



Treball de Fi de Grau

GRAU D'ENGINYERIA INFORMÀTICA

**Facultat de Matemàtiques
Universitat de Barcelona**

Visualització de Dades Mèdiques

Alexandre Morales Varela

Tutors: Anna Puig Puig,
Frederic Sampedro Santaló

Realitzat a: Departament de
Matemàtica Aplicada i
Anàlisi. UB

Barcelona, 20 de Juny de 2014

Índex de la memòria

	pàg
1. Abstract	5
2. Introducció	6
2.1. Àmbit del projecte	7
2.2. Motivació	9
2.3. Objectius generals	10
2.4. Objectius específics	11
2.5. Organització de la memòria	13
3. Antecedents	14
3.1.- Visualització de Volums	15
3.1.1 Mètodes de Visualització	17
3.2. Classificació de Volums	18
3.3 Conclusions	20
4. Desenvolupament	21
4.1. Desenvolupament del MIDA	22
4.1.1. Traspàs de MIDA a DVR	25
4.1.2. Traspàs de MIDA a MIP	26
4.1.3. La màscara al MIDA	27
4.1. Diagrama de Classes	29
4.3. Millores addicionals	32
4.3.1. Color Selector	33
4.3.2. Lectura de fitxers automàtica	34
4.3.3. Millores en la interfície gràfica d'usuari	35
4.3.4. Interaccions amb la màscara	37
5. Resultats i Simulacions	38
5.1. Comparació de temps d'execució GPU vs CPU	46
5.2. Comparació de la màscara via GPU	47
6. Conclusions	49
6.1. Línies futures	50
7. Referències bibliogràfiques	51
Apèndix A: Breu guia d'usuari	52

Índex de figures i taules

Figura 1: Món de Vòxels	15
Figura 2 : Ray Casting	16
Figura 3 : MIP	17
Figura 4 : Funció de transferència (LUT)	18
Figura 5: Característic contor del raig per (a) DVR, (b) MIDA i (c)MIP	23
Figura 6 : Visualització PET renderitzat per DVR, MIDA i MIP	24
Figura 7: PET renderitzat per MIDA amb $k=0.23$ i $k=0.75$, d'esquerra a dreta	28
Figura 8 : Diagrama de classes antecessor	29
Figura 9 : Diagrama de classes del projecte actual	30
Figura 10: Interfície gràfica del Selector de Color	33
Figura 11: Interfície de l'aplicació	35
Taula 1: Característiques dels datasets	38
Figura DVR1 : Model 178225_20101202, mètode DVR, sense màscara i background negre	39
Figura DVR2 : Model 178225_20101202, mètode DVR, sense màscara i background activat	39
Figura DVR3 : Model 178225_20101202, mètode DVR, màscara RGBA (255,0,255,128) , $K = 0.3$	39
Figura DVR4 : Model 178225_20101202, mètode DVR, màscara (255,0,255,128) $K = 0.3$, background activat	39
Figura DVR5 : Model 178225_20101202, mètode DVR, màscara RGBA (255,0,255,128) , $K = 1.0$	40
Figura DVR6 : Model 178225_20101202, mètode DVR, màscara (255,0,255,128), $K = 1.0$, background activat	40
Figura LUT1: Model 1475575_20130606, mètode LUT	41

Figura MIP1: Model 602503_20120914, mètode MIP, sense màscara	42
Figura MIP2: Model 602503_20120914, mètode MIP, sense màscara, background activat	42
Figura MIP3: Model 602503_20120914, mètode MIP, màscara RGBA (0,255,0,255),K = 0.25	42
Figura MIP4: Model 602503_20120914, mètode MIP, màscara RGBA (0,255,0,255), K = 0.25,background activat	42
Figura MIP5: Model 602503_20120914, mètode MIP, màscara RGBA (0,255,0,255), K = 1.0	43
Figura MIP6: Model 602503_20120914, mètode MIP, màscara RGBA (0,255,0,255), K = 1.0,background activat	43
Figura MIDA1: 178225_20101202, mètode MIDA, sense màscara	44
Figura MIDA2: 178225_20101202, mètode MIDA, sense màscara, background activat	44
Figura MIDA3: 178225_20101202, mètode MIDA, màscara RGBA (255,0,0,128) , K =0.27	44
Figura MIDA4: 178225_20101202, mètode MIDA, màscara RGBA (255,0,0,128) , K =0.27,background activat	44
Figura MIDA5: 178225_20101202, mètode MIDA, màscara RGBA (255,0,0,128) , K =1.0	45
Figura MIDA6: 178225_20101202, mètode MIDA, màscara RGBA (255,0,0,128) , K =1.0,background activat	45
Taula 2: comparació del temps(en segons) d'execució dels diferents mètodes de visualització	46
Taula 3: comparativa del temps d'execució entre el mètode MIDA amb i sense màscara.	47

1. Abstract

Visual analysis of medical volume datasets performed by medical experts provides valuable information in research and clinical settings such as radiology or nuclear medicine. Computer visualization methods seek to present to the user an informative display of a given dataset, trying to minimize both the computation time and the user interaction.

The goal of this project is to analyze, design and implement a volume visualization system that proposes a new method to improve the visualization of segmented volume datasets.

In this scenario, two common volume visualization methods included in commercial medical software are the Direct Volume Rendering (DVR), and the Maximum Intensity Projection (MIP). DVR allows to have a spatial context and MIP is an easy-to-implement method. Both methods display good visualizations but have several drawbacks.

This project develops a new method called Maximum Intensity Difference Accumulation (MIDA) that exploits the data characteristics to generate good visualization results. The basic idea behind the MIDA approach is combining the advantages of DVR and MIP and therefore provide an improved visualization framework with reduced limitations. Also, in this project an adaptation of the MIDA framework is proposed to visualize the volume in conjunction with any segmentation mask of it.

MIDA is a general method that can be applied to several types of volume datasets. In particular, this project focuses on the application of the proposed method in Positron Emission Tomography (PET) volumes obtained from the Nuclear Medicine Department at the H. Sant Pau. PET is a commonly used nuclear medicine diagnosis test to detect and quantify the presence of any tumor volume within a patient's body, where physicians may also provide tumor segmentation masks.

Visualization of segmented PET scans using our proposed MIDA-based system provided superior visual results with respect to DVR and MIP approaches. A GPU implementation provides substantial runtime improvement with respect to a CPU approach, obtaining the real-time visualization needed in the clinical setting.

2. Introducció

La visualització de dades és una necessitat que està en augment gràcies a la computarització i la fàcil manipulació de les dades. Un exemple és el Big Data, que permet gestionar i veure dades complexes d'una forma simple i comprensible, però també les dades científiques ho són, ja que han passat de fórmules complexes en fulls de paper a volums que es poden explorar en una pantalla de forma tridimensional.

Tot això ajuda al cervell humà a interpretar ràpidament les dades. És per aquest motiu, que és necessari visualitzar de forma comprensible les dades que es volen explorar.

Gràcies a les visualitzacions realitzades en l'àmbit científic s'han pogut realitzar grans descobriments, com el mecanisme molecular per el qual les cèl·lules mamaríes són capaces de detectar i respondre davant la rigidesa del teixit del seu entorn [1].

Aquest projecte té com objectiu analitzar, dissenyar i desenvolupar un software que permeti i faciliti la visualització d'imatges mèdiques als metges de l'Hospital de Sant Pau de Barcelona. Per aconseguir-ho, al llarg del treball, s'implementa un nou mètode de visualització que dona més detalls i percepció de volum. També s'afegeixen noves i millors característiques que poden ajudar al metge a identificar i segmentar millor les parts del cos.

Aquest treball forma part d'un projecte de doctorat anomenat "Static and dynamic tumor quantification in PET scans" [2] en el què es vol determinar la localització de tumors dins del cos humà de forma automàtica a partir de tomografies d'emissió de positrons (PET) així com proporcionar-ne una visualització informativa als especialistes.

Per a poder realitzar aquest treball es parteix d'un software ja desenvolupat en el treball de final de grau "Ray Casting de volum: CPU vs GPU" [3] de Sergi García Trancoso, en el què es realitza una comparativa entre els diferents processadors CPU i GPU en la renderització de dades. Aquest treball ha sigut modificat per a poder llegir dades PET. Això permet començar amb una base ja establerta i treballar en millores i noves característiques.

2.1. Àmbit del projecte

En aquest projecte es tracta d'analitzar, dissenyar i implementar una eina de visualització d'imatges mèdiques que faciliti la interpretació de les imatges als metges de l'Hospital de Sant Pau de Barcelona. Es parteix d'un software realitzat en C++/Qt que ja té una interfície i unes tècniques de visualització implementades bàsiques. L'objectiu del projecte és millorar la visualització, tot analitzant diferents tècniques que permetin la percepció de profunditat, ressaltin estructures i permetin distingir zones patògenes en el tipus d'imatges utilitzades a l'hospital.

Les dades que tractarem al llarg del treball són dades científiques procedents de tomografies, concretament de PET, Tomografia per Emissió de Positrons[4]. PET és una tècnica de medicina nuclear no invasiva i de diagnòstic per imatge capaç de mesurar l'activitat metabòlica (derivada de l'ús de glucosa de les cèl·lules) en cada punt del cos humà. Aquesta informació té interès, ja que, en la majoria de tumors, les cèl·lules tumorals tenen una activitat metabòlica més alta del normal, i per tant els especialistes mèdics poden detectar-los en les imatges PET.

Donat un PET, els especialistes obtenen una màscara de segmentació dels possibles tumors presents a fi de quantificar-ne el volum o l'activitat. La contribució d'aquest projecte es basa en proposar diferents estratègies de visualització del volum PET segmentat, fent una anàlisi de qualitat visual de les propostes.

Els mètodes ja dissenyats i implementats en el projecte anterior són el DVR (Direct Volum Rendering) i el MIP(Maximum Intensity Accumulation), que permeten visualitzar les dades però eliminen detall o oculten informació útil.

Per a millorar la visualització utilitzarem una nova tècnica anomenada Maximum Intensity Difference Accumulation, d'ara en endavant MIDA [13], que permet la visualització de dades procedents de dades científiques alternant l'acumulació de color i opacitat. Aquest mètode aporta sensació de profunditat, millora els detalls i permet interactuar amb els valors per tal de poder seleccionar la millor visualització que l'usuari desitgi.

A més a més, es millorarà la Interfície Gràfica d'Usuari, a fi de què l'usuari final pugui optimitzar i controlar els paràmetres de visualització del volum.

En relació al pla d'estudis del Grau d'Enginyeria Informàtica, aquest treball està directament relacionat amb l'assignatura de Gràfics i Visualització de Dades. La temàtica de l'assignatura tracta temes com: les tècniques bàsiques dels gràfics per ordinador, explotar les prestacions de les targetes gràfiques, mètodes adients per a visualitzar dades científiques i molt més. També és la única assignatura en què s'utilitza C++ i OpenGL.

Més enllà, aquest projecte també té relació amb les assignatures de programació 1 i 2, en les que s'ensenyen la programació bàsica i el patró Model-Vista-Controlador; Disseny de software, en què s'expliquen les metodologies a seguir pel correcte disseny i desenvolupament del software; Estructura de Dades, en què s'expliquen les diferents maneres d'estructura les dades segons la seva utilitat; Visió Artificial i Tecnologies Multimèdia, assignatures a on s'expliquen els colors i la seva representació, inclòs el format RGBA.

Per als fitxers d'entrada, les assignatures de Sistemes Operatius 1 i 2 i Introducció a la computació científica expliquen com llegir i escriure fitxers i la programació bàsica en C.

2.2. Motivació

La motivació per fer aquest projecte ve determinada per la curiositat i per la utilitat pràctica en la rutina clínica que aquest treball pot implicar.

La curiositat d'aprendre: d'aprendre com s'obtenen les dades científiques a partir de màquines que utilitzen propietats poc conegudes, d'aprendre com es passa d'un munt de zeros i uns a una forma humana a dins de la pantalla, i d'aprendre les diferents maneres de veure un mateix objecte i saber el que els metges realment volen visualitzar.

La curiositat de veure: de veure els diferents mètodes que s'utilitzen i es poden utilitzar per obtenir una informació de manera visual, de veure com el nostre cervell reinterpreta de nou les dades només canviant paràmetres molt precisos.

La curiositat i ganes de realitzar un projecte que no només sigui una pràctica per una assignatura, sinó que sigui un projecte que anirà més enllà i que algun dia serà utilitzat per a l'usuari final, amb un bon objectiu.

La necessitat. Aquest treball forma part del doctorat "Static and dynamic tumor quantification in PET scans" en què es detecten els tumors de forma automàtica i computeritzada. Per més bé que s'hagi identificat una part del cos, en aquest cas un tumor, de poc serveix si aquesta part es veu molt fosca, o no hi ha profunditat, o no s'observa la interacció amb els òrgans del cos. Es requereix d'un detall molt alt per a poder veure tot el que passa al voltant d'aquest cos. És per això que és necessari realitzar una millora de la visualització de les dades utilitzant nous mètodes i donant més i millors eines a l'usuari.

