



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza



Departamento de
Informática e Ingeniería
de Sistemas
Universidad Zaragoza



30237 Multiprocesadores

3^{er} curso, Grado en **Ingeniería Informática**
Especialidad en **Ingeniería de Computadores**
Curso 2021-22

Jesús Alastruey Benedé

jalastru@unizar.es

ATC – DIIS

Despacho D0.13

Rubén Gran Tejero

rgran@unizar.es

ATC – DIIS

Despacho D0.15

Docencia: 6 ECTS

■ Trabajo del estudiante, 150 horas:

- Clases magistrales: 30 horas
- Clases de problemas: 15 horas
- Clases de prácticas: 15 horas
- Trabajo práctico no presencial: 12 horas
- Estudio personal: 73 horas
- Evaluación: 5 horas

■ Horario de clase

- Teoría: Martes 17h-18h, Miércoles 17h-19h
- Prácticas (L0.03): Lunes 12h-14h

■ Tutorías: mejor bajo demanda

Evaluación

La evaluación consta de tres partes, **100 puntos**:

1. Resultados sobre trabajo práctico no presencial: **20 puntos**
 - Pequeños trabajos «para casa»
 2. Cuestiones sobre las prácticas de laboratorio: **20 puntos**
 3. Examen: **60 puntos. Mínimo 4 sobre 10**
 - Teoría, problemas y prácticas
-
- El trabajo práctico no presencial se puede presentar en C2
 - Las notas obtenidas en cada parte en C1 se mantendrán para C2 del mismo curso, pero no para convocatorias de cursos distintos

Prácticas

- 6 sesiones de 2 horas tutoradas en el **laboratorio L0.03**
 - **NO se entregan memorias**,
pero es necesario realizarlas para contestar en el examen
 - Se realiza una **evaluación** de cada práctica (cuestiones más relevantes)
 - 1 grupo: lunes 12h-14h
- Módulo I: **Vectorización x86**
 - 3 sesiones. Calendario tentativo: 14F, 28F, 14M
 - Arquitectura x86-64 con SO CentOS (PCs L0.03)
- Módulo II: Programación de computadores de memoria compartida con **OpenMP**
 - 3 sesiones, con los siguientes sistemas:
 - ◆ Arquitectura x86-64 con SO CentOS (PCs L0.04)
 - ◆ Arquitectura ARM (RISC) con SO CentOS (pilgor)

Trabajos dirigidos (optativo)

- Suben nota
- Estamos abiertos a cualquier propuesta, individual o colectiva
- Ejemplos
 - Vectorización sobre otras arquitecturas: ARM Neon (pilgor)...
 - Medidas de energía y potencia en programas paralelos
 - Overclocking con refrigeración forzada y eficiencia energética

Programa

■ MÓDULO I (-1/2)

- Procesadores Vectoriales Segmentados
 - ◆ Supercomputadores “clásicos”
- Extensiones multimedia, Intel AVX

■ MÓDULO II (+1/2)

- Multiprocesadores Memoria Compartida
 - ◆ Chips multiprocesador (*multicore, CMPs*)

Destrezas, habilidades, competencias

- Claves del rendimiento de un computador paralelo
 - ↑ velocidad
 - ↓ memoria
 - ↓ energía
- Compra o venta de servidores de cálculo
 - **Vigilancia tecnológica**: saber evaluar una compra y presentar una oferta desde el punto de vista técnico
- Introducción a la investigación experimental
 - **Metodología experimental**: diseñar experimentos, medir tiempos y eventos (máquina real o simulador), analizar, diseñar mecanismos hw-sw para aumentar el rendimiento

Bibliografía

- [CSG98] D.E. CULLER, J.P. SINGH y A. GUPTA, [Parallel Computer Architecture: a Hardware/Software approach](#), Morgan Kaufmann, 1998.
- [DaTo04] W. DALLY and B. TOWLES, [Principles and Practices of Interconnection Networks](#), Morgan Kaufmann, 2004.
- [Baer09] Jean-Loup BAER, [Microprocessor architecture: from simple pipelines to chip multiprocessors](#). Cambridge University Press, 2009.
- [SHW11] D.J. SORIN, M.D. HILL, D.A. WOOD, [A primer on memory consistency and cache coherence. Synthesis Lectures on Computer Architecture](#), Morgan & Claypool Publishers, 2011.
- [DAS12] M. DUBOIS, M. ANNAVARAM, P. STENSTRÖM, [Parallel Computer Organization and Design](#), Cambridge University Press, 2012.
- [HePa12] J. HENNESSY and D. PATTERSON, [Computer Architecture: a quantitative approach](#). 5th Edition, Morgan Kaufmann, 2012.
 - Chapter 4. Data-Level Parallelism in Vector, SIMD, and GPU Architectures
 - Chapter 5. Thread-Level Parallelism
 - Online Appendices (<http://booksite.mkp.com/9780123838728/references.php>)
 - ◆ Appendix F: Interconnection Networks
 - ◆ Appendix G: Vector Processors in More Depth
 - ◆ Appendix I: Large-Scale Multiprocessors and Scientific Apps

