

CAPÍTULO V. ARQUITECTURA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

Comúnmente se asocia a la programación con el desarrollo de aplicaciones informáticas que serán ejecutadas *sobre* el sistema operativo. Sin embargo, tanto el sistema operativo como los programas que controlan el hardware también requieren ser programados, pues no se crean a partir de la nada. Parece una obviedad, pero la programación a bajo nivel *también* es programación, y en ella, la arquitectura de ordenadores cumple un papel fundamental. Incluso, en el abordaje de la programación a alto nivel, el conocimiento de la arquitectura de ordenadores, amplía la visión de quien programa, así como su alcance. Dado el carácter tecnológico que esta disciplina ha alcanzado en las últimas décadas, **este capítulo se centrará en retomar el abordaje científico de la arquitectura de sistemas informáticos.**

La arquitectura de sistemas informáticos es un área ampliamente estudiada desde la perspectiva tecnológica, es decir, a nivel de hardware y estructura.

Algunos autores como Subrata Dasgupta han hecho definiciones más amplias abarcando el aspecto abstracto que plantea la definición de modelos teóricos. Esto permitiría enmarcar a la Arquitectura de Sistemas Informáticos como disciplina científica.

Numerosa es la bibliografía en la que se coincide en que no existe un consenso respecto de una definición universal de lo que se entiende por arquitectura de sistemas informáticos, y por ello, el objetivo de este capítulo, se enfocará en obtener las bases teóricas sobre las que se fundamenta la arquitectura de sistemas, para que así, se pueda abordar la programación desde unas bases sólidas en lo que a conocimiento científico respecta sobre la materia.

Se realizará una recopilación, análisis y contraste de las observaciones realizadas por múltiples autores desde los años '80 hasta la actualidad, respecto de la arquitectura de sistemas informáticos, microarquitecturas y formas de explotación de paralelismos, dividiendo el capítulo en tres secciones:

1. Arquitectura de Sistemas Informáticos.
2. Exoarquitectura.
3. Y paralelismo.

Arquitectura de ordenadores

La *arquitectura de sistemas informáticos*, referida como *arquitectura de ordenadores*, es una disciplina sobre la cual —y hasta el momento—, no se ha dado una definición concreta. La importancia de alcanzar dicha definición, radica principalmente en que de ella no solo depende conocer los conceptos que la componen sino además, determinar el enfoque con el que estos son abarcados.

A continuación, se analizan las definiciones y descripciones (según el caso) realizadas desde 1984 hasta la actualidad, por seis autores diferentes. Se elige un orden de concordancia lógica para una mejor comprensión, identificándolo por el nombre del autor que se analiza.

MORRIS MANO (1993). Según Morris Mano, la arquitectura de sistemas informáticos, se refiere a la estructura y comportamiento del ordenador desde la perspectiva de quiénes deben

hacer uso²⁴ de estas, y remarca una diferencia entre arquitectura, organización y diseño, dejando a estas dos últimas fuera del alcance de la arquitectura. Sin embargo, no asigna una acción concreta. Es decir, que no queda claro el nexo entre arquitectura de sistemas informáticos, y estructura y comportamiento.

SUBRATA DASGUPTA (1984, 1989, 2016). Subrata Dasgupta se refiere como *endoarquitectura* (o arquitectura interna) a lo que Mano denomina arquitectura, y como *exoarquitectura* (o arquitectura externa) a lo que Mano refiere como diseño y organización. Para Dasgupta, la arquitectura interna es aquella “que no se ve”, pues define modelos abstractos y conceptos sobre el funcionamiento del ordenador, que luego son interpretados por aquellas

24 Al hablar de personas que «deben» hacer uso, Morris Mano se está refiriendo, principalmente, a personas responsables de programar sistemas operativos y programas en lenguaje ensamblador.

personas encargadas de diseñar la arquitectura externa, es decir, aquella «visible para quienes programan». Esta definición implica a los registros, el juego de instrucciones, los lenguajes ensambladores, entre otros, y de los cuáles se hablará más adelante.