Més enllà, hi ha la necessitat de dotar als metges de l'Hospital de Sant Pau de Barcelona amb una eina d'aquestes característiques, permetent que tinguin una millor informació de la malaltia a tractar i una millor visualització en la medicina nuclear, provocant així una millora en els tractaments i cirurgies que es realitzin en el pacient.

Cal afegir la necessitat de millorar la visualització en una sola imatge final en dues dimensions per a que no sigui necessari més imatge per veure les propietats i els detalls del volum que visualitzem. S'ha de tenir en compte que després que un pacient es faci una tomografia, les imatges arriben a un metge que ha de realitzar un informe amb una descripció i imatges amb la malaltia procedents del pacient. Si en una sola imatge s'aconsegueix veure tota la informació que es vol, serem més eficients, més ràpids i més exactes, ja que "una imatge val més que mil paraules".

2.3. Objectius generals

La finalitat d'aquest treball és la d'investigar nous mètodes de renderització de volums, desenvolupar-los i implementar-los en un software per a poder millorar les visualitzacions científiques procedents de PET. L'objectiu és el d'analitzar, dissenyar i implementar un nou mètode de visualització en un software que permet la visualització de volums de dades.

També s'han de millorar els mètodes ja desenvolupats, afegir noves característiques i agregar una màscara per determinar les regions amb tumor.

Per aconseguir aquests objectius, el projecte es divideix en els següents passos:

- Estudi del software desenvolupat en el projecte anterior
- Redisseny i reestructuració del model de domini i de l'aplicació
- Agregar noves eines i interaccions amb el software
- Estudi del mètode MIDA
- Implementació del MIDA per GPU i CPU
- Incorporar la màscara que codifica el volum tumoral al MIDA
- Modulació de la visualització final

2.4. Objectius específics

A continuació es desglossen i detallen els objectius del treball.

- Estudi del software desenvolupat en el projecte anterior

Estudiar i analitzar com està construït el projecte base. Entendre el model de domini, el funcionament dels shaders, el RayCasting i el món de Vòxels, seguir el recorregut de les crides, debugar, etc. Fer petits canvis, veure el resultat i comprovar que és el resultat esperat.

- Redisseny i reestructuració del model de domini i de l'aplicació

Redisseny del model de domini per a poder facilitar la incorporació de nous mètodes de visualització de forma fàcil i senzilla sense haver de fer grans canvis en l'aplicació. Optimització de codi i millores en l'execució de l'aplicació. Reestructuració de la interfície gràfica.

- Agregar noves eines i interaccions amb el software

S'agregaran noves característiques al software ja desenvolupat com: afegir un selector de color per a la màscara, agregar un selector de color amb la component alfa (opacitat), lectura automàtica dels arxius hdr, càlcul automàtic de la dimensió de volum, activar o desactivar la màscara, mostrar només la màscara, maximitzar les finestres de visualització, canviar el color de fons (blanc sobre negre o negre sobre blanc).

- Estudi del mètode MIDA

Aquest objectiu consta de llegir i comprendre l'article "Instant Volume Visualization using Maximum Intensity Difference Accumulation" de Stefan Bruckner[13] i buscar tota la informació necessària per a un correcte desenvolupament del mètode.

- Implementació del MIDA per GPU i CPU

Implementar, escriure i provar el correcte funcionament del MIDA tant per GPU com per CPU. Comparar amb la resta de mètodes ja desenvolupats les diferències i les aportacions d'aquest nou mètode.

- Incorporar la màscara que codifica el volum tumoral al MIDA

Incorporar el concepte de màscara en el mètode MIDA sense perdre la capacitat i sensació de profunditat i les millores que aquest mètode aporta. També permetre la visualització d'àrees tumorals que estiguin amagades per altres tumors més propers a l'observador.

- Modulació de la visualització final

Afegir una nova variable a la visualització que permeti modificar la proporció de color que es vol visualitzar. Així com afegir els controls i el codi per a poder modificar aquests valors en temps real.

2.5. Organització de la memòria

La memòria d'aquest projecte s'organitzarà en els següents capítols:

- Introducció

En aquest apartat s'explica l'àmbit del projecte, la motivació que porta realitzar-lo i els objectius que es marquen per a completar-lo.

- Antecedents

En aquest capítol s'introduiran els antecedents d'aquest projecte, els problemes a tractar i determinació de tecnologies a utilitzar per tal de dur a terme la solució.

- Desenvolupament

En aquest apartat s'explica el treball realitzat durant el projecte , el disseny i el procediment utilitzar per aconseguir els objectius plantejats en la introducció.

- Resultats i Simulacions

En aquest capítol es comparen els diferents mètodes creats i els resultats que aporten a nivell visual i temporal. També es realitza una comparativa sobre el temps requerit per a l'execució del programa segons les diferents mides dels models de dades i les mides dels tumors.

- Conclusions

En aquest capítol es detallen el grau d'assoliment dels objectius inicials plantejats en el projecte i s'enumeren les futures línies de continuació.

- Referències bibliogràfiques
- Apèndix A: Breu manual d'usuari

3. Antecedents

La finalitat d'aquest capítol és la d'analitzar els antecedents del tema que tracta aquest projecte, de manera que es pugui situar dins d'un context més general, informar sobre aspectes teòrics rellevants que ajudaran a entendre la temàtica i determinar-ne l'àmbit de l'aplicació.

Aquest apartat es dividirà en els següents apartats:

3.1 Visualització de Volums

3.1.1 Mètodes de Visualització.

3.2 Classificació de Volums

3.3 Conclusions

3.1.- Visualització de Volums

En el curs de Gràfics i Visualització de Dades [5] s'ensenya que per a poder visualitzar volums es necessiten un conjunt d'elements: la càmera, les llums i els objectes.

Els **objectes**. En aquest cas només s'utilitza un objecte, PET[4]. PET és una tècnica de medicina nuclear no invasiva i de diagnòstic per imatge capaç de mesurar l'activitat metabòlica (derivada de l'ús de glucosa de les cèl·lules) en cada punt del cos humà. Aquesta informació té interès, ja que en alguns tumors, les cèl·lules tumorals tenen una activitat metabòlica més alta del normal, i per tant els especialistes mèdics poden detectar-los a les imatges PET.

Aquestes dades són extretes per la tècnica PET-CT i processades per al nostre programa com a píxels 3D o vòxels, encara que en aquest projecte només utilitzem el valors obtinguts de PET.

Els **vòxels** [6] són cubs unitaris en què a cada cara del cub té un color, intensitat o propietat, sovint és el mateix per a totes les cares. Això fa que es passi de tenir un conjunt de números indicant una propietat a construir un volum semblant a la persona a qui s'ha fet la tomografia.

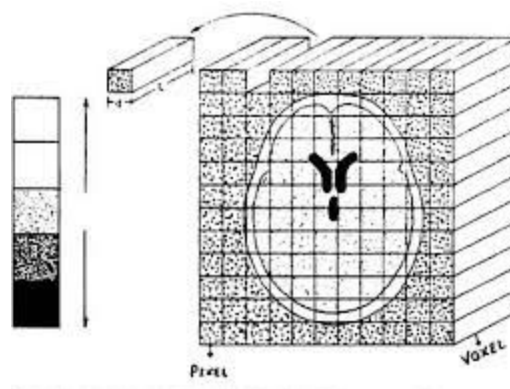


Figura 1: Món de Vòxels

Les **llums**. En el cas de les dades científiques, es suposa que s'emeten per a cadascuna de les mostres a visualitzar, ja que la llum no deixa de ser la quantitat de color que arriba a l'observador.

La **càmera** és l'encarregada de visualitzar les dades que estem observant i de moure's per l'espai de forma que es pugui enfocar i observar des de l'angle desitjat.

Per a poder veure un objecte o volum de tres dimensions en una pantalla de dues dimensions es realitza un procés anomenat **renderització** de volum. El procés de renderització transforma les dades de tres dimensions en una projecció de dues dimensions sobre la pantalla. Es pot fer utilitzant diferents tècniques que al final acaben mostren la imatge en pantalla. Aquest mètode de renderització permet passar del volum de vòxels a colors per a cadascun dels píxels.

En concret, en aquest treball s'ha utilitzat la tècnica o algoritme anomenat de renderització Ray Casting [7].

El Ray Casting és una tècnica basada en llençar, per a cada un dels nostres píxels a pintar, un raig que travessa tot el volum de dades en línia recta, de forma que cada píxel pintat tingui una relació amb les dades que ha travessat el raig.

Hi ha dos aproximacions per a dissenyar el Ray Casting, de davant cap a darrere, front-to-back, o de darrere cap a davant, back-to-front. Cada mètode proporciona diferents matisos a la visualització depenen d'on estiguin les dades importants del nostre volum. En concret, per aquest treball s'ha utilitzat el front-to-back ja que aquest proporciona més rapidesa i seguretat en la creació de la imatge final.

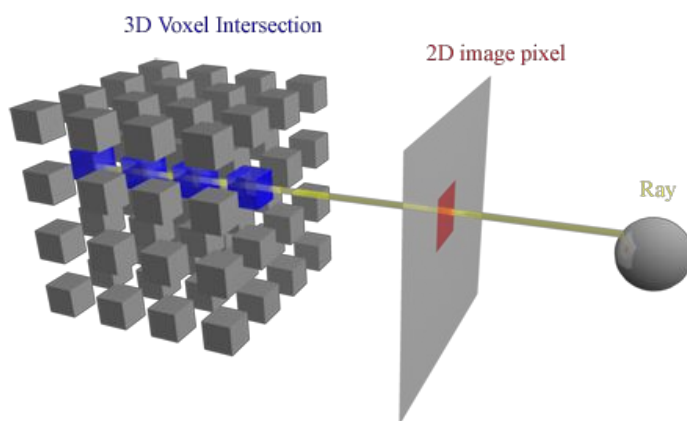


Figura 2: Ray Casting

Gràcies a la GPU i al gran nombre de processador que conté podem realitzar aquesta tasca de manera ràpida perquè tots els processadors s'executen alhora i paral·lelament.

Amb tot el conjunt d'elements s'obté l'escena. L'escena es defineix com el contenidor de tots els objectes, llums i càmeres requerits en la visualització. És necessari calcular la capsa mínima contenidora dels objectes per determinar l'espai de l'escena que es visualitzarà sobre el conjunt d'objectes que aquesta conté.

3.1.1 Mètodes de Visualització

En la versió inicial hi havia dues mètodes de renderització funcionals: el DVR (Direct Volume Rendering) i el MIP (Maximum intensity projection).

El **Direct Volume Rendering** (DVR) [8] és un mètode de renderització en què es mostra el volum tal com és. Es tracta de, al llarg del raig de RayCasting, anar recorrent els valors dels vòxels per al final mostrar en pantalla l'acumulació de la contribució dels valors que el raig ha travessat.

El DVR utilitza la propietat física d'emissió-absorció de llum basada en gradient per emfatitzar les estructures de superfície. Un dels problemes del DVR és la utilització d'una funció de transferència que donat un valor retorni el color o propietat. Per a què el DVR sigui realment útil es necessiten complexes funcions de transferència que aconseguirien transformar el volum a una forma visible, ja que les dades s'oculten entre elles.

Com avantatge, el DVR permet tenir sensació de profunditat, ja que el píxel final mostra informació de tots els vòxels que ha travessat el raig i així doncs no es perd informació, però les dades poden quedar ocultes o poc visibles.

El **Maximum Intensity Projection**(MIP) [9] és un mètode senzill i molt comú en la renderització per RayCasting. Es tracta de, igual que al RayCasting, per a cada píxel a pintar es llança un raig que travessa tots els vòxels del volum de dades de l'escena i es busca el màxim valor al llarg del raig. Aquest màxim es mapejarà en el color que finalment es pintarà al píxel de la pantalla. Els avantatges del MIP són, a part de la seva senzillesa, el fet que no necessita una funció de transferència per obtenir bons resultats.

En canvi, un dels problemes que té el MIP és que assumeix que les dades importants que es volen visualitzar tenen un valor alt, i per tant, no té en compte la resta de dades. També comentar que, com que el MIP mostra un valor trobat al llarg del raig, fa que no s'interpoli ni s'acumuli el valor final amb els valors anteriors provocant que es perdi la sensació de profunditat i es visualitzi tot en dues dimensions.

Aquests problemes trobaran solució en implementar l'estratègia utilitzada en l'algoritme de MIDA (**Maximum Intensity Difference Accumulation**).

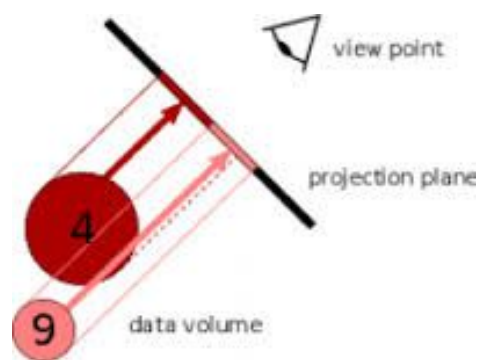


Figura 3: MIP

3.2. Classificació de Volums

En un cos humà hi han molts òrgans i teixits i tots tenen característiques similars. Quan es visualitza un cos humà és complicat identificar cada òrgan per separat, ja que s'encavalquen els valors de les dades en el procés de renderització, i també identificar si hi ha anomalies o tumor i localitzar-los.