Lecturas

■ Módulo I

- [HePa12]: Chapter 4, Appendix G, I

■ Módulo II

- [CSG98] caps. 1, 5, 6 y 8
- [DaTo04] cap. 1, 2, 3, 8, 12, 22
- [HePa12] cap. 5, Appendix I
- [DAS12] todo
- [SHW11] todo
- [Baer09] pp. 241-245 (IBM Power 4-5-6) y cap. 7

Otra información de interés

- Sitio web de la asignatura
 - Moodle
 - <http://webdiis.unizar.es/~chus/docencia/mp/>
- Material disponible
 - Transparencias de clase
 - Colecciones de problemas
 - Enunciados de prácticas
 - Lecturas

¡Un poco de motivación!



AMD EPYC™ 7742

AMD EPYC™ 7742

6,950\$ (precio salida)

# of CPU Cores: 64	# of Threads: 128	Base Clock: 2.25GHz
Max Boost Clock ⓘ: Up to 3.4GHz	Total L3 Cache: 256MB	Package: SP3
Socket Count: 1P/2P	PCI Express® Version ⓘ: PCIe 4.0 x128	Default TDP / TDP ⓘ: 225W
System Memory Specification ⓘ: 3200MHz	System Memory Type: DDR4	Memory Channels: 8
Per Socket Mem BW: 204.8 GB/s		

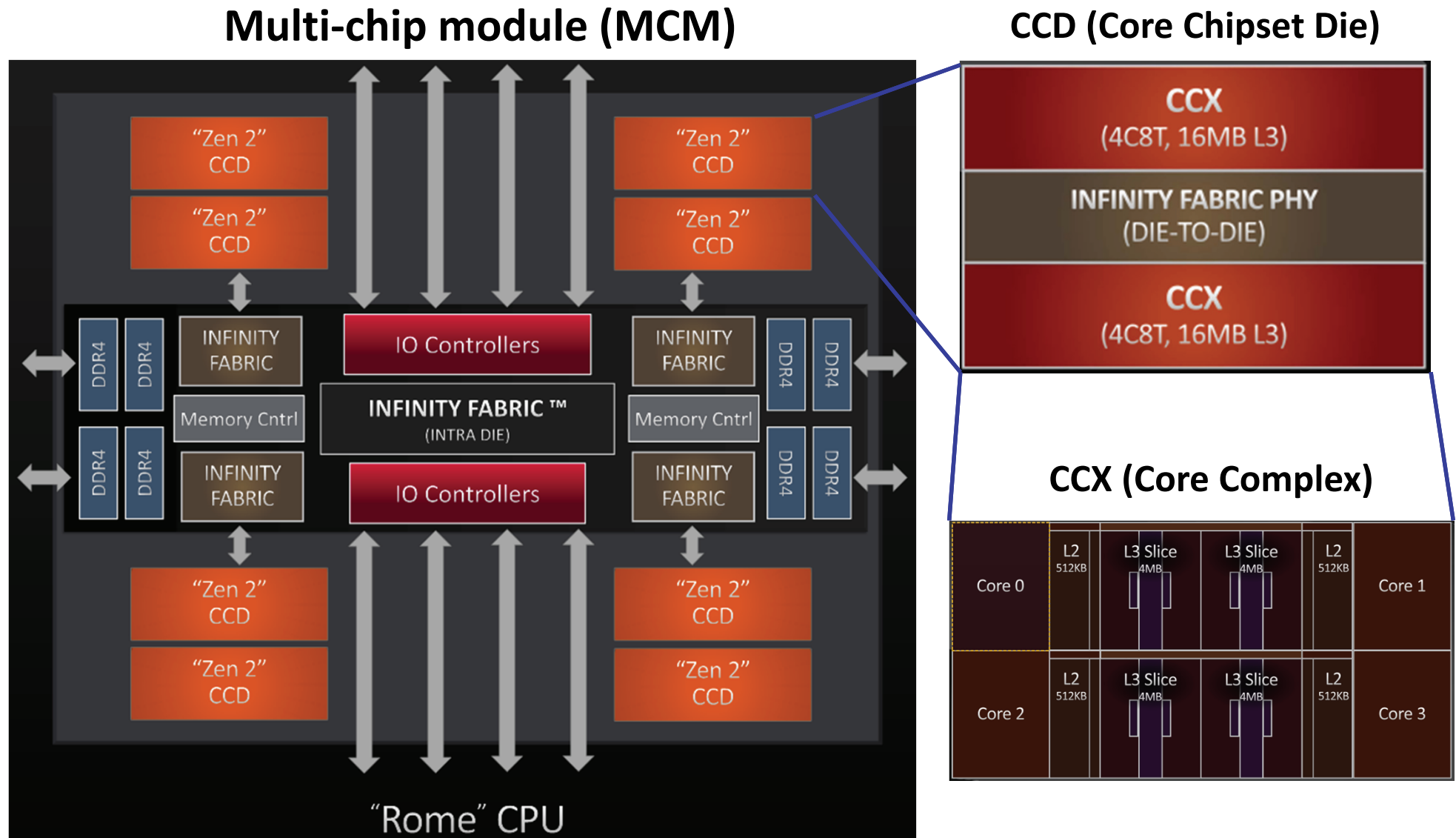
<https://www.amd.com/en/products/cpu/amd-epyc-7742>

