



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS Y COMPUTACIÓN

**Algoritmos Paralelos de Reconstrucción de Imágenes
TAC sobre Arquitecturas Heterogéneas**

TESIS DOCTORAL

Presentada por: Liubov Alexandrovna Flores

Dirigida por: Prof. Vicente Vidal Gimeno

Prof. Gumersindo Verdú Martín

Septiembre 2015

Índice general

Índice de figuras	xv
Listado de símbolos y abreviaciones	xix
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estado del arte	3
1.4. Estructura del documento	7
2. Herramientas de sistemas de computación de altas prestaciones	9
2.1. Clasificación de computadores de altas prestaciones	9
2.2. Sistemas con memoria compartida	10
2.3. Sistemas con memoria distribuida	11
2.4. Clusters de sistemas	12
2.5. Procesadores multi-núcleos	13
2.6. Sistemas Multiprocesadores	14
2.7. GPU: altamente paralelo, multihilo, procesador multicore	16
2.8. Herramientas hardware	19
2.9. Herramientas software	21
2.9.1. Modelos de programación paralela	21
2.9.2. Librería PETSc	23
2.9.3. Librerías CUBLAS y CUSPARSE	24
2.9.4. Librería BLAS	24
2.9.5. Librería FFTW	25
2.10. Métricas de evaluación de calidad de imágenes	25
2.11. Métricas de evaluación de algoritmos	26

3. Tomografía Axial Computarizada	29
3.1. Visión general	29
3.2. Principios básicos de Tomografía Computarizada	30
4. Métodos analíticos de reconstrucción	35
4.1. Introducción	35
4.2. Aspectos matemáticos de reconstrucción de imagen	36
4.2.1. Relación con la transformada de Fourier	36
4.3. Algoritmo FBP y arquitecturas multicore	37
4.4. Paralelización	38
4.5. Evaluación de coste	45
4.6. Resultados experimentales	46
4.7. Conclusiones	48
5. Reconstrucción iterativa	51
5.1. Introducción	51
5.2. Métodos iterativos: ventajas y desventajas	51
5.3. Aspectos matemáticos de reconstrucción iterativa	52
5.4. Construcción de la matriz del sistema: método de Siddon	55
5.4.1. Siddon - versión paralela	63
5.4.2. Estudio de la matriz del sistema	64
5.4.3. Estructura simétrica de bloques de la matriz del sistema	66
5.4.4. Tiempo de generación y tamaño de la matriz del sistema	71
5.4.5. Simulación de proyecciones	71
5.4.6. Conclusión	74
5.5. La técnica de reconstrucción algebraica simultánea	74
5.5.1. SART: versión secuencial	76
5.5.2. SART - versión paralela	79
5.5.3. Evaluación de coste	81
5.5.4. Resultados experimentales	82
5.5.5. Conclusiones	83

5.6.	MLEM - algoritmo de maximum likelihood para la tomografía de emisión	83
5.6.1.	MLEM: versión secuencial	84
5.6.2.	MLEM: versión paralela	85
5.6.3.	Evaluación de prestaciones	87
5.6.4.	Conclusiones	88
5.7.	Método iterativo LSQR	88
5.7.1.	LSQR - versión secuencial	89
5.7.2.	LSQR: versión paralela	91
5.7.3.	Evaluación de coste	94
5.7.4.	Metodología de los experimentos realizados	94
5.7.5.	Resultados experimentales.	95
5.7.6.	Conclusiones	97
5.8.	Optimización de algoritmos iterativos de reconstrucción de imágenes sobre arquitecturas multi-core	98
5.8.1.	Formatos compactos de matrices dispersas	98
5.8.2.	Producto matriz-vector	99
5.8.3.	Algoritmo Suma por filas	104
5.8.4.	Algoritmo Suma por columnas	107
5.8.5.	Vectorización	109
5.8.6.	Comparación de SART en formatos compactos	110
5.8.7.	Comparación de LSQR en formatos compactos	113
5.8.8.	Conclusiones	117
6.	Arquitecturas altamente paralelas	119
6.1.	SART: implementación en GPU	125
6.1.1.	SART - versión 1	126
6.1.2.	SART - versión 2	127
6.1.3.	Resultados experimentales	129
6.1.4.	Conclusiones	130
6.2.	LSQR: implementación en GPU	130
6.2.1.	Optimización del algoritmo	131
6.2.2.	Resultados experimentales	131

6.2.3. Reconstrucción 3D	133
6.2.4. Conclusiones	136
7. Reconstrucción de imágenes con un conjunto limitado de datos	137
7.1. Introducción	137
7.2. Métodos usados	138
7.3. Análisis de parámetros	141
7.4. Resultados y discusión	143
7.5. Aplicación a un caso real	145
7.6. Optimización del algoritmo	147
7.7. Conclusiones	149
8. Conclusiones y trabajos futuros	151
8.1. Conclusiones	151
8.2. Trabajos futuros	153
Publicaciones	155
Bibliografía	159