Entre les diferents tècniques de definició de volum es troben els processos de segmentació i classificació de volum.

La segmentació de volum en 3D és el procés de divisió en regions vòxels 3D (subvolums) que representen entitats físiques significatives que són més fàcil d'analitzar i que es poden utilitzar en aplicacions futures.

La segmentació de volum assigna els vòxels d'imatges 3D en particions o regions en 3D que representen entitats físiques similars. L'objectiu és distingir entre les diferents regions en el volum 3D i cobrir els contorns extrets de tot el volum.

La classificació permet mapejar el color i l'opacitat a una estructura o volum d'interès donat en el procés de segmentació. Usualment s'utilitzen funcions de transferència entre valors i colors, implementades en Look up Tables.

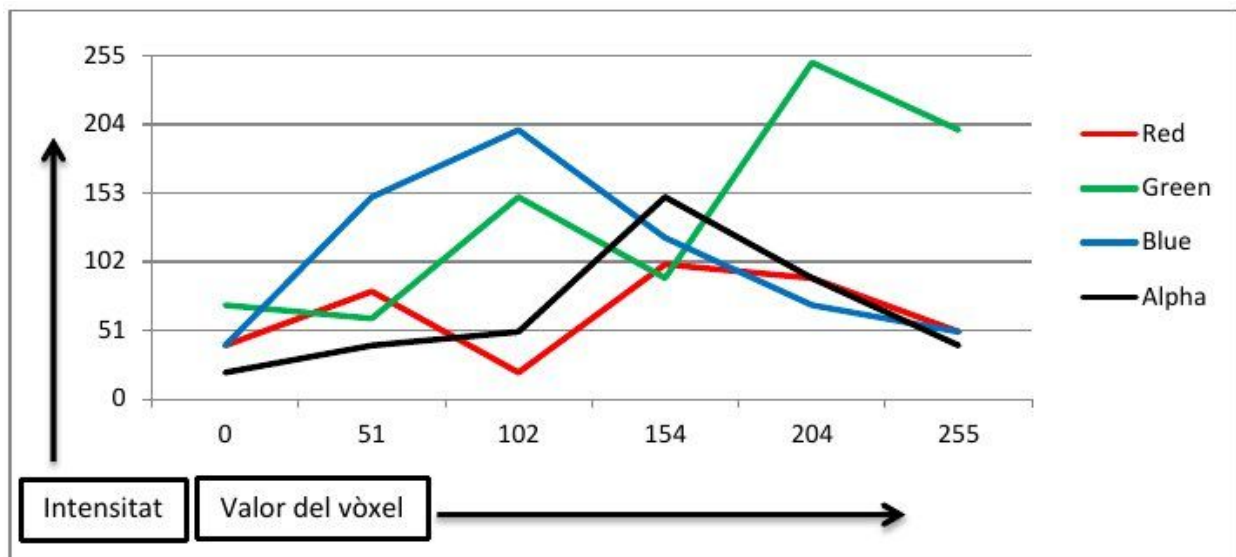


Figura 4: Funció de Transferència (LUT)

Una **LookUp Table**[10] és una estructura de dades que proporciona el color associat a un valor donat. D'aquesta manera es pot segmentar visualment el volum de dades per colors segons la funció de transferència creada.

Normalment, quan es segmenten dades amb diferents mètodes, manuals o semi-automàtics, s'obté una màscara de bits que indica una regió o propietat de les dades.

Una **màscara** [11], en informàtica, és un conjunt de dades que, juntament amb una operació, permeten extreure selectivament certes dades guardades en un altre conjunt.

En aquest projecte, es treballarà amb una màscara de bits, de zeros i uns, que indica la localització del tumor segons la posició del vòxel dins del volum de dades; si és 1 hi ha tumor, si és 0 no n'hi ha.

Amb aquesta màscara es poden classificar els tumors i utilitzant les dades de la tomografia podem donar més o menys intensitat en la visualització però ressaltant la localització d'aquesta anomalia.

D'aquesta manera es facilita la visualització de la zona tumoral i permet una millor percepció del que hi ha dins i al voltant de la zona afectada.

3.3 Conclusions

A la disciplina de gràfics per computador, la visualització d'un model tridimensional o volum, implica la projecció en 2D de l'escena que conté aquest volum.

Els volums que es visualitzaran en aquest projecte són PET. PET (tomografia per emissió de positrons) és una tècnica de medicina nuclear no invasiva i de diagnòstic per la imatge capaç de mesurar l'activitat metabòlica a cada cèl·lula del cos humà.

Les dades obtingudes es transformen i s'organitzen en un món o conjunt de vòxels. Un vòxel representa una mostra unitària de la intensitat, o punt de les dades, amb espai regular. Un món de vòxels es considerarà com el conjunt de vòxels que formen un volum.

El procés necessari per a la visualització del món de vòxels, rep el nom de renderització de volum. La tècnica utilitzada en aquest projecte rep el nom de Ray Casting. La idea bàsica d'aquesta tècnica és la de llençar un raig contra el volum per a cada píxel de la imatge final i calcular el color i l'opacitat del píxel en la imatge final.

Les tècniques de projecció utilitzades són: el DVR (Direct Volume Rendering), en què es visualitza l'acumulació dels valors al llarg del raig; i el MIP (Maximum Intensity Projection), en què s'agafa el màxim valor al llarg del raig per a visualitzar en el píxel corresponent de la imatge final.

El DVR és un mètode que aporta percepció de profunditat però provoca que les dades s'ocultin entre elles i requereix de complexes funcions de transferència. El MIP és un mètode molt senzill d'implementar i que no requereix càlculs complexes però elimina informació i detalls necessaris. En aquest projecte s'implementarà i avaluarà una nova tècnica que permet resoldre els grans inconvenients del DVR i el MIP.

La segmentació de volum assigna els vòxels d'imatges 3D en particions o regions en 3D que representen entitats físiques semblants. L'objectiu és distingir entre les diferents regions en el volum 3D i cobrir els contorns extrets de tot el volum.

Per a aquest projecte s'utilitza una màscara binària que identifica les parts tumorals del cos, i permet segmentar-les per a visualitzar-les de forma semi-automàtica.

Gràcies a aquests conceptes es pot dissenyar, visualitzar i manipular un volum de dades

4. Desenvolupament

En el llarg del desenvolupament d'aquest projecte s'ha implementat el nou mètode de visualització anomenat MIDA, s'ha redissenyat el diagrama de classes i s'han afegit noves característiques al programa per tal de donar noves i millors eines per la visualització de les dades. També s'ha millorat la interacció amb la interfície gràfica i s'ha donat més controls a l'usuari per a que pugui manipular la visualització en temps real i obtindré la millor manera de veure les dades. En concret aquest apartat es divideix en:

4.1 Desenvolupament del MIDA

4.1.1 Traspàs de MIDA a DVR

4.1.2 Traspàs de MIDA a MIP

4.1.3 La màscara al MIDA

4.2 Diagrama de Classes

4.3 Millores addicionals

4.3.1 ColorSelector

4.3.2 Lectura de fitxers automàtica

4.3.3 Millores en la interfície gràfica d'usuari

4.3.4 Interaccions amb la màscara

4.1. Desenvolupament del MIDA

El nou mètode de visualització que es proposa analitzar en aquest treball s'anomena **Maximum Intensity Difference Accumulation** desenvolupat per Stefan Bruckner i M. Eduard Gröller de la Universitat Tecnològica de Viena, Àustria [13].

La idea bàsica del MIDA és alternar l'acumulació del DVR per exhibir característiques similars al MIP. Convencionalment en DVR, quan es tracen els rajos del Ray Casting des de l'observador, l'acumulació de les contribucions de cada punt al llarg del volum és una funció monòtonament incremental. Això significa que els vòxels localitzats entre regions amples i no transparents tendeixen a tenir menys influència en la imatge final. Aquest fet, freqüentment provoca que les dades interessants o importants estiguin immerses en uns "boira" que les oculta. Utilitzant funcions de transferència més complexes es pot aconseguir solucionar el problema, però això implica, significativament, un augment del temps d'interacció de l'usuari per a definir correctament les funcions de transferència a cada pacient.

El MIP, per altra banda, fa cas omís de les oclusions que pugui haver-hi al llarg del raig i només pinta el valor màxim que troba. Aquest fet, provoca pèrdues en la percepció de profunditat de les visualitzacions finals.

En el mètode de MIDA es preten adaptar el comportament del DVR per prevenir l'ocultació de màxims locals mentre es preserva l'acumulació d'opacitat.

Per a desenvolupar el MIDA s'assumeix una funció $f(P)$ de dades numèriques i normalitzades en el rang $[0,1]$ que proporciona el valor d'un vòxel donada la seva posició dintre el volum. A la mostra i , de posició P_i al llarg del raig, $f(P_i)$ denota el valor de vòxel a la localització P_i i f_{max_i} és el màxim valor trobat al llarg del raig fins al moment. Es travessa el volum de davant cap en darrere (front-to-back). S'utilitza $c(f(P_i))$ i $\alpha(f(P_i))$ per denotar el color i l'opacitat respectivament obtinguts de la funció de transferència, en el cas concret d'aquest projecte és una funció lineal en què el color RGBA és $f(P_i) = (R=f(P_i), G=f(P_i), B=f(P_i), A=f(P_i))$. S'anomena C_i i α_i al color i l'opacitat acumulats durant el raig fins a l'element i -èsim. C_0 i α_0 són inicialment zero.

L'interés està en regions on el màxim al llarg del raig canvia. Concretament, quant més s'incrementa el màxim, més influència haurà de tenir en la imatge final. S'utilitza δ_i per a classificar aquest canvi per a cada vòxel:

$$\delta_i = \begin{cases} f_{P_i} - f_{max_i} & \text{if } f_{P_i} > f_{max_i} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \begin{matrix} (1) \\ (2) \end{matrix}$$

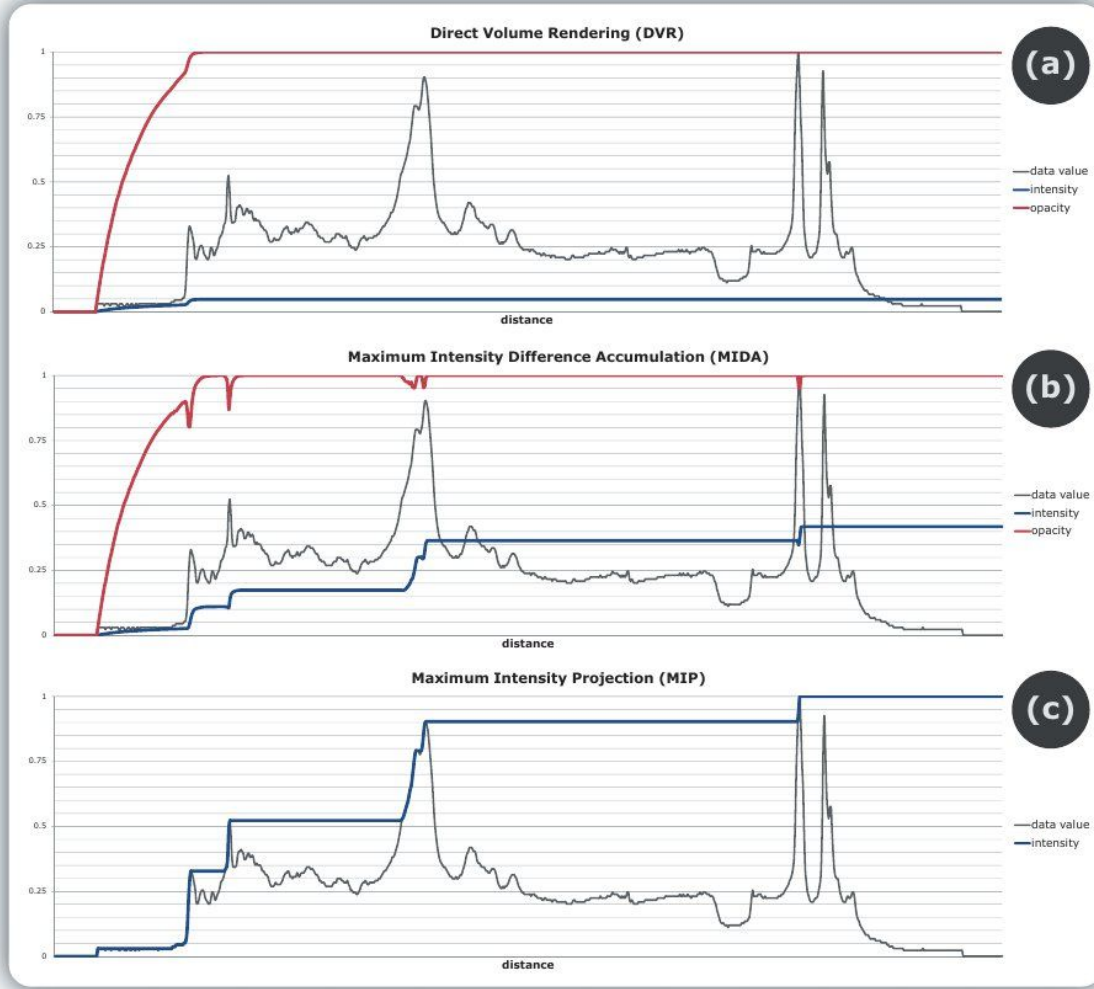


Figura 5: Caraterístic contord del raig per (a) DVR, (b) MIDA i (c) MIP

Quan es troba un nou màxim mentre es travessa el raig, δ_i és diferent de zero. Quan δ_i és zero, són els casos en què es vol anul·lar les relacions d'occlusió. Per això, el color acumulat anterior C_{i-1} i l'opacitat anterior α_{i-1} són ponderades pel factor $\beta_i = 1 - \delta_i$. Per a calcular el color acumulat en el punt i C_i i α_i s'utilitzen les següents funcions:

$$c_i = \beta_i c_{i-1} + (1 - \beta_i \alpha_{i-1}) \alpha(f_{P_i}) c(f_{P_i}) \quad (3)$$

$$\alpha_i = \beta_i \alpha_{i-1} + (1 - \beta_i \alpha_{i-1}) \alpha(f_{P_i}) \quad (4)$$

Les dues equacions que s'utilitzen per aquest mètode (3 i 4) difereixen del DVR en què s'afegeix la ponderació de β_i sobre el color i l'opacitat acumulada (C_{i-1} i α_{i-1}) per modular el color i l'opacitat acumulats actuals (C_i i α_i). Una manera d'interpretar la modulació del color i l'opacitat acumulada prèviament en el MIDA és una funció d'especial importància que assigna la màxima prominència als màxims locals.