AMD EPYC™ 7002 Series Processors

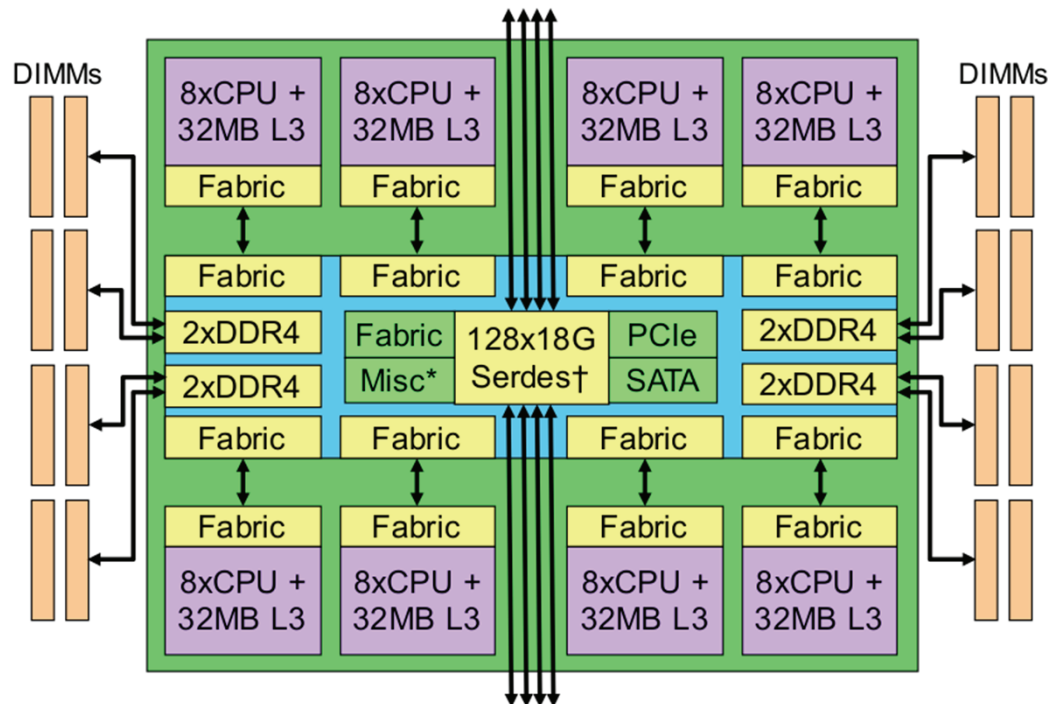
Model	Cores	Threads	Base Freq. (GHz)	Max. Boost Freq. (GHz) ^a	TDP (W)	L3 Cache (MB)	DDR Channels	Max DDR Freq. (1DPC) ^c	Per-Socket Theoretical Memory Bandwidth (GB/s)	PCIe® Gen 4 Lanes ^c	2P/1P
7742	64	128	2.25	3.40	225 ^c	256	8	3200	204.8	128	2P/1P
7702	64	128	2.00	3.35	200	256	8	3200	204.8	128	2P/1P
7702P											1P only
7642	48	96	2.30	3.30	225 ^c	256	8	3200	204.8	128	2P/1P
7552	48	96	2.20	3.30	200	192	8	3200	204.8	128	2P/1P
7542	32	64	2.90	3.40	225 ^c	128	8	3200	204.8	128	2P/1P

<https://www.amd.com/system/files/documents/AMD-EPYC-7002-Series-Datasheet.pdf>

AMD EPYC™ Processor (Rome)



AMD EPYC™ Processor (Rome)



Chip: hasta 8 CCDs (64 cores) conectados por ¿?