Dasgupta considera al diseño y a la organización como parte de la arquitectura de sistemas informáticos. Esto implica que extiende el campo de acción de la arquitectura de sistemas informáticos, al cual en una etapa más actual (2016) define categóricamente como *la disciplina que se encarga del diseño, descripción, análisis, y estudio de la organización lógica, el comportamiento y los elementos funcionales de un ordenador físico.*

En este sentido, hace una distinción entre la arquitectura como un modelo abstracto del ordenador físico, y el hardware como la tecnología que implementa dichos modelos.

Esta distinción con respecto al hardware cobra aún más sentido si se la contrasta con la definición de tecnología hecha por el epistemólogo Mario Bunge quien en su obra «*Pseudociencia e ideología*» (Alianza Editorial, Madrid 1985, pág. 33) afirma que la tecnología es un campo de investigación, diseño y planificación que emplea conocimientos científicos con el fin de emplearlos, entre otras cosas, en el diseño y desarrollo de artefactos (Bunge, 1985).

HENNESEY Y PATTERSON (2012).

Estos autores —ampliamente citados en la actualidad— dan una explicación más acercada a la definición de Dasgupta pero no con el grado de precisión suficiente para ser considerada una definición categórica. Los autores explican que la arquitectura de sistemas informáticos se compone de un conjunto de cuatro *acciones*:

1. Diseño del conjunto de instrucciones.

2. Organización funcional.
3. Diseño lógico.
4. Implementación.

Lo anterior solo explica cuáles son los componentes que conforman la arquitectura de sistemas informáticos pero no especifica qué es la arquitectura de sistemas informáticos de forma categórica.

RAJARAMAN Y ADABALA (2015). Rajaraman y Adabala dan una definición también cercana a la de Dasgupta, pero no tan concreta. Estos autores definen la arquitectura de sistemas

informáticos como la forma en la que los componentes se interconectan físicamente y cómo su funcionamiento es coordinado para lograr una óptima comunicación a lo largo de todo el proceso.

Esta definición es algo ambigua, ya que podría aplicarse al estudio de la tecnología (hardware) como un proceso inverso (partir de la tecnología para entender su arquitectura). Al igual que en el caso de M. Mano, esta ambigüedad se debe a la falta de un nexo entre el término definido y los términos asociados.

Para concluir este análisis, la tabla 25 muestra un resumen de las áreas de estudio que los mencionados autores, consideran como parte de la arquitectura de sistemas informáticos.

Tabla 25: Áreas de estudio de la arquitectura de sistemas informáticos según diversos autores

| AUTOR | ÁREAS DE ESTUDIO QUE SE INCLUYEN COMO PARTE DE LA ARQUITECTURA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS |
|----------------------------|---|
| HENNESY, J., PATTERSON, D. | Diseño del conjunto de instrucciones. Organización funcional. Diseño lógico. Implementación. |
| MANO, M. | Estructura y comportamiento del ordenador (desde la perspectiva de quiénes programan) |

| AUTOR | ÁREAS DE ESTUDIO QUE SE INCLUYEN COMO PARTE DE LA ARQUITECTURA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS |
|----------------------------|---|
| RAJARAMAN, V., ADABALA, N. | Podría estar refiriéndose tanto a la organización funcional como al comportamiento del ordenador. Diseño lógico. |
| SUBRATA, D. | Endoarquitectura (base teórica de la exoarquitectura): - Modelos abstractos. - Diseño del Funcionamiento del ordenador. Exoarquitectura (base aplicada por quienes programan, de la endoarquitectura): - Registros. - Juego de instrucciones. - Lenguaje ensamblador. |

Si se analizan las definiciones de estos seis autores, se observa que la única definición categórica es la realizada por S. Dasgupta. No obstante, los otros autores, aunque de forma algo ambigua, coinciden en gran parte con esta distinción.

Sin embargo, uno de los puntos clave en la descripción realizada por Dasgupta, va más allá de la definición de la arquitectura como disciplina, y especifica el objetivo de esta. Este factor, permite determinar el enfoque científico de la misma, pues en ella **contempla el estudio y especificación de los modelos teóricos.**

Por lo tanto, la definición categórica propuesta para arquitectura de sistemas informáticos, se presenta a continuación.