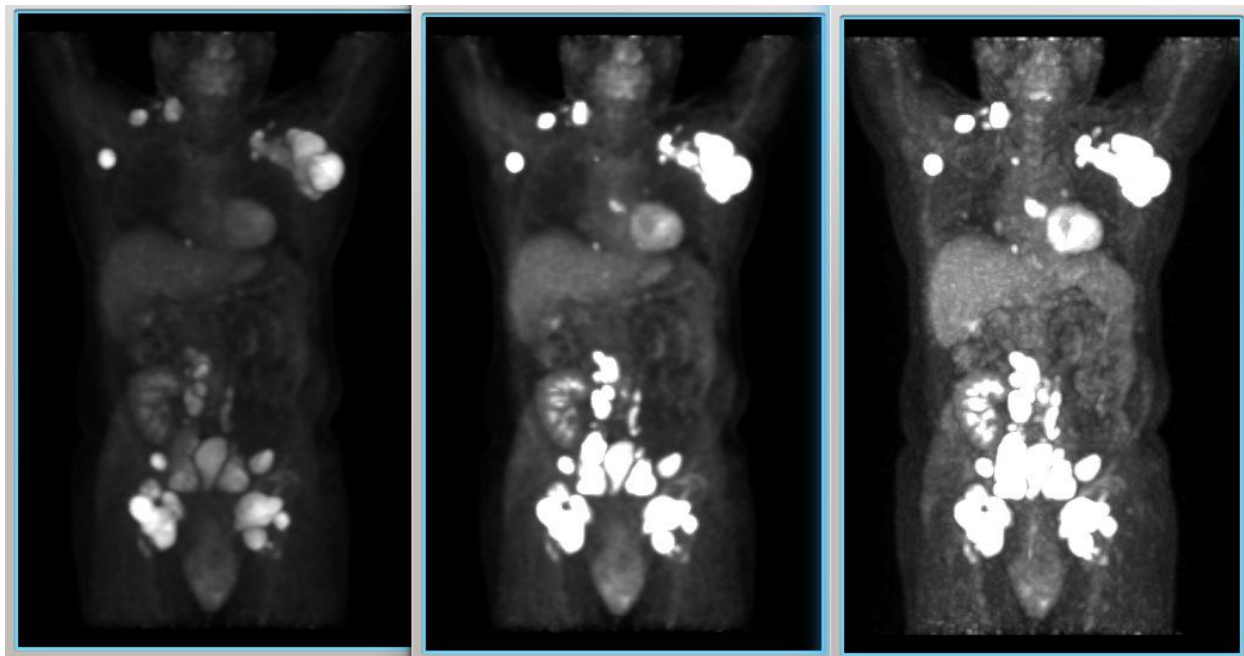


Figura 6: Visualització PET renderitzat per DVR, MIDA i MIP respectivament.

En la imatge anterior es mostra el mateix volum utilitzant els tres mètodes diferents, DVR, MIDA i MIP.

En el cas del DVR, l'opacitat és acumulada ràpidament en una intensitat generalment baixa, el que provoca una boira fosca, que queda camuflada amb el fons negre. Per al MIP, el valor pintat sempre és el màxim trobat al llarg del raig. Amb el MIDA, a causa de l'acumulació d'intensitats i opacitats quan un nou màxim es trobat, el MIDA imita el comportament del MIP.

Com es pot observar en la imatge anterior, el MIDA permet veure intensitats i parts del cos que no són visibles amb el DVR i sense utilitzar complexes funcions de transferència. En comparació amb el MIP, el MIDA atorga percepció de profunditat a causa de l'acumulació i ajuda a interpretar i ubicar les parts del cos.

En lloc de substituir el DVR o el MIP per aquest nou mètode s'ha d'utilitzar el MIDA com a punt intermedi entre els dos mètodes. Alguns volums de dades es poden visualitzar millor amb DVR, però per d'altres, el MIP serà el més adequat. Tot i així en la pràctica, el més desitjat és tenir les característiques dels dos mètodes. Per tant, una aproximació valuosa és utilitzar el MIDA com a transició entre els dos mètodes DVR i MIP.

Com s'ha mostrat, el MIDA representa un híbrid entre els dos mètodes i per tant, és un bon punt de partida per fer la transició cap a DVR o MIP.

4.1.1. Traspàs de MIDA a DVR

Per a poder obtenir un DVR utilitzant el MIDA primer s'ha d'afegir un nou paràmetre $\Upsilon \in [-1,1]$ definit de la següent forma: si $\Upsilon = -1$, el mètode de renderització és exactament el DVR i si $\Upsilon = 0$, el mètode de renderització és el MIDA. Valors de $\Upsilon \in (-1,0)$ donen com a imatge resultant una transició suau entre el DVR i el MIDA.

Com s'ha descrit anteriorment en l'apartat 4.1, el MIDA utilitza una modulació addicional, respecte el DVR, de l'acumulació al llarg del raig. Si $\beta_i = 1$ per a tots els valors al llarg del raig, el resultat és una visualització en DVR. Per a una transició suau entre MIDA i DVR, simplement cal modificar el paràmetre β_i de la següent manera:

$$\beta_i = \begin{cases} 1 - \delta_i(1 + \gamma) & \text{if } \gamma < 0 \\ 1 - \delta_i & \text{otherwise} \end{cases} \quad \begin{matrix} (5) \\ (6) \end{matrix}$$

Visualment, a mesura que disminueix el paràmetre Υ , la imatge es va oclent més i més fins a arribar al DVR.

En la interfície del software s'habilita un slider, o lliscador, que modifica en temps real el paràmetre Υ i permet a l'usuari veure el resultat i el canvi que aporta visualment aquest paràmetre.

4.1.2. Traspàs de MIDA a MIP

Per a poder obtenir el MIP utilitzant el MIDA, s'utilitza el mateix paràmetre Υ descrit en l'apartat anterior, amb l'afegit que si s'utilitza $\Upsilon = 1$, s'obté una renderització exactament igual al MIP.

Si $\Upsilon > 0$, s'interpol·la linealment entre el color i l'opacitat obtinguts a través del MIDA i el color i l'opacitat màxims després de què el raig hagi travessat el volum, utilitzant com a ponderació el paràmetre Υ .

$$C, \alpha \begin{cases} (1 - \gamma)C + \gamma f_{max} & \text{if } \gamma > 0 \\ C, \alpha & \text{otherwise} \end{cases} \quad \begin{matrix} (14) \\ (15) \end{matrix}$$

La interpolació es realitza utilitzant el paràmetre Υ com a ponderador del color. Des de MIDA fins a MIP, les imatges tenen les mateixes característiques bàsiques, els principals impactes d'aquesta transició són la reducció gradual de l'ombra i l'enfosquiment de les zones on hi ha més acumulació.

En l'enllaç <https://www.youtube.com/watch?v=qGGWTvY3pHM> hi ha un vídeo on es poden veure els efectes d'aquesta transició, com el paràmetre Υ afecta en la imatge en una transició de MIDA a MIP.

4.1.3. La màscara al MIDA

Com ja s'ha explicat anteriorment, es disposa d'una màscara binària que indica si en una posició determinada hi ha tumor. Si és així, s'aprofita aquesta informació per a pintar d'un color diferent i obtenir una segmentació visual de les parts tumoral del cos.

Pel fet que el mètode MIDA descrit anteriorment no utilitza el concepte de màscara per a la detecció de tumors, s'ha desenvolupat aquesta nova característica.

La màscara afecta al nostre mètode provocant l'aparició de màxims al llarg del raig a on hi ha la màscara. Per a fer-ho es modifica el càlcul del paràmetre δ de la següent manera:

$$\delta = \begin{cases} f_{P_i} - f_{max_i} & \text{if } (f_{P_i} > f_{max_i} \text{ or } mask) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \begin{matrix} (7) \\ (8) \end{matrix}$$

D'aquesta manera s'obté, que en el moment en què es detecta part tumoral, es forma un màxim fals en aquell punt provocant que el valor de vòxel actual tingui una major importància, i per tant es visualitzi més, sense perdre la sensació d'aprofundiment que dona l'acumulació del MIDA. El problema que comporta és l'ocultació de la informació darrera del tumor, en especial si el tumor té un gruix considerable, ja que s'està donant molt valor a un conjunt seguit de dades.

Tot i així, la visualització de la màscara no és la desitjada, ja que el gruix del tumor oculta informació i no permet veure més enllà. Per això s'ha optat per a realitzar una modificació que permeti eliminar el gruix del tumor i obtenir informació de la part posterior del tumor.

Com a nova contribució del projecte es proposa modificar el mètode MIDA per a què, a mesura que el raig travessa els vòxels: es calcula si intersecciona amb la màscara, el màxim local dins de la màscara i només es realitza l'acumulació del valor màxim dintre el tumor, és a dir, en els vòxels on el tumor és present (dins de la màscara).

En termes de Ray Casting, es llança el raig front-to-back i es realitza la renderització per MIDA mentre no hi hagi tumor/màscara. En el moment en què es troba el tumor, es para de renderitzar per MIDA i es busca el màxim local dintre del tumor, seguint el raig. Un cop sortit del tumor i amb el màxim trobat, s'utilitza el mètode MIDA amb el color acumulat abans d'entrar al tumor i el màxim local dintre del tumor.

Per a realitzar aquest procés també es necessari modificar δ_i de la següent manera:

$$\delta = \begin{cases} \text{abs}(fmax_{mask} - fmax_i) & \text{if}(exitmask) \\ f_{P_i} - fmax_i & \text{if } (f_{P_i} > fmax_i \text{ or } mask) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \begin{matrix} (9) \\ (10) \\ (11) \end{matrix}$$

Amb aquesta nova visualització de la màscara s'obté més visibilitat del tumor i permet observar només el contorn del tumor, obtenint millor percepció del volum. A més, n'aporta molta informació del que hi ha al dors del tumor, informació que abans quedava oculta pel gruix del tumor.

Per perfeccionar la visualització de la màscara, s'ha afegit un color i una opacitat a la màscara de manera que l'usuari pot escollir el color i l'opacitat amb què pintar la màscara. D'aquesta manera es permet seleccionar el color que crea més contrast i amb el que millor es pot veure el tumor.

Per a utilitzar aquest color dins del MIDA es realitza una interpolació de Blending entre el color i l'opacitat acumulats i el color i l'opacitat de la màscara utilitzant un nou paràmetre anomenat K, que modula la quantitat de color que s'aplica de cada part. Per a realitzar-ho s'han utilitzat les equacions següents en que:

$$c(f_{P_i}) = kc_{mask} + (1 - k)c(f_{P_i}) \quad (12)$$

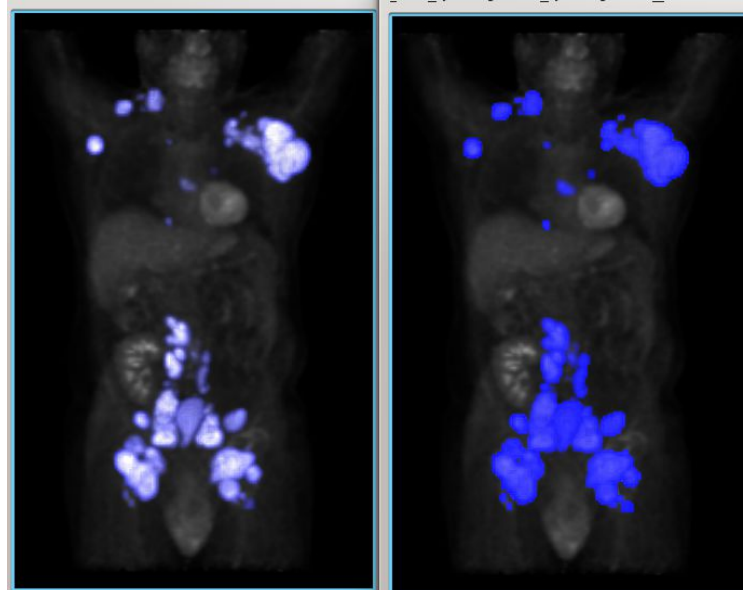
$$\alpha(f_{P_i}) = k\alpha_{mask} + (1 - k)\alpha(f_{P_i}) \quad (13)$$

Cmask és el color de la màscara, α mask és l'opacitat de la màscara.

k és el pes de l'interpolació.