CCD: 8 cores/16 threads + 32 MiB L3

Memory: 8 canales DDR4-3200,
4 TiB (8 can. x 2 DIMMs/canal x 256GiB/DIMM)

I/O: 128 lanes PCIe Gen4

Fabric: Infinity Fabric

Vector Max Perf (R_{peak}): 2.3/4.6 TFLOPS DP/SP

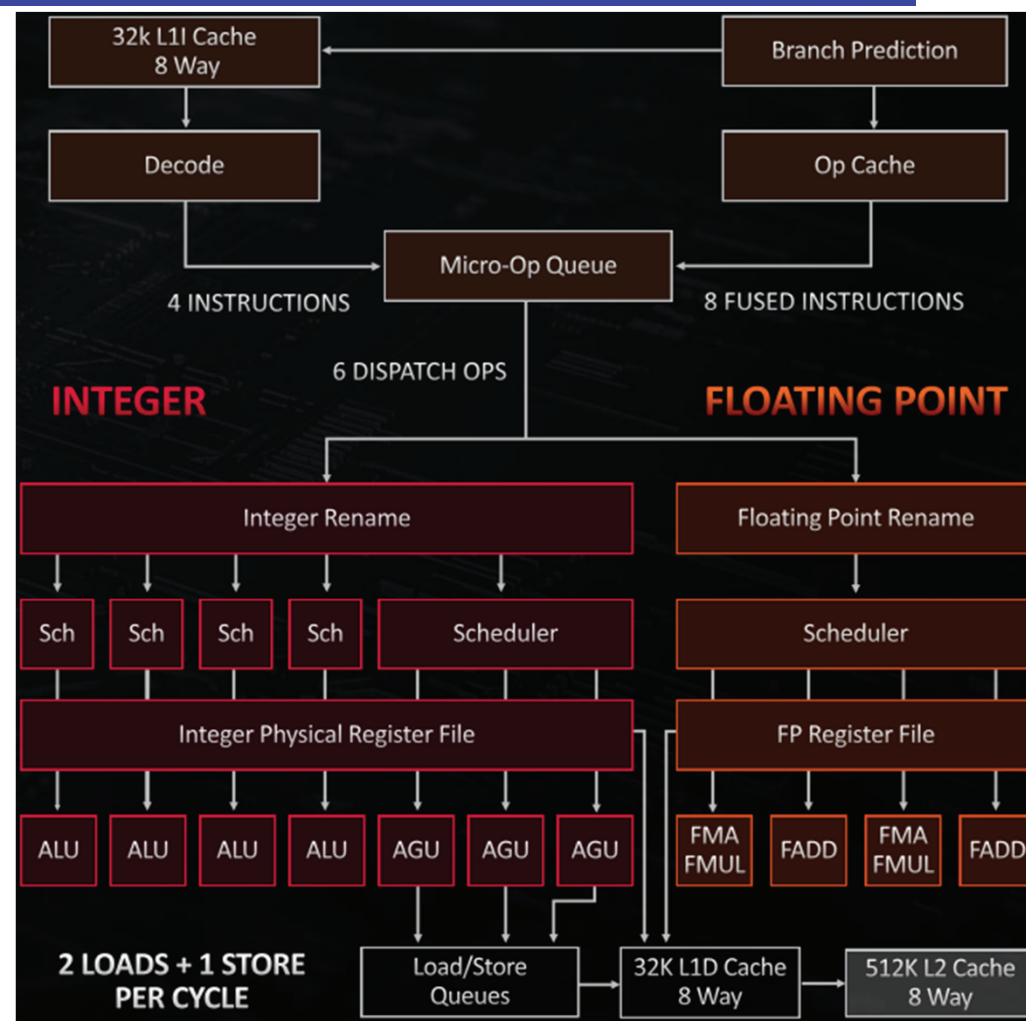
Stream Triad: ~200 GB/s

Figura: Linley Gwennap. AMD Rome Ruins Intel Hegemony. Microprocessor Report. Agosto 2019.