ARQUITECTURA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS La *arquitectura de sistemas informáticos* es la rama de las ciencias informáticas que tiene por objeto la definición de un modelo teórico formulado a partir del estudio, análisis, descripción y diseño de la organización lógica, el comportamiento y los elementos funcionales de un ordenador, con el fin de ser

empleado en el desarrollo tecnológico de los componentes físicos que lo integran.

ORGANIZACIÓN DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

En este contexto, se entiende por *organización* al estudio y determinación de la forma en la que los componentes de un ordenador se conectan entre sí para crear una estructura única.

DISEÑO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

Se entiende por *diseño de sistemas informáticos*, al estudio y determinación de los componentes que deben ser empleados para satisfacer las demandas del mercado, al tiempo de cumplir con el modelo teórico definido.

Esquemas de clasificación y taxonomías

Según la bibliografía consultada, cabría afirmar que hasta el momento, no existe un consenso en la comunidad científica respecto a una taxonomía universalmente aceptada, o forma de clasificar las diversas arquitecturas, universalmente aceptada.

Se han encontrado referencias a estudios relativos a la misma (Flynn 1966, Handler 1977, Dasgupta 1982, Giloi 1983, Hwang y Briggs 1984) y a pesar de no haber hallado estudios

posteriores a 1984 (o referencia a los mismos) tampoco se ha encontrado evidencia de un consenso. De hecho, ha excepción de la taxonomía de Flynn —mencionada por múltiples autores—, y de los análisis realizados por Dasgupta, han sido temas ignorados en parte de la bibliografía.

No obstante, al tratarse de conceptos que podrían aportar validez científica a la arquitectura de sistemas informáticos como disciplina más allá del aspecto

tecnológico, se los incluye en este capítulo, tomando como base las referencias hechas por S. Dasgupta en «*Computer Architecture, A Modern Synthesis, Volume 2: Advanced Topics*» (John Wiley & Son, 1989). Por otra parte, estas referencias, ayudan a

segmentar la información, de forma tal que facilitan su análisis. La segmentación de la información y su análisis, son la base del pensamiento computacional en el abordaje de la programación.

Taxonomía de Flynn (1966)

Probablemente, la taxonomía más citada en la bibliografía y también, la más discutida, y de la cual derivan varios conceptos (o términos) actuales. Esta taxonomía se fundamenta, según el análisis de Dasgupta, en seis componentes o características, que se resumen en la tabla 26.

Tabla 26: Componentes de la taxonomía de Flynn

| COMPONENTE | OBSERVACIÓN ADICIONAL |
|-------------------------|--|
| MEMORIA DE INSTRUCCIÓN | Se trata de una distinción en términos lógicos (categorías diferentes) pero que no implica una diferencia física real a nivel de memoria. |
| MEMORIA DE DATOS | |
| UNIDAD DE CONTROL | Implica la complejidad a nivel hardware para generar direcciones de memoria para las instrucciones y los operandos, así como para buscar instrucciones y decodificarlas. |
| UNIDAD DE PROCESAMIENTO | Se refiere a la complejidad del hardware para ejecutar el total de las operaciones soportadas por un ordenador. |
| FLUJO DE INSTRUCCIONES | Se refiere a la secuencia de instrucciones llevadas a cabo por el ordenador. |
| FLUJO DE DATOS | Definido por Flynn como la secuencia de datos requeridos por el flujo de instrucciones (incluyendo entradas y salidas parciales). |

A partir de estos componentes, Flynn establece una taxonomía no jerárquica compuesta de una única categoría general —ordenador— subdividida en cuatro subelementos, cuya denominación se corresponde con las siglas del nombre en inglés. Dichos subelementos se resumen en la tabla 27.