Amb aquesta interpolació es pot obtenir una millor visualització de l'àrea tumoral, ja que es pot indicar el color i l'opacitat de la màscara i seleccionar la visualització que aporti més detall.

Figura 7: PET renderitzat per MIDA amb $k=0.23$ i $k=0.75$, d'esquerra a dreta



4.2. Diagrama de Classes

Aquest projecte és una continuació del projecte “Ray Casting de Volum:CPU vs GPU” de Sergi Garcia Trancoso, en què s’estudia la tècnica de Ray Casting en GPU i CPU utilitzant diferents mètodes de visualització de dades científiques. Aquest projecte es focalitzava molt en el procés de Ray Casting i en com la utilització de targetes gràfiques millorava el resultat i el temps d’execució en comparació amb la unitat de processament o CPU.

En el present projecte es pretén anar un pas més enllà i donar la possibilitat de crear nous mètodes de visualització de forma simple i sense gaires complicacions per entendre i modificar el codi.

El diagrama del anterior projecte mostra com estan distribuïdes les classes i s'observa que l'escena, que anteriorment s'ha comentat que és una part important del procés de visualització, conté els objectes necessaris per visualitzar i realitza totes les tasques de Ray Casting, tant en GPU com en CPU, i forma part del controlador.

Així doncs, vist com estava distribuït l'anterior projecte, s'ha decidit realitzar una sèrie de modificacions per a millorar l'execució i donar facilitat a noves incorporacions d'altres mètodes.

Pensant en tot l'esmentat, s'ha realitzat el següent diagrama de classes.

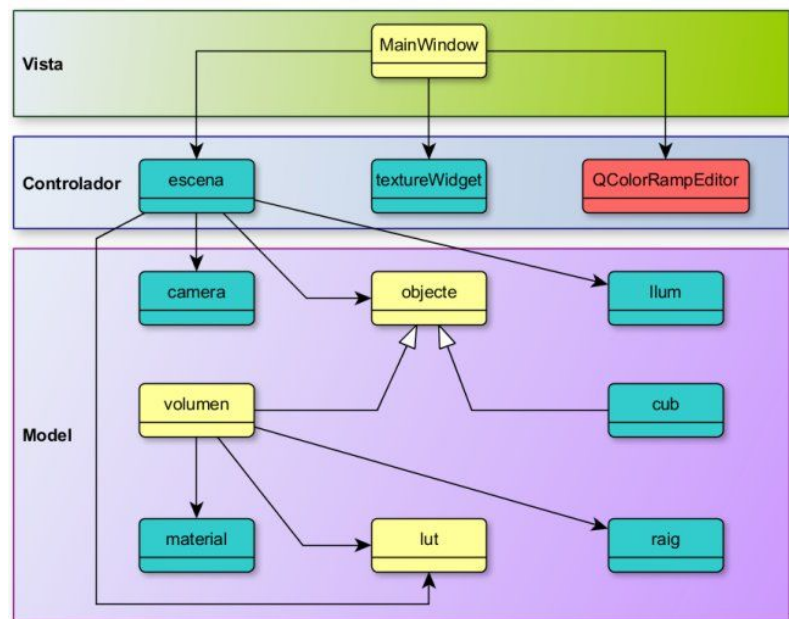


Figura 8: Diagrama de classes antecessor

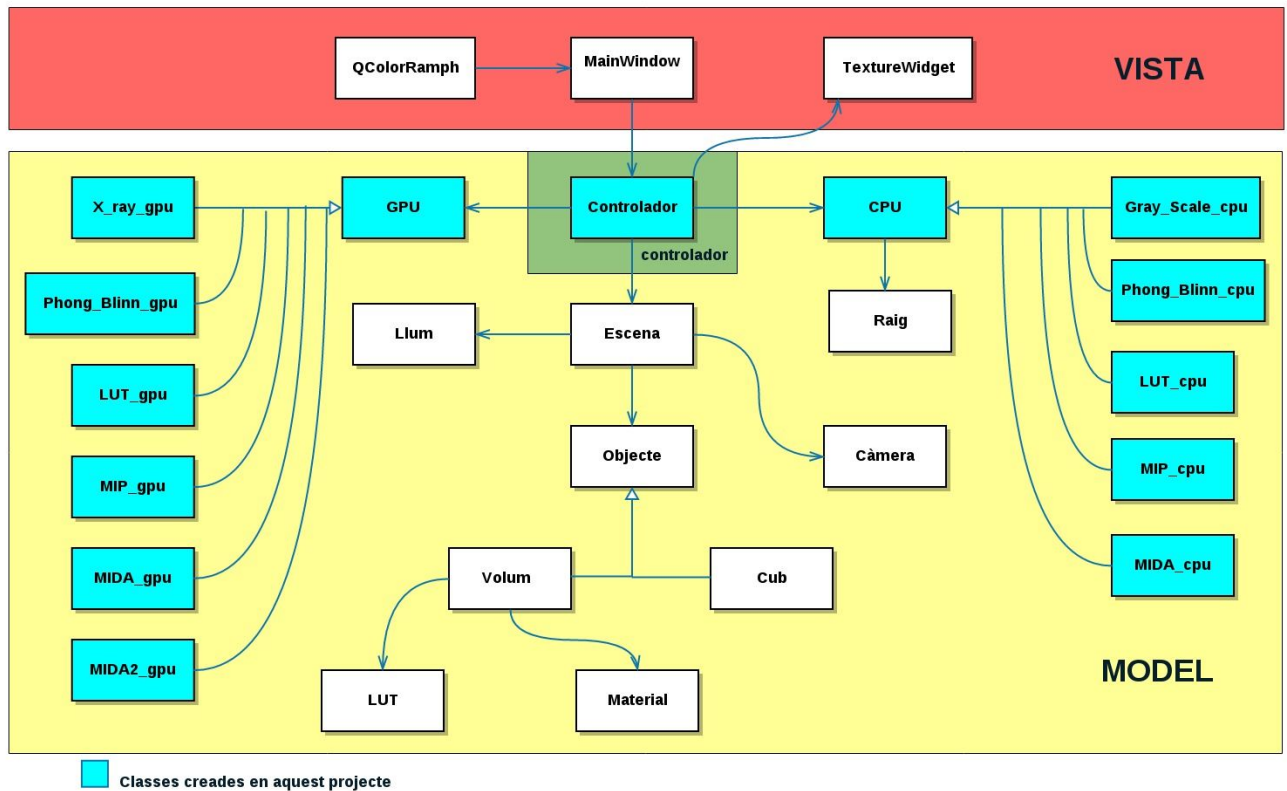


Figura 9: Diagrama de classes del projecte actual

Amb aquest nou diagrama s'aconsegueixen els següents objectius:

- Separar completament el procés de GPU i CPU

Gràcies a aquest nou diagrama s'ha pogut separar completament els dos tipus de càlcul que hi havia al projecte, és a dir, hem separat el càlcul del Ray Casting utilitzant la CPU del Ray Casting utilitzant la GPU, mantenint sempre l'escena com a classe principal del nostre software de visualització. D'aquesta manera, també obtenim poder crear els shaders que s'executaran a la targeta gràfica sense interferir en l'execució de la CPU. Cal afegir que amb aquesta nova reestructuració es permet poder eliminar una de les branques de càlcul (GPU o CPU) de forma independent de la resta, per si en un futur es decideix eliminar alguna part.

- Creació i execució de Shaders[12] independents

Fins ara només hi havia un únic fitxer de vèrtex i fragment shader en què es decidia el mètode de visualització a partir d'un identificador que es passava des de la CPU cap a la GPU. A partir d'ara, cada mètode de visualització té un arxiu vèrtex i fragment diferent, això implica que només es compila l'arxiu i el mètode de visualització que decidim, millorant l'estructura, la compilació i l'execució del codi.

- Creació d'un únic controlador

Amb la unió dels controladors s'obté un punt d'unió entre la vista i el model, facilitant el flux de les dades i el seguiment del codi. A més a més, permet que es pugui canviar la vista de l'aplicació només modificant la classe mainwindow i cridant a les funcions del controlador.

- Traspàs de la classe escena al model

S'ha traspassat la classe escena al model i s'han mogut les funcions de Ray Casting per CPU cap a la classe CPU i les classes que hereten.

Amb aquest redisseny s'aconsegueix que per a incorporar un nou mètode només s'hagin de modificar les classes MainWindow, Controlador i crear una nova classe herència, és a dir, una classe MetodeX_gpu que hereti de GPU o una classe MetodeX_cpu que hereti de CPU segons els processadors que es vulguin utilitzar. Aquesta modificació simplifica i facilita la incorporació de nous mètodes de visualització.

A MainWindow s'hauria de crear un nou botó a la interfície, una nova acció i una parella signal-slot per a enllaçar l'event amb una funció. Aquesta funció només hauria de cridar a una nova funció de la classe Controlador passant els atributs necessaris.

A la classe Controlador, s'hauria de crear una funció que seria cridada des de la classe MainWindow. Aquesta nova funció de la classe Controlador hauria de crear una nova instanciació de la classe nova.

Per finalitzar només quedaria executar el Ray Casting del nou mètode creat.

- Eliminació de comparacions

Amb tots aquests nous canvis obtenim un codi més simple però més distribuït en classes sense utilitzar condicionals ni comparacions, provocant una disminució del nombre d'instruccions a executar i, per tant, un increment en la rapidesa en l'execució del codi.

Sobretot, aquests canvis són importants en bucles que executen moltes vegades instruccions comparatives i canviat-ho per herències permetem un codi més apurat i precís.

Per finalitzar aquest apartat, afegir que s'han creat dues classes auxiliars, la classe paràmetres i la classe arxiu, que ajuden en la manipulació i transmissió de les dades i permeten organitzar el codi.

4.3. Millores addicionals

En aquest apartat del desenvolupament s'explica quines eines i característiques s'afegeixen al projecte per ajudar en la manipulació i correcta visualització del volum de dades.

L'objectiu de les noves eines és el de proporcionar interacció entre l'usuari i la visualització de les dades permeten a l'usuari modificar o manipular paràmetres utilitzats en el procés de visualització.

Les millores que es realitzen en el programa han sigut dissenyades pensant en facilitar i proporcionar a l'usuari final la millor experiència possible amb l'aplicació.

Les millores realitzades són les següents:

- 4.3.1.- Color Selector
- 4.3.2.- Lectura de fitxers automàtica
- 4.3.3.- Millores en la interfície gràfica d'usuari
- 4.3.4.- Interaccions amb la màscara

4.3.1. Color Selector

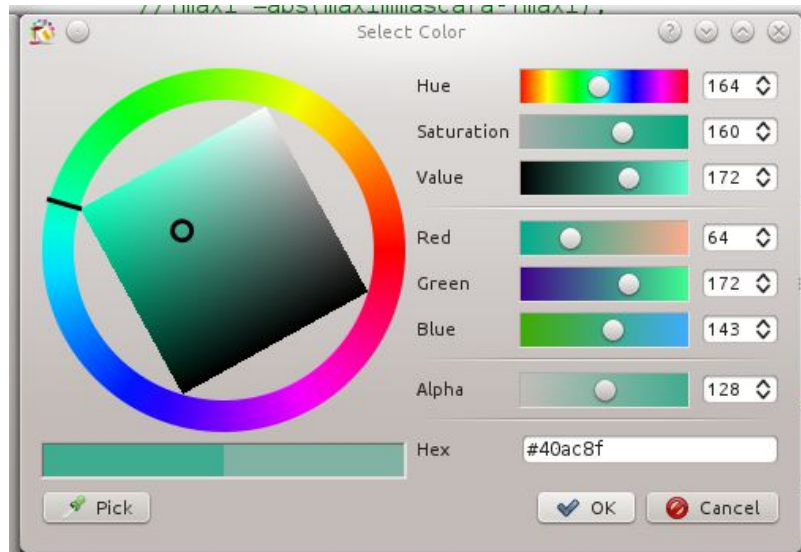


Figura 10: Interfície gràfica del Selector de Color

En aquest projecte s'integra un nou selector de color[14], una interfície gràfica que permet seleccionar el color i l'opacitat d'aquest.

Amb aquest nou selector de color podem determinar de quin color es desitja per la màscara i amb quina opacitat s'ha de mostrar. També s'utilitza per a seleccionar els colors que formen part del mètode de visualització LookUp Table i definir els colors i l'opacitat que s'interpolen.