Resultados Stream: Review: AMD Epyc 7742 2P Rome Server: <https://hexus.net/tech/reviews/cpu/133244-amd-epyc-7742-2p-rome-server/?page=4>

AMD 2nd Gen EPYC™ Processor, Zen 2 (Rome)

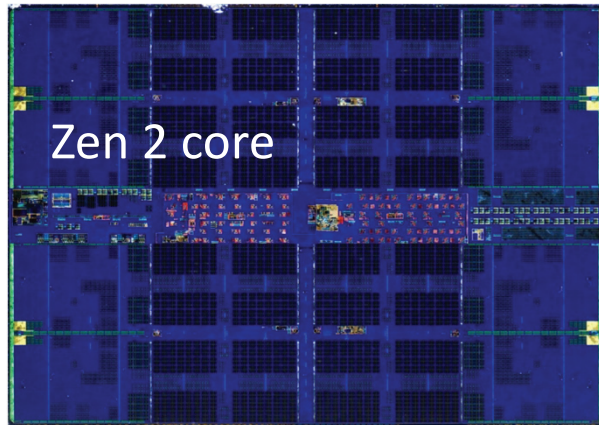
- X86-64 architecture
- 4K op cache
- Dispatch: 6 uops/cycle
- Issue: 7 + 4 uops/cycle (4 ALUs + 3 AGUs + 4 FPs)
- Integer RF: 180 x 64b
- Vector RF: 160x 256b
- 224-entry ROB
- 2 x FP data path width
- L1: 2 load + 1 store
- 2 threads per core



Zen 2 core

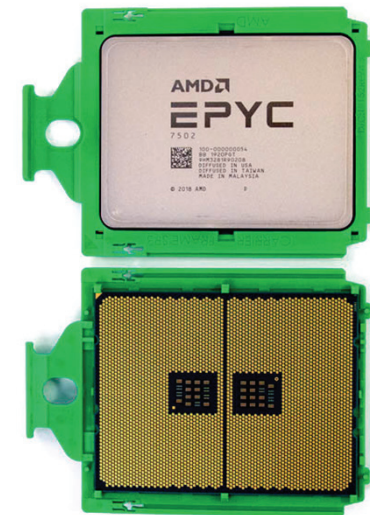
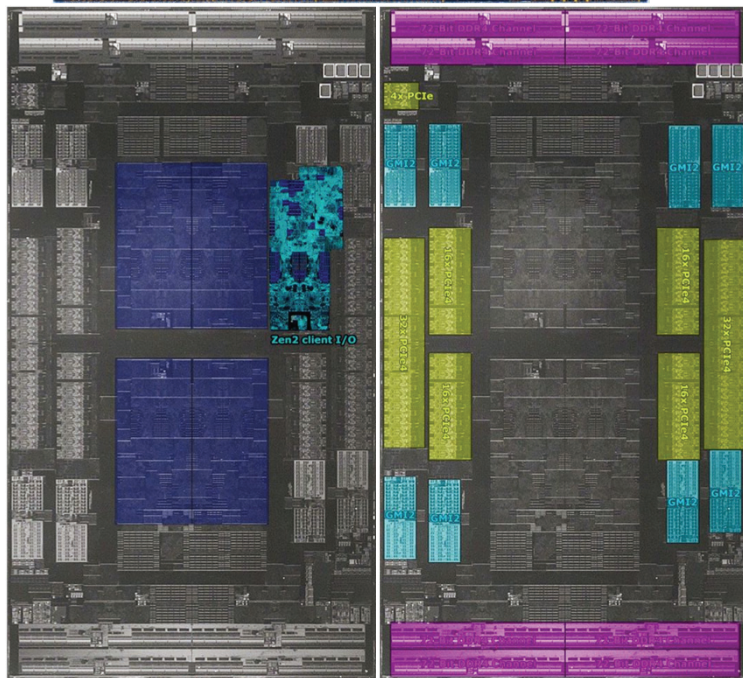
DP, sin FMA → 4 UFs x 4 ops/UF x 64 cores x 2.25 GHz = 2.3 TFLOPS
 DP, con FMA → XX
 SP, sin FMA → 4 UFs x 8 ops/UF x 64 cores x 2.25 GHz = 4.6 TFLOPS
 SP, con FMA → XX

