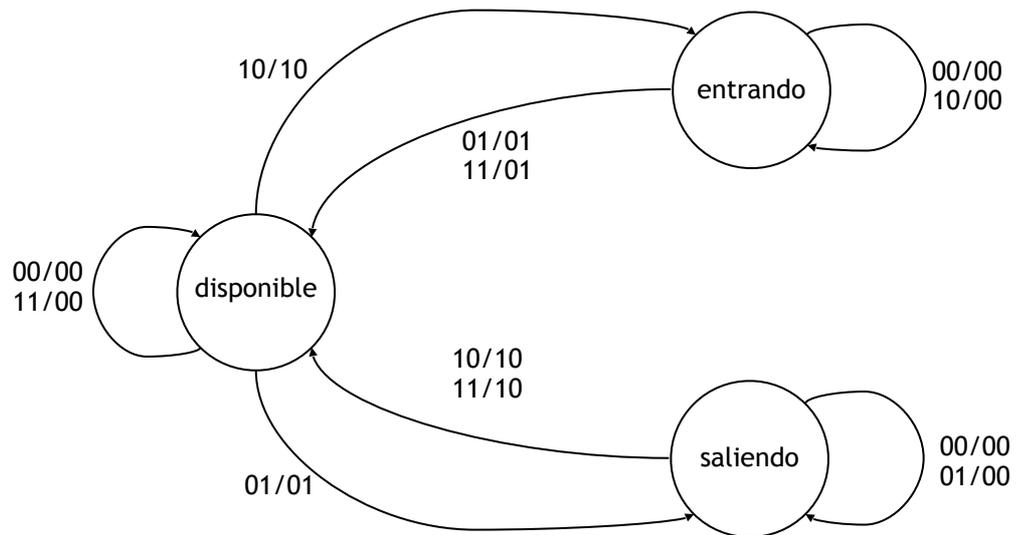
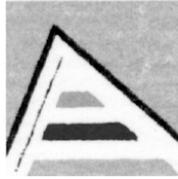
- Salidas. A efectos de control, puede tomarse como salida la posición de las puertas:

- Posición puerta exterior: y_e
- Posición puerta interior: y_i

$$y_j = \begin{cases} 0, cerrada \\ 1, abierta \end{cases} \forall j \in \{e, i\}$$

- El autómata:

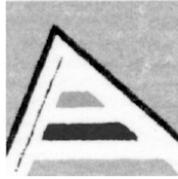
Finalmente, el 'con qué' proporciona la tercera pata arquitectural y abre la vía para poder realizar el diseño propiamente dicho.



Etiquetas: $x_e x_i / y_e y_i$

- a. Tomar decisiones sobre la tecnología a utilizar, la metodología de diseño y la planificación de las tareas.
 - Tecnología: Podría optarse por tecnología software pero el interés, en este caso, es que la tecnología sea electrónica digital.
 - Como es un circuito secuencial, se ha optado por diseño de Mealy.
 - Por la sencillez del problema, la planificación de las tareas es inmediata: resolver en una sola sesión de trabajo.
- b. Realizar el diseño.
 - Asignar símbolos y códigos a los estados y escribir las tablas de transición:

<i>nombre</i>	<i>símbolo</i>	$\frac{x_e x_i}{q_1 q_0}$	00	01	11	10
<i>disponible</i>	<i>A</i>	00	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
<i>entrando</i>	<i>B</i>	01	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
<i>saliendo</i>	<i>C</i>	11	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
		10	-	-	-	-



<i>nombre</i>	<i>símbolo</i>	$\frac{x_e x_i}{q_1 q_0}$	00	01	11	10
<i>disponible</i>	<i>A</i>	00	00	11	00	01
<i>entrando</i>	<i>B</i>	01	01	00	00	01
<i>saliendo</i>	<i>C</i>	11	11	11	00	00
		10	-	-	-	-

- Escribir las tablas de salida $y_e y_i$:

<i>nombre</i>	<i>símbolo</i>	$\frac{x_e x_i}{q_1 q_0}$	00	01	11	10
<i>disponible</i>	<i>A</i>	00	00	01	00	10
<i>entrando</i>	<i>B</i>	01	00	01	01	00
<i>saliendo</i>	<i>C</i>	11	00	00	10	10
		10	-	-	-	-