El fet de donar color a una part de la imatge permet segmentar la imatge visualment en dues parts: les parts sanes del cos i les parts tumorals. A més a més, els diferents colors proporcionen més detall en funció de la tonalitat de grisos que hi hagi al voltant del tumor.

La innovació en aquest projecte, ha estat la incorporació de la component alfa, o opacitat, en el selector de color. Aquesta nova propietat permet gestionar la quantitat de transparència que es vol en el tumor i d'aquesta manera poder veure amb major detall les parts posteriors al tumor, ja que amb una opacitat constant no es podria veure el que hi ha al darrere del tumor.

Una de les parts fonamentals ha sigut el desenvolupament dels càlculs per a visualitzar en temps real, permetent així que es pugui veure el color que l'usuari ha seleccionat en el mateix moment i observant com alguns colors donen més detalls que altres. Ajustant la component d'opacitat s'aconsegueix una visualització més precisa i semblant a la desitjada per l'usuari.

4.3.2. Lectura de fitxers automàtica

Les dades PET que s'obtenen de les màquines mèdiques són codificades en arxius de tipus DICOM. DICOM(**D**igital **I**maging and **C**ommunication in **M**edicine)[15] és l'estàndard reconegut mundialment per l'intercanvi de proves mèdiques, pensant en el seu maneig, visualització, emmagatzematge, impressió i transmissió. DICOM ha sigut àmpliament adoptada per hospitals i està fent incursió en petites aplicacions d'oficines de dentistes i consultes mèdiques.

En aquest projecte, aquests fitxers DICOM són transformats a fitxers Analyze[16], parelles de fitxers .hdr i .img. Aquesta conversió d'arxius es realitza per què els arxius DICOM contenen molta informació relativa al pacient(nom, edat, pes, metge, data de l'estudi, protocol, etc...) dades que no són necessàries per al nostre projecte. A més a més, el format Analyze també és compatible amb la gran majoria de software de visualització de dades mèdiques.

En els arxius .img és a on esta la informació que dona la màquina mèdica, és a dir, el valor o la intensitat de cada vòxel; mentre que en els arxius .hdr hi ha informació de metadata sobre el format de l'arxiu i les característiques del volum que s'ha obtingut, com per exemple: dimensió del volum, gruix del tall, nombre de bits per cada vòxel, etc

Donat que es vol donar la millor eina per als nostres usuaris s'ha realitzat una sèrie d'algoritmes que permeten la càrrega dels dos arxius, img i hdr, tant del volum com de la màscara, i lectura automàtica de la dimensió del volum. Amb això s'evita que l'usuari hagi d'introduir les dades cada vegada que carrega un volum.

Per a realitzar aquest procés s'ha creat una nova classe Arxiu que conté els mètodes que realitzen les següents accions:

- Per a realitzar la càrrega dels dos arxius s'ha creat un algoritme que permet obtenir les dues direccions (o paths) a partir d'un, sempre i quan els dos estiguin en la mateixa carpeta.
- Per a la lectura automàtica de les dimensions, s'ha creat un algoritme en C capaç de llegir les propietats que conté l'arxiu .hdr i carregar-les en una estructura de dades. Un cop obtingudes totes les dades, s'agafa les dades referents a la grandària que són retornades per a la correcta lectura del fitxer .img.

Amb aquesta nova funcionalitat es dóna més independència a l'usuari i s'evita que hagi d'anar introduint dades cada vegada que carrega un nou volum de dades.

4.3.3. Millores en la interfície gràfica d'usuari

Durant la realització del projecte s'ha requerit de nous controls que permetin i facilitin la interacció de l'usuari amb l'aplicació. Pensant sempre amb l'usuari, s'ha intentat desenvolupar la interfície gràfica de forma que sigui simple, còmode, clara i fàcil d'utilitzar per a un usuari no expert.

S'han augmentat els controls en la barra del menú, permeten seleccionar en un sol click de ratolí la visualització desitjada, en la part inferior s'han afegit diferents sliders que permeten controlar paràmetres concrets, i a la part central s'ha augmentat la grandària dels Widgets de GPU i CPU de forma que permetin una millor visualització global del volum.

A la barra superior s'han agregat les següents opcions:

- **Background:** Aquesta opció permet canviar el color de fons i el color de les dades, de forma que es puguin veure les dades "blanquejades" amb fons negre o les dades en escala de grisos amb el fons blanc, com en la imatge anterior(figura 11). Per a crear aquesta opció s'ha modificat la visualització final de les dades de forma que es visualitza l'invers del color final calculat si l'opció de fons blanc esta activada.
- **Maximitzar GPU i CPU:** Aquests controls permeten augmentar la mida del widget seleccionat, de forma que només es visualitza un widget de l'amplada total de l'interfície. Aquesta opció oculta un dels dos widgets i reescala el widget mostrat però internament es canvia les dimensions del viewport de la càmera, en funció de la nova mida del widget, i es recalculen les matrius de visualització.
- L'opció de Controls torna a deixar la interfície en l'estat inicial, com el que es veu en la imatge anterior.

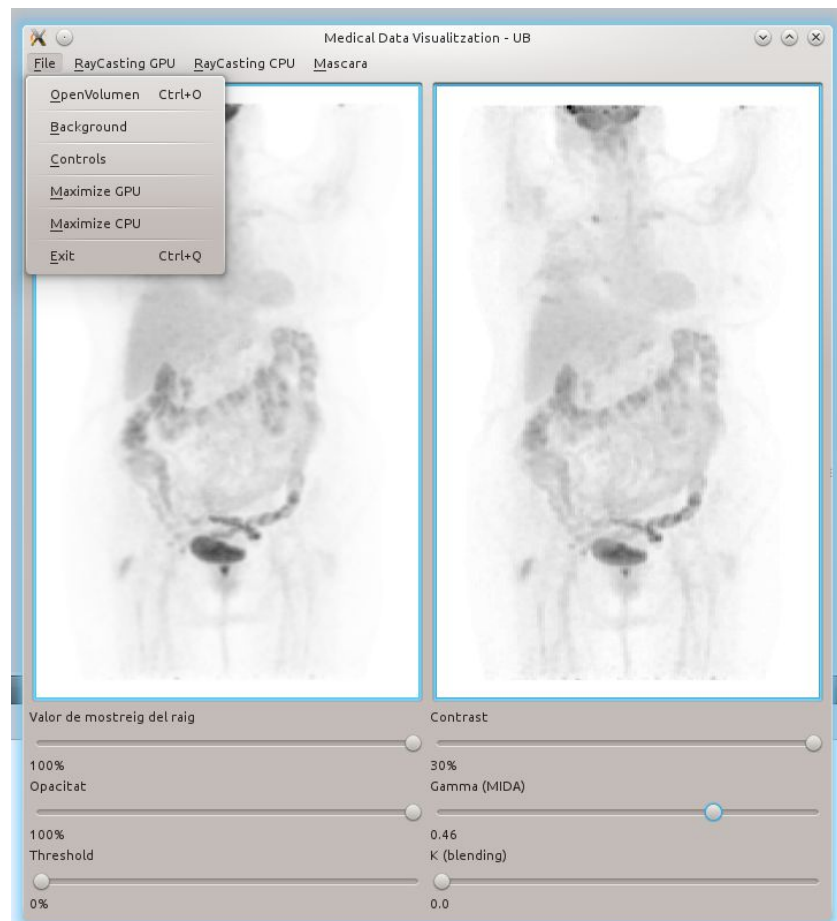


Figura 11: Interfície de l'aplicació

En relació als sliders(lliscadors) de la part inferior, s'han afegit els següents components:

- El Contrast o Cremació. Aquest slider permet augmentar o disminuir el contrast en la imatge final. Una problemàtica és que si s'augmenta molt aquest valor, i depenent de la imatge, es pot perdre detall en la visualització. No obstant, en àrees poc definides, l'ús del contrast permet distingir-les amb més facilitat.
- El control Gamma. Durant l'explicació del desenvolupament del mètode de visualització MIDA i la seva capacitat de passar de DVR a MIP, s'ha introduït un nou paràmetre gamma (γ) que permetia visualitzar el volum de dades en DVR o MIP segons el valor que aquest prenia. El slider Gamma(MIDA) permet la manipulació d'aquest paràmetre del mètode MIDA i la visualització del resultat final en temps real. D'aquesta manera proporcionem a l'usuari la capacitat de passar d'un mètode a l'altre (de DVR a MIP) de forma simple i de seleccionar la millor visualització segons el volum que es visualitzi, el nivell de detall i la zona observada.
- El slider K. En l'explicació de la màscara del MIDA s'explica com es pondera el color del volum i el color de la màscara utilitzant el paràmetre K com a càrrega entre els dos colors. Amb aquest slider es permet a l'usuari manipular en temps real aquest paràmetre i observar la visualització final i notar els canvis que aporta aquest paràmetre a l'observació de la part tumoral.

4.3.4. Interaccions amb la màscara

Una de les moltes diferències entre el projecte anterior i l'actual ha sigut la incorporació d'una màscara que permet veure i separar les parts tumorals de les parts sanes del volum de dades visualitzat.

Per a poder obtenir una correcta visualització de les zones tumorals, s'han implementat diferents característiques que permeten a l'usuari interactuar amb la màscara i així poder seleccionar la millor visualització que permeti als experts determinar l'abast del tumor. En el boto Màscara, en el menú superior de la interfície gràfica, es poden executar els següents controls:

- **Enable/Disable.** Aquest control permet activar i desactivar la màscara del nostre volum de dades. Això permet que es pugui visualitzar només el volum de dades i permetre així visualitzar detalls que poden ser ocultats per la màscara.
- **Only Mask.** Aquesta opció desactiva tot el volum de dades i només deixa visible la màscara del tumor. Aquesta opció permet a l'usuari situar millor el tumor en referència amb altres anomalies i permet eliminar qualsevol obstacle que impedeixi la correcta visualització del patogen. Pot ser útil en tomografies en què el tumor es trobi a la part posterior de la bufeta o el cor, ja que amb reactiu utilitzat en el PET aquests dos òrgans es mostren amb molta intensitat.
- **Color Selector.** Aquest control obre una interfície gràfica del selector de color descrit anteriorment. Amb aquest selector de color es pot escollir el color i l'opacitat en què es vol que es mostri la màscara. Aquest selector de color és molt important, ja que depenent del color seleccionat es podrà observar diferent grau de detall en la superfície del tumor i segons el nivell d'opacitat seleccionat, es podrà observar la profunditat i mida del tumor.

5. Resultats i Simulacions

En aquest apartat es mostren els resultats i simulacions obtinguts en l'execució del programa després d'implementar el software. Es mostren els diferents models utilitzats, els efectes que tenen els diferents paràmetres comentats al llarg del projecte , una comparativa del temps d'execució entre CPU i GPU i una comparativa de temps entre el MIDA amb màscara i sense màscara .

Els models utilitzats en les simulacions són els següents:

Identificador Model	Dimensions (vòxels)	Dimensió màscara (vòxels)	memòria (MB)
1246094_20110228	144x144x192	1.185	15,1875
178225_20101202	144x144x213	1.739	16,84863281
602503_20120914	144x144x213	17.727	16,84863281
983078_20110629	144x144x213	903	16,84863281
485184_20130220	144x144x444	4	35,12109375
1475575_20130606	144x144x213	81	16,84863281

Taula 1: Característiques dels datasets

L'ordinador utilitzat per a realitzar les simulacions té les següents característiques:

- **Targeta gràfica:** Nvidia GeForce GTX 550 Ti 1GB GDDR5, 192 cores, 1.8 Ghz i 98.4 GB/s d'ample de banda.
- **CPU:** AMD FX Series FX-8150 3.6 Ghz, 8 cores, 37 GB/s d'ample de banda. 16 GB de memòria RAM.

A continuació es mostren les diferents figures extretes de l'aplicació processades per GPU. En cada imatge s'informa del model utilitzat, el mètode de visualització i les característiques que s'han utilitzat per aconseguir la imatge.