AMD EPYC™ 7742: Packaging

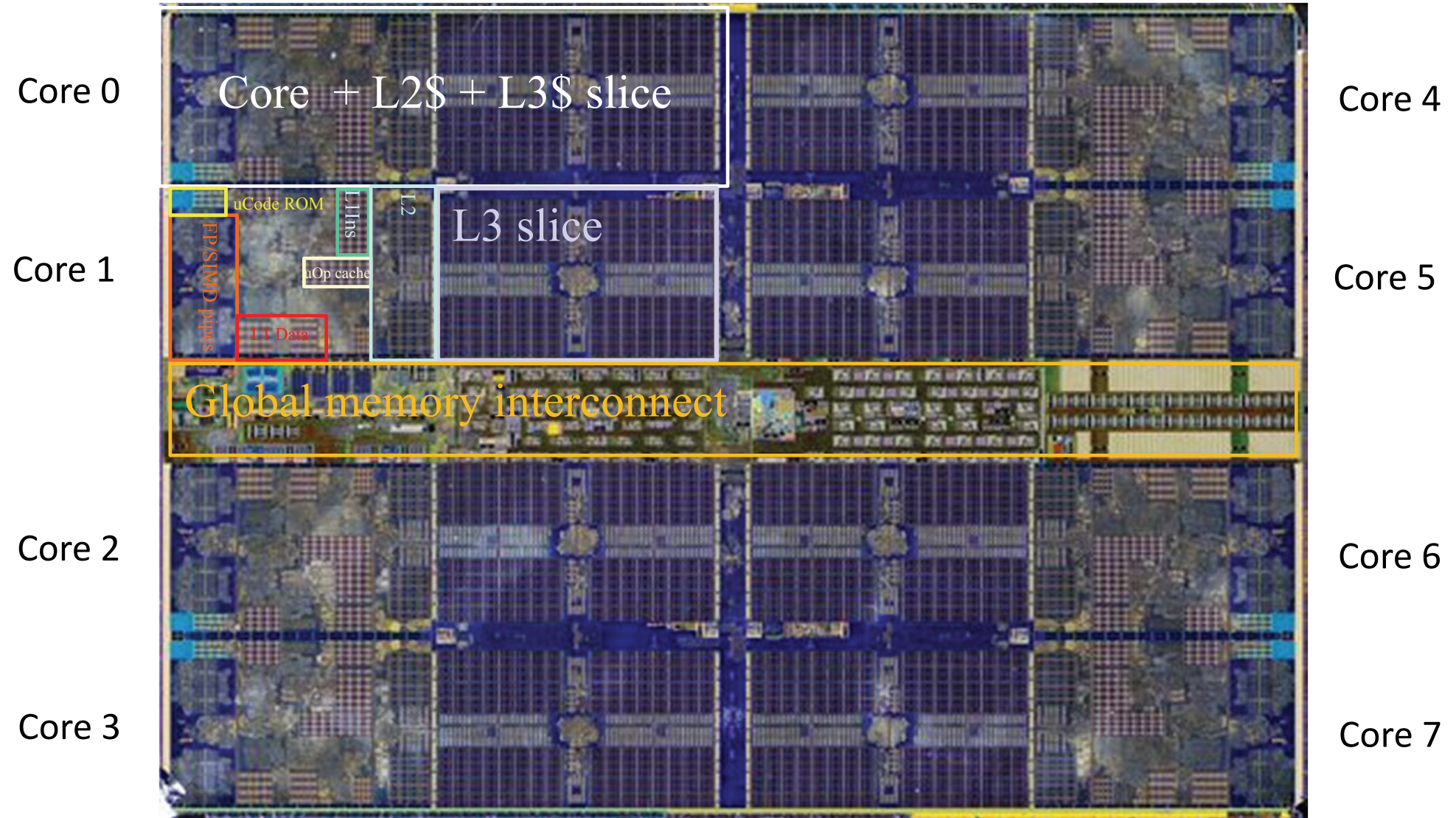


World population is expected to reach 8 billion people in 2023 according to the United Nations (in 2026 according to the U.S. Census Bureau)