Tabla 27: Elementos de la taxonomía de Flynn

| SIGLA | DENOMINACIÓN (INGLÉS) | OBSERVACIONES |
|-------|--|--|
| SISD | <i>single instruction stream, single data stream</i> | Un solo flujo de instrucción, un solo flujo de datos. Si bien se refiere a un procesador único puede emplearse para explotar el paralelismo (Hennessy y Patterson, 2012). |
| SIMD | <i>single instruction stream, multiple data stream</i> | Un solo flujo de instrucción, múltiples flujos de datos. Aquí la misma instrucción es ejecutada en paralelo por varios procesadores (cada uno de ellos con su propia memoria de datos) pero empleando diferentes flujos. |
| MISD | <i>multiple instruction stream, single data stream</i> | Múltiples flujos de instrucciones, único flujo de datos. Este subelemento fue definido pero en la realidad nunca se construyó un procesador con estas características por lo que probablemente se trate de una categoría teórica no explotada hasta el momento. |
| MIMD | <i>multiple instruction stream, multiple data stream</i> | Múltiples flujos de instrucciones, múltiples flujos de datos. Aquí, cada procesador busca sus propias instrucciones y opera con sus propios datos. |

Sistema de clasificación de Erlangen (Händler, 1977)

En este sistema se proponen tres niveles de procesamiento, que al igual que en la taxonomía de Flynn, sus denominaciones corresponden a las siglas del nombre en inglés. Dicha clasificación se resume en la tabla 28.

Tabla 28: Elementos del sistema de clasificación de Earlangen

| SIGLA | DENOMINACIÓN (INGLÉS) | DESCRIPCIÓN |
|-------|---------------------------------|--|
| PCU | <i>Program control unit</i> | Unidad de control de programa. Encargada de interpretar las instrucciones de los programas. |
| ALU | <i>Arithmetic Logic Unit</i> | Unidad lógico aritmética. Encargada de ejecutar las operaciones indicadas por la CPU. |
| ELC | <i>Elementary Logic Circuit</i> | Circuito lógico elemental. Encargado de procesar un único bit de datos dentro de la ALU. |

Como puede observarse en la tabla anterior, similarmente a lo que sucede con la taxonomía de Flynn, los elementos del sistema de clasificación de Earlangen, también han servido como base de conceptos actuales (en este caso, referidos a la organización de los componentes de un ordenador y forma en la que se interconectan).

Esquema de clasificación de Giloi (1983)

En el caso de Giloi, se propuso una clasificación basada en una gramática formal G determinada por una cuádrupla $G = \langle V_N, V_T, P, S \rangle$, donde V_N denota un cierto conjunto de características arquitectónicas; V_T , un conjunto de características axiomáticas; P , el conjunto de reglas; y S , el símbolo sentencial «arquitectura del ordenador».

Clasificación de Hwang y Briggs (1984)

Se trata de una modificación de la taxonomía de Flynn que propone la eliminación de MISD, y la subdivisión de SISD, SIMD y MIMD en dos elementos cada uno. El resumen del esquema de clasificación se muestra en la tabla 29.

Tabla 29: Esquema de clasificación de Hwang y Briggs.

| ELEMENTO ORIGINAL DE FLYNN | SUBDIVISIÓN (INGLÉS) | | EXPLICACIÓN |
|----------------------------|----------------------|-------------------|---|
| | IDENTIFICADOR | SIGNIFICADO | |
| SISD | S | <i>simple</i> | Destinado a unidades funcionales simples |
| | M | <i>multiple</i> | Destinado a unidades funcionales múltiples |
| SIMD | W | <i>Word-slice</i> | Hace referencia al procesamiento de palabras completas en paralelo |
| | B | <i>Bit-slice</i> | Hace referencia al procesamiento del mismo bit de varias palabras en paralelo |
| MIMD | L | <i>Loosely</i> | Se refiere a procesadores débilmente acoplados |
| | T | <i>Tightly</i> | Se refiere a procesadores fuertemente acoplados |

Estilos arquitectónicos según Dasgupta (1989): morfología y evolución

Según el autor, la arquitectura de sistemas informáticos puede ser clasificada sobre la base de dos perspectivas (o filosofías como las llama Dasgupta):

CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA. La primera, que pretende clasificar las diversas arquitecturas según las características observables de la forma final que la arquitectura se exhibe. Esta clasificación solo puede alcanzarse una vez que el análisis y diseño de una arquitectura se encuentra concluido, lo que la convierte en una clasificación descriptiva y observacional.

CLASIFICACIÓN EVOLUTIVA. La segunda, se centra en la forma en la que las arquitecturas han ido evolucionando, de allí que Dasgupta haya decidido