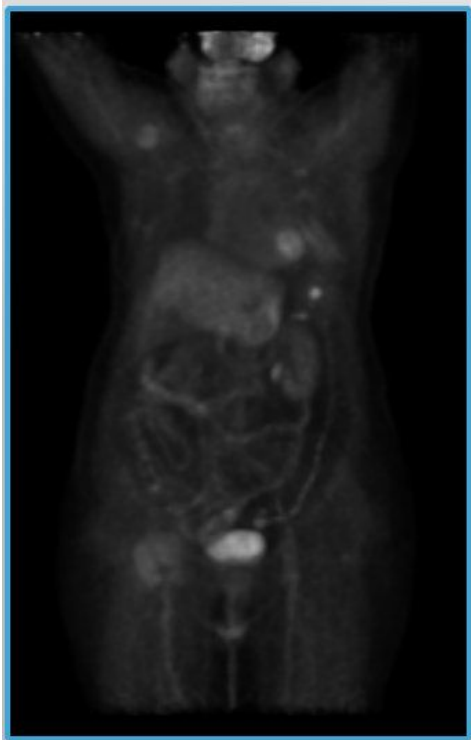
Simulació utilitzant DVR

Figura DVR1 :
Model
178225_20101202,
mètode DVR,
sense màscara i
background negre

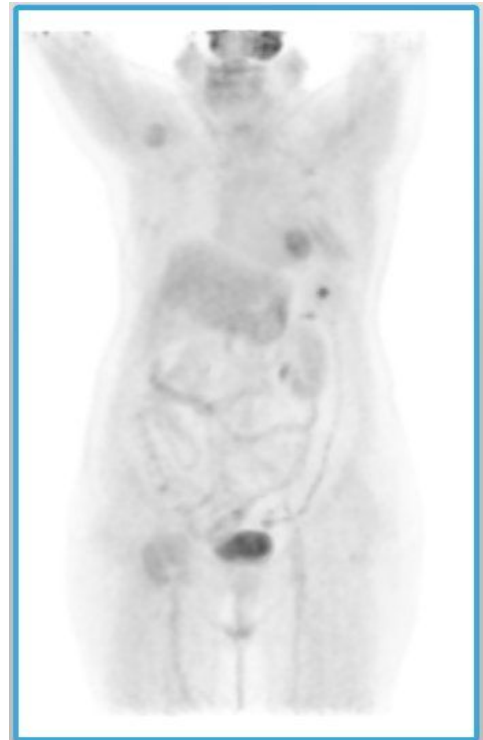


Figura DVR2 :
Model
178225_20101202,
mètode DVR,
sense màscara i
background activat

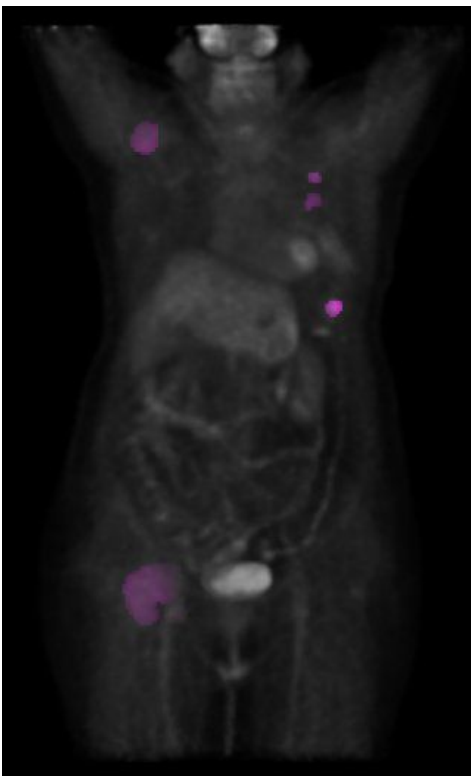


Figura DVR3 :
Model
178225_20101202,
mètode DVR,
màscara RGBA
(255,0,255,128) ,
K = 0.3.

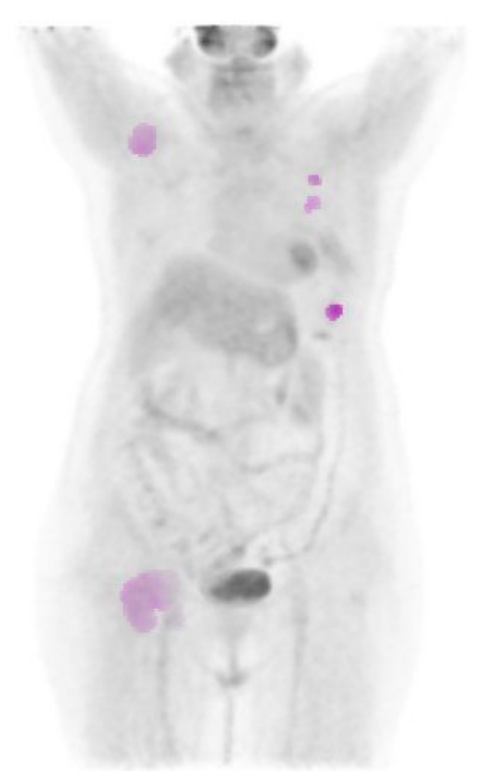


Figura DVR4 :
Model
178225_20101202,
mètode DVR,
màscara
(255,0,255,128) ,
K = 0.3,
background activat



Figura DVR5 :
Model
178225_20101202,
mètode DVR,
màscara RGBA
(255,0,255,128) ,
K = 1.0



Figura DVR6 :
Model
178225_20101202,
mètode DVR,
màscara
(255,0,255,128) ,
K = 1.0, background
activat

Com s'observa en les figures DVR1 i DVR2 el mètode DVR proporciona una bona visualització de les dades però no perfecta. El DVR no mostra tumors que amb el MIP o el MIDA es poden visualitzar, a més d'encobrir i dificultar la visualització de petits detalls. El fons en blanc aporta més detall en les zones de baixa intensitat. En les figures DVR3 i DVR4 s'observa com afecta el blending (k) en la visualització de la màscara.

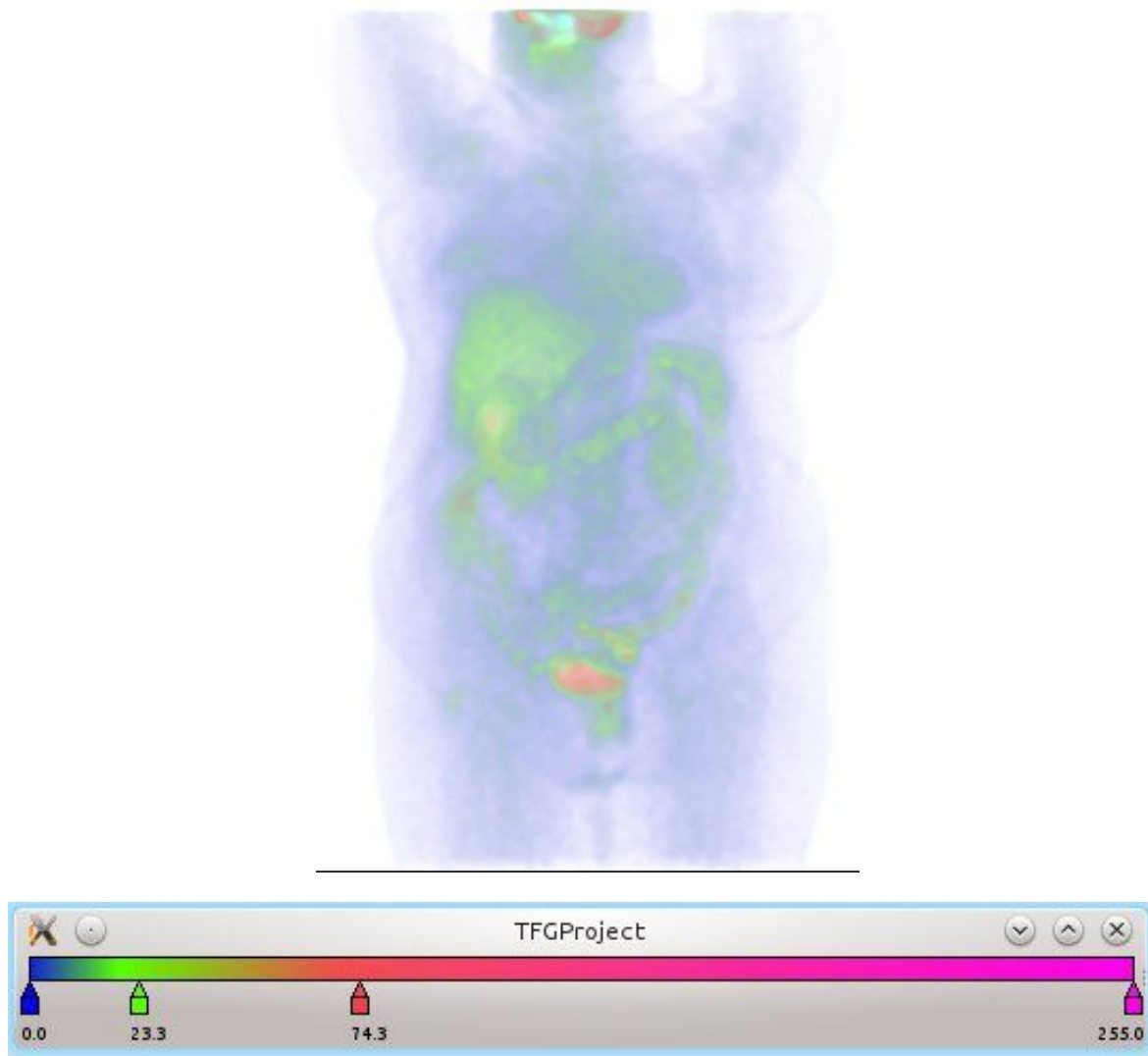
SimulacióutilitzantLUT

Figura LUT1: Model 1475575_20130606, mètode LUT

Com es pot apreciar, el mètode LUT permet realitzar una segmentació de les parts del cos en funció dels valors introduïts en la funció de transferència. L'opacitat del selector de color permet donar més intensitat a un color o a un altre en funció dels paràmetres introduïts.

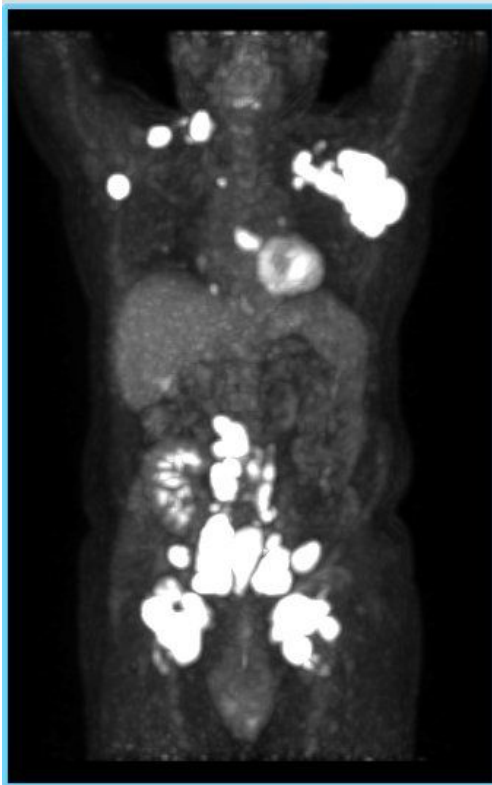
Simulació utilitzant MIP

Figura MIP1: Model 602503_20120914, mètode MIP, sense màscara.

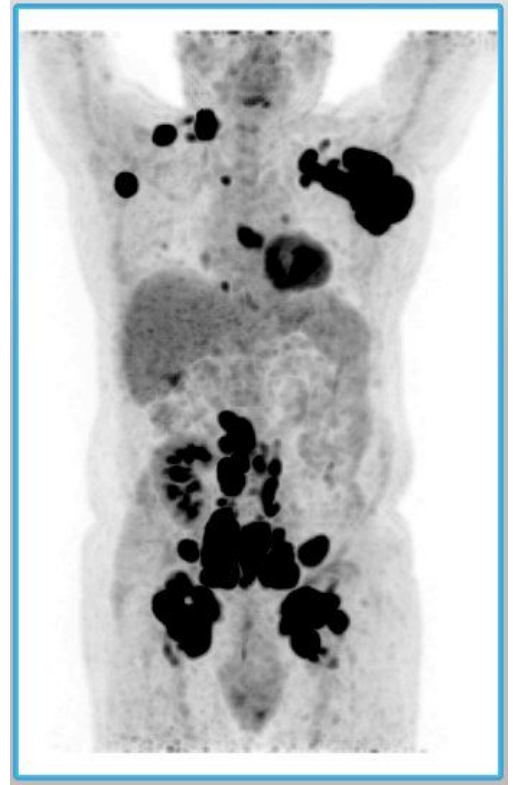


Figura MIP2: Model 602503_20120914, mètode MIP, sense màscara, background activat

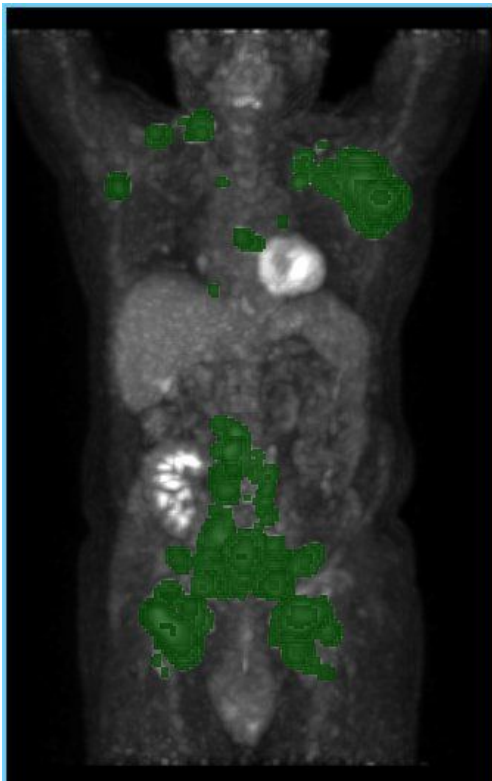


Figura MIP3: Model 602503_20120914, mètode MIP, màscara RGBA (0,255,0,255), $K = 0.25$



Figura MIP4: Model 602503_20120914, mètode MIP, màscara RGBA (0,255,0,255), $K = 0.25$, background activat

**Figura MIP5:**

Model 602503_
20120914, mètode
MIP, màscara RGBA
(0,255,0,255),
K = 1.0

**Figura MIP6:**

Model 602503_
20120914, mètode
MIP, màscara RGBA
(0,255,0,255),
K = 1.0,
background activat

Com s'observa en les imatges, el mètode MIP mostra el valor màxim del raig que travessa el volum en el píxel corresponent, mostrant les parts amb més intensitat. En contra, el MIP elimina la percepció de profunditat que el DVR aporta i, solapa i uneix, de forma visual, diferents regions del cos.