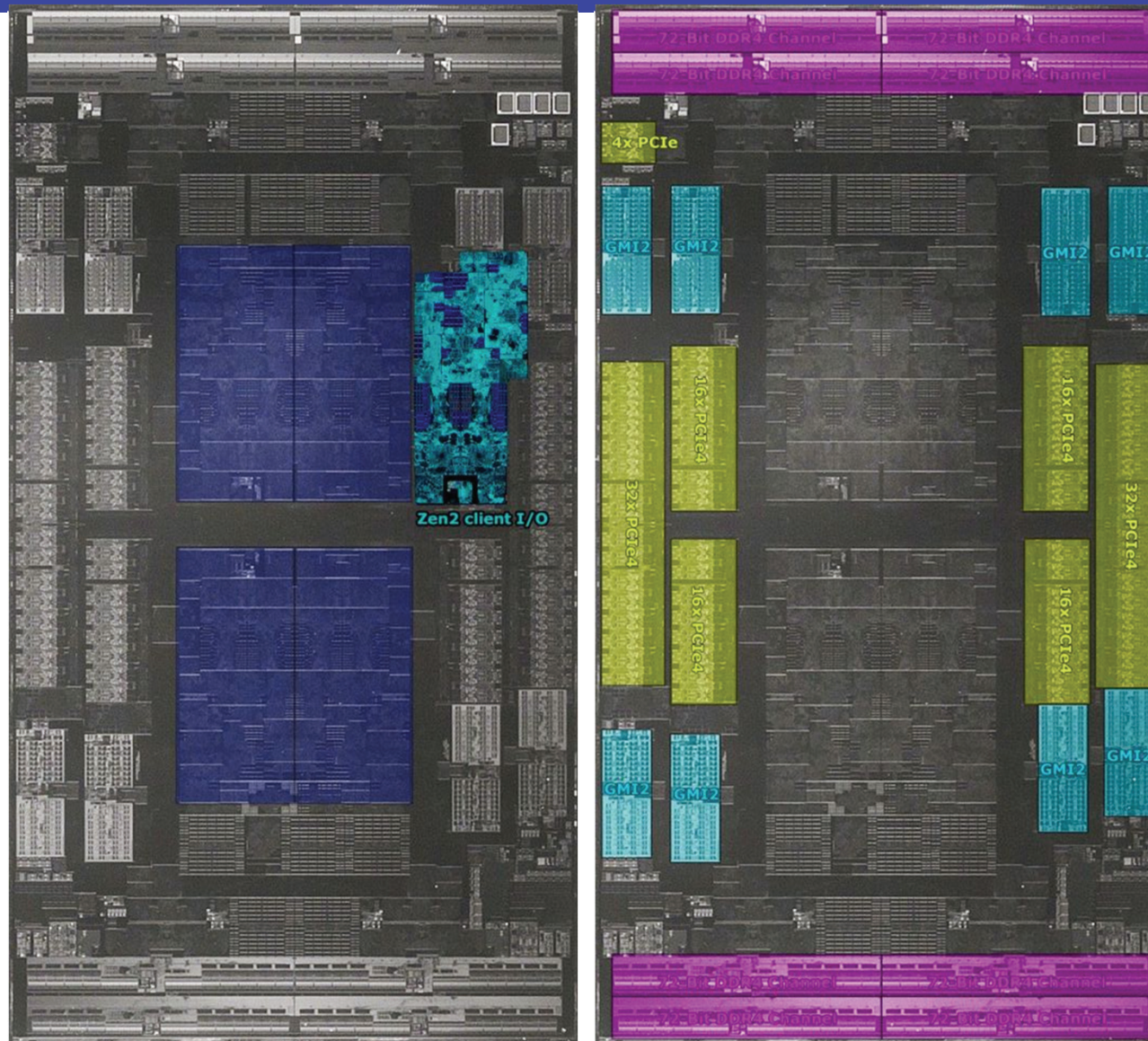
Package	FCLGA-4094 (LGA)
Dimension	58.5 mm × 75.4 mm
Pitch	1.00 mm
Contacts	4094
Socket	Socket SP3, LGA-4094
#transistor	39.53 billion (american)
IOD #trans	8.34 billion (american)
IOD area	416mm ²
Zen2 area	74 mm ²