- Decidir el tipo de biestable a utilizar; por ejemplo, tipo T. En ese caso, las tablas de excitación de los biestables son $T_1 T_0$:

$\frac{x_e x_i}{q_1 q_0}$	00	01	11	10
00	00	11	00	01
01	00	01	01	00
11	00	00	11	11
10	-	-	-	-

- Las funciones de excitación de los biestables son:

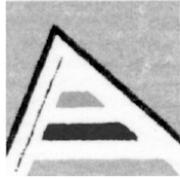
$$T_1 = q_1 x_e + \overline{q_0 x_e x_i}$$

$$T_0 = \overline{q_1 x_e x_i} + q_0 x_e x_i + q_1 q_0 x_e + \overline{q_0 x_e x_i}$$

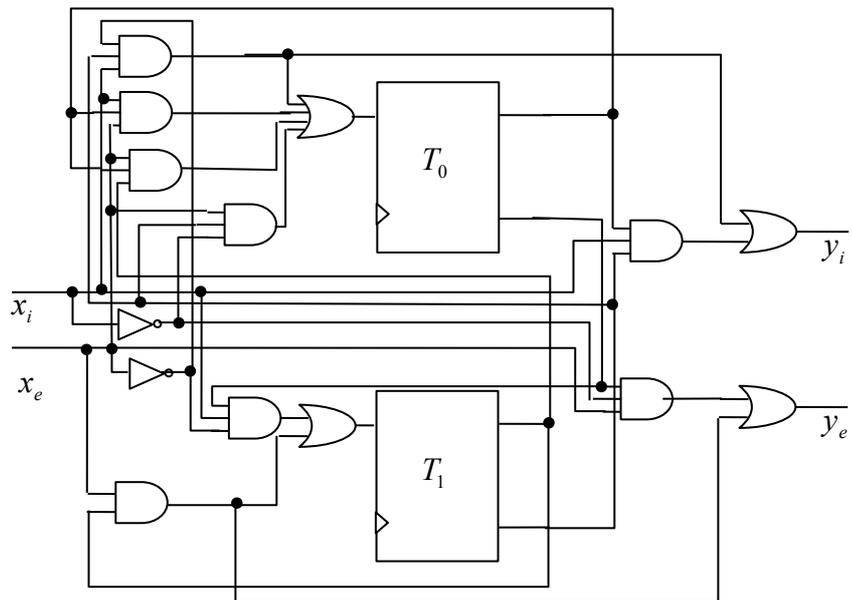
- Las funciones de salida son:

$$y_e = q_1 x_e + \overline{q_0 x_e x_i}$$

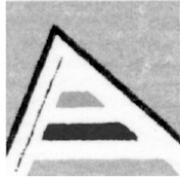
$$y_i = \overline{q_1 x_e x_i} + \overline{q_1 q_0 x_i}$$



- El circuito es:



4. Validar los resultados.



- a. Comprobar la corrección de la solución formalmente o, en su defecto, experimentalmente. Lo más inmediato es comprobar exhaustivamente que el funcionamiento del circuito es correcto para todas las posibles situaciones. Se considera trivial y se deja para que lo realice el lector.
- b. Corregir y refinar la solución. Se propone una discusión al respecto partiendo, por ejemplo, de la asignación de valores a los estados del autómata.

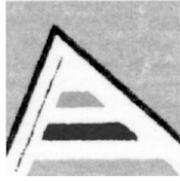
Conviene caer en la cuenta sobre la consideración que se hace en el apartado 3.a en cuanto a utilizar tecnología software o tecnología electrónica digital de manera totalmente subsumida en el acto arquitectural. Se deshace así el malentendido que, en ocasiones ha ocurrido de considerar lo arquitectural restringido al ámbito del hardware.