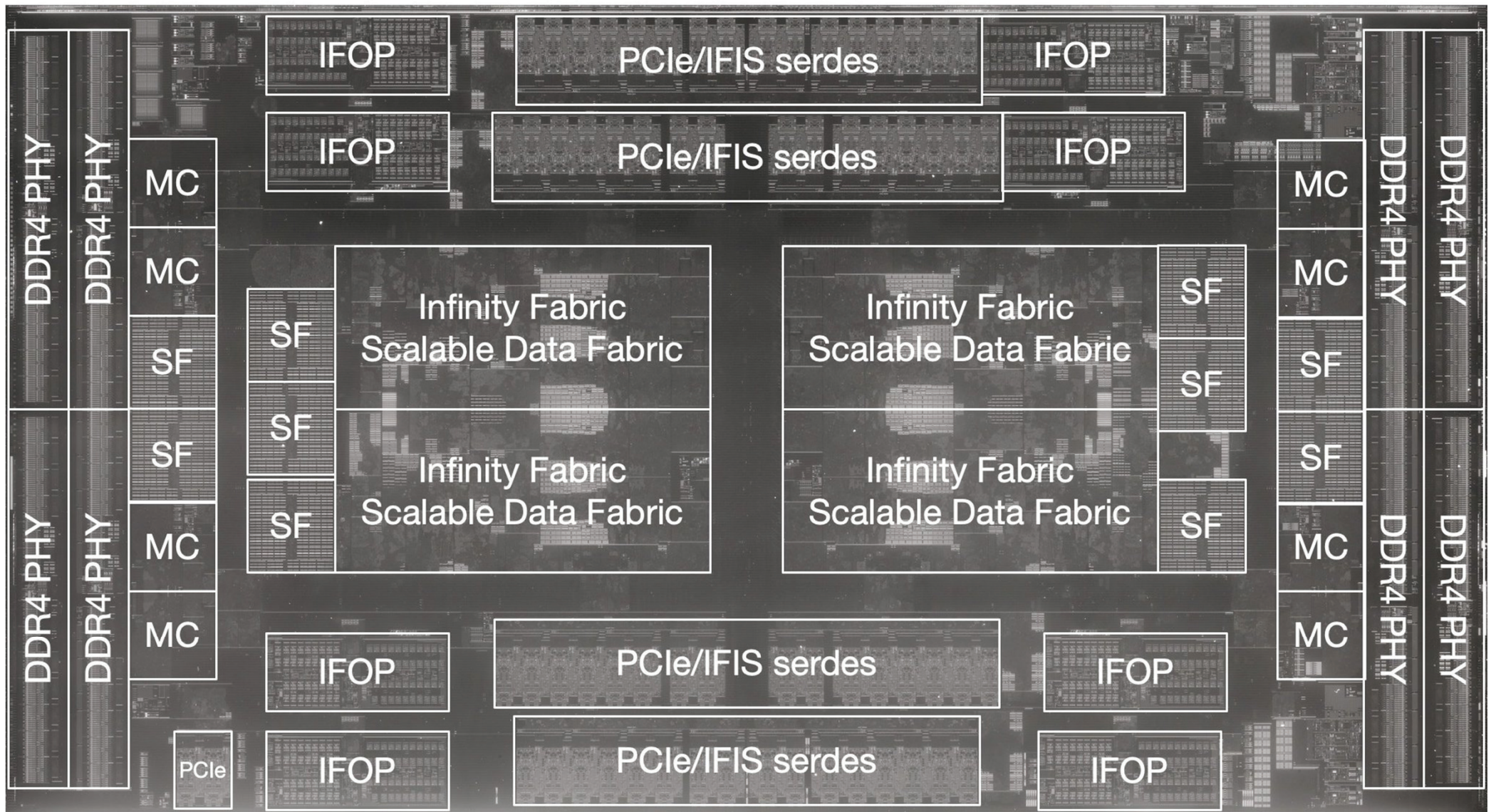
AMD EPYC™ 7742: Zen2 in detail



AMD EPYC™ 7742: IOD in detail



AMD Zen 2 Rome Server IO Die (sIOD)



IFOP: Infinity Fabric On Package aka GMI2, IFIS: Infinity Fabric Inter-Socket, MC: memory controller?, SF: snoop filter/coherence directory?
 Die photo by Fritzchens Fritz <https://www.flickr.com/photos/130561288@N04/48949317691/> annotation by Wes Felter @wmf v1 24 Oct 2019

Servidores Altas Prestaciones

- Supermicro

- <https://www.thinkmate.com/systems/supermicro/ultraserver>



Ejercicio 1: Simulando y cocinando con el EPYC 7742

- Vitro LG KA60530A: **2.3kW** en $3.14 \times 110^2 = 38013.36 \text{ mm}^2$
- AMD EPYC 7742: W en mm^2

- Caben unos
- Disiparía
- Max FLOP/ciclo ?
 - ◆ Sin multiply/add
 - ◆ Con multiply/add
- Tiempo simulaciones aerodinámicas *sin* FMA:
 - ◆ Ala estacionaria 10^{18}
 - ◆ Ala turbulenta 10^{20}
 - ◆ Avión turbulento 10^{23}
- Coste simulaciones ? (0.17 €/KWh)