Lo material importa. Retomando la afirmación de que la técnica de diseño de arriba hacia abajo es la expresión del método científico, procede referirse al conocimiento en su sentido general. Tradicionalmente se ha considerado que la generación de conocimiento constituye un fin en sí mismo. La generación de conocimiento se completa con la convicción de verdad, lo cual puede discurrir por diferentes vías que participan en diferente medida de las formas canónicas:

- Asunción previa. La convicción de verdad ocurre a priori, ya sea por la experiencia o sin necesitarse evidencias que corroboren la naturaleza de verdad. El proceso de generación del conocimiento se concreta en el acto de fe y su estructura es la inspiración y el establecimiento del dogma. Pertenecen a este ámbito de generación de conocimiento las fantasías y las religiones.

*Ciencia:
Genera conocimiento
verdadero.
Utiliza el formalismo
matemático y en la lógica de
enunciados.*

- Método científico. El proceso de la investigación se inicia en la proposición de una hipótesis que tiene naturaleza de conjetura. Las conclusiones que produce la aplicación del método científico a partir de las conjeturas iniciales constituyen verdades con dominio de validez inscrito en el ámbito del universo de discurso del problema objeto de la investigación: las hipótesis generan tesis. Pertenecen a este ámbito de generación de conocimiento las teorías y los modelos. Las fases del proceso de convicción de verdad son:
 - Formular rigurosamente la hipótesis.
 - Proponer formalmente la tesis.
 - Demostrar cuantitativamente la corrección.
- En general, el proceso de generación de conocimiento es híbrido, de manera que las ciencias establecen un conjunto mínimo de postulados (acción de fe) y elaboran el resto del conocimiento mediante la obtención de teoremas.



*Tecnociencia:
Genera conocimiento
representacional y métodos
eficientes de transformación de
la realidad.
Lo útil adquiere la misma
relevancia que la verdad.
Las acciones son tecnológicas e
industriales.
Utiliza tanto la razón pura
como la razón práctica y basa
su desarrollo en el formalismo
informático.*

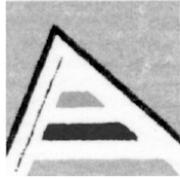
La deriva epistemológica de los últimos años está provocando una revisión del objetivo ensimismado de la generación de conocimiento y evolucionando hacia un fin utilitario que proporciona sentido práctico a la producción de conocimiento, sobre todo el de tipo tecnológico, al tiempo que lo mantiene dentro del rigor científico. Es lo que se está llamando tecnociencia (el hecho de conocer pero también la utilidad son justificaciones válidas para la generación de conocimiento. Bajo este enfoque, los métodos canónicos de generación de conocimiento evolucionan a los modelos de producción; esto es, de diseño:

- Creación artística. Es el diseño no estructurado, esencialmente consistente en procesos de síntesis. Consta de las fases de inspiración y realización. En su forma genuina, produce obras de arte.
- Diseño tecnológico. Es la versión tecnocientífica del método científico. Las fases del proceso de convicción de verdad evolucionan de la siguiente forma:
 - Formular rigurosamente la hipótesis Z Especificar.
 - Proponer formalmente la tesis Z Concebir.
 - Demostrar cuantitativamente la corrección Z Realizar.

Por esa razón, al diseño tecnológico se le llama también diseño estructurado. Obsérvese que, en efecto, se trata del método de diseño analítico.

- En la práctica, el diseño es híbrido, de manera que se superponen la creación artística y el diseño estructurado. El resultado que se produce es:
 - Artístico. Predominio de la creación sobre el diseño estructurado.
 - Técnico. Predominio del diseño estructurado sobre la creación artística.

Finalmente, una vez que la equivalencia entre los conceptos de arquitectura de los computadores y ingeniería de los computadores ha sido razonablemente justificada, el ámbito de la primera, forzosamente, tiene que ser coincidente con el de la segunda. Abarca, pues, las redes de computadores, los computadores aislados y los sistemas, módulos y elementos que los integran. Ello, con independencia de cuál sea la tecnología de implementación (hardware electrónico digital o software, en la actualidad). Son objeto, pues, de la arquitectura de los computadores: **microprocesadores, computadores, redes, sistemas operativos, middleware, aplicaciones de usuario; de diferentes tamaños, de propósito**



Panorámica de la arquitectura de computadores (12)

general y especializados, convencionales y nuevas tendencias (sistemas industriales, de visión, entornos inteligentes, etc.), etc.

Juan Manuel García Chamizo

L'Altet, marzo de 2006