Es pot visualitzar com la component K del blendig permet mostrar la textura de la màscara, mentre que amb un valor massa elevat es perd aquesta informació. També es pot comparar com són els resultats amb fons blanc(background activat) i amb fons negre, permeten així seleccionar la característica que aporta més detall segons el dataset utilitzat.

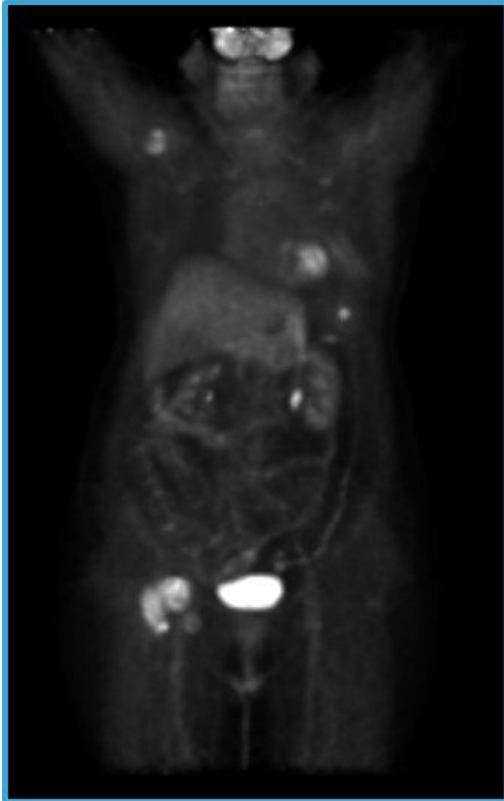
Simulació utilitzant MIDA

Figura MIDA1:
178225_20101202,
mètode MIDA,
sense màscara

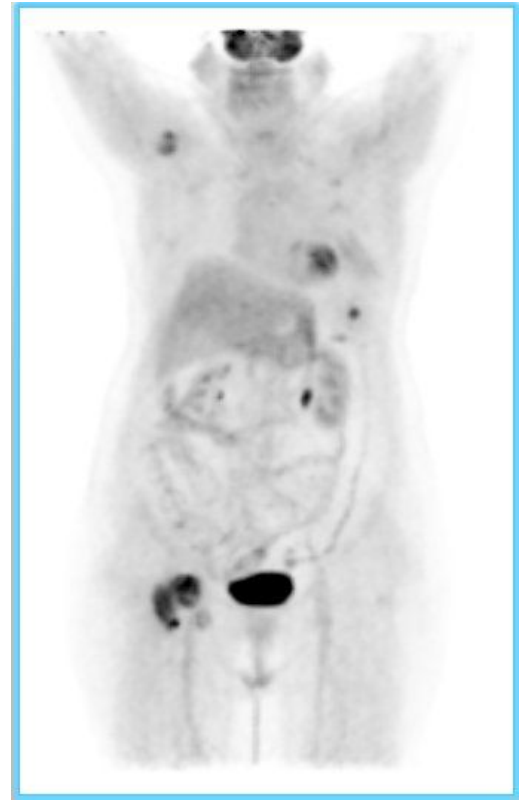


Figura MIDA2:
178225_20101202,
mètode MIDA,
sense màscara,
background activat

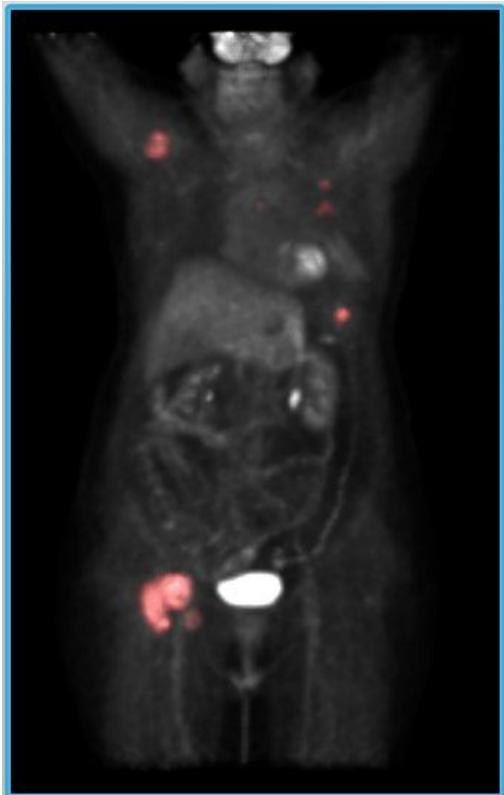


Figura MIDA3:
178225_20101202,
mètode MIDA,
màscara RGBA
(255,0,0,128) ,
K =0.27

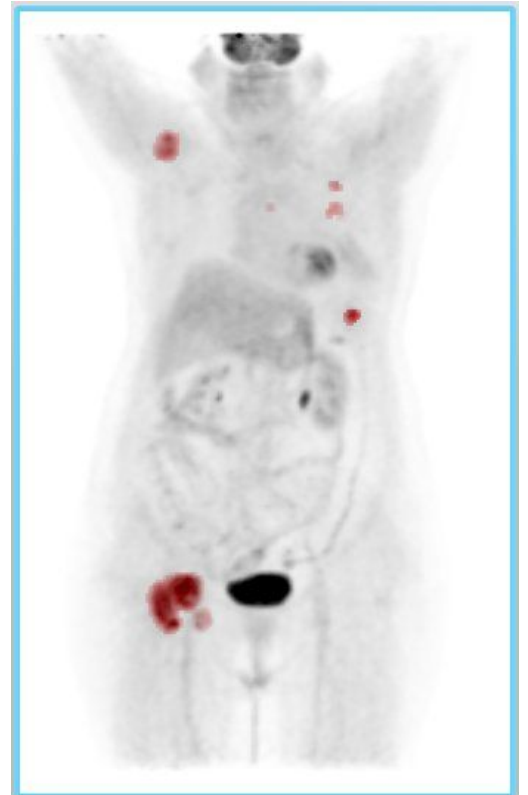


Figura MIDA4:
178225_20101202,
mètode MIDA,
màscara RGBA
(255,0,0,128) ,
K =0.27,
background activat

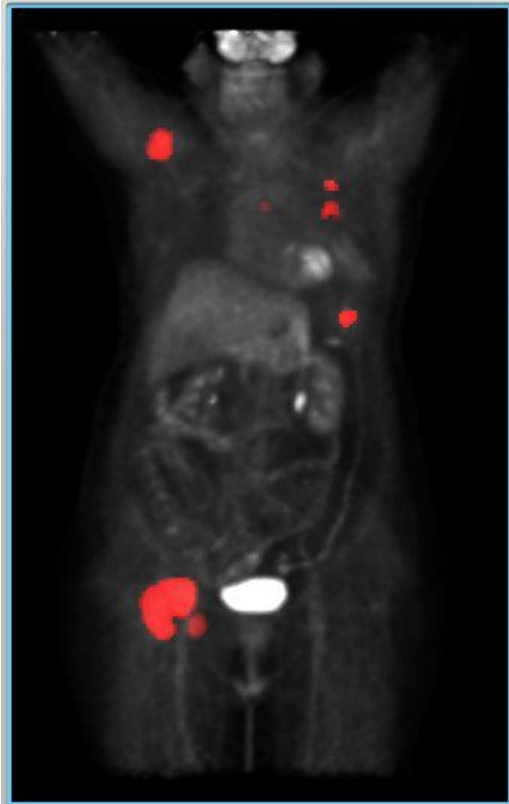
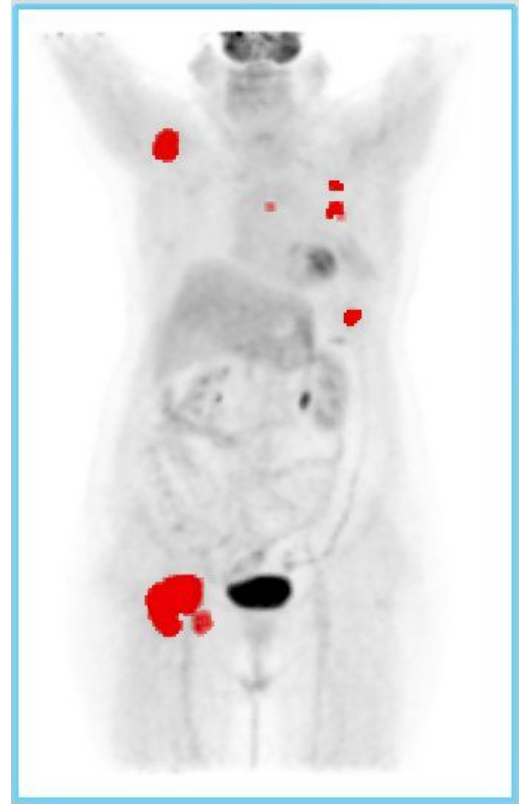


Figura MIDA5:
178225_20101202,
mètode MIDA,
màscara RGBA
(255,0,0,128) ,
K =1.0

Figura MIDA6:
178225_20101202,
mètode MIDA,
màscara RGBA
(255,0,0,128) ,
K =1.0,
background activat



Com es pot observar en les imatges anteriors, el MIDA és una combinació del mètode DVR i el MIP. Aquesta característica permet perfeccionar la visualització del volum de dades per seleccionar la millor opció per a cada dataset.

En l'enllaç <https://www.youtube.com/watch?v=8hXvWIda4g> es troba un vídeo en què es va alterant el paràmetre γ progressivament i s'observa el canvi de DVR a MIDA i a MIP.

5.1. Comparació de temps d'execució GPU vs CPU

Tamany dataset	DVR	DVR	Phong Blinn	Phong Blinn	LUT	LUT	MIP	MIP	MIDA	MIDA
	GPU	CPU	GPU	CPU	GPU	CPU	GPU	CPU	GPU	CPU
128x128x128	0,027	3,89	0,017	9,047	0,028	4,076	0,017	3,975	0,018	4,197
144x144x213	0,033	15,398	0,034	20,125	0,034	15,446	0,033	15,556	0,034	17,978
144x144x444	0,061	4,525	0,062	4,702	0,081	4,554	0,055	4,357	0,052	4,592

Taula 2: comparació del temps(en segons) d'execució dels diferents mètodes de visualització

Com s'observa en les dades, la capacitat de càlcul de la GPU és molt major a la de CPU això és degut al fet que a la GPU conté més processadors(cores) els quals tots treballen alhora i paral·lelament amb diferents dades, però executant el mateix programa(shader). En canvi a la CPU només hi ha un processador que executa tota la feina i això provoca que entri en un bucle molt llarg, tant com rajos es llancin en el Ray Casting, amb càlculs de gran dificultat i molts accessos a memòria.

A favor de la CPU direm que permet realitzar càlculs molt diversos i això provoca una gran complexitat. A més, la CPU utilitza la memòria RAM de l'ordinador, una memòria molt ràpida i de gran dimensió, que també està integrada en la targeta gràfica(GPU) però és més petita. Això restringeix el volum de dades possible de calcular a la GPU.

Entre mètodes de visualització, s'observa en les dades que el mètode Phong Blinn necessita més temps d'execució i això és a causa del fet que realitza grans càlculs d'il·luminació que requereixen molts accessos a memòria. Entre el mètode MIP i MIDA s'observa que, com ja se sap, són molt semblants però també el MIDA realitza càlculs més complexos i implica més temps d'execució.

En conclusió i amb les dades a la mà es veu com, gràcies a la GPU, podem realitzar visualitzacions gairebé a temps real i amb una major resolució en la imatge. L'avantatge que aporta la GPU envers a la CPU indica que la GPU és una gran "maquina" de càlcul molt potent però poc aprofitada.

5.2. Comparació de la màscara via GPU

ID Dataset	tamany dataset (vòxels)	tamany màscara (vòxels)	MIDA sense màscara (segons)	Mida amb màscara (segons)	Tamany pantalla (píxels)
602503_20120914_0	128x128x128	11.338	0,016	0,016	338x536
602503_20120914_0	128x128x128	11.338	0,050	0,084	948x811
602503_20120914	144x144x213	17.727	0,033	0,077	338x536
602503_20120914	144x144x213	17.727	0,050	0,116	948x811
983078_20110629	144x144x213	903	0,034	0,063	338x536
983078_20110629	144x144x213	903	0,050	0,111	948x811
1246094_20110228	144x144x192	1.185	0,034	0,059	338x536
1246094_20110228	144x144x192	1.185	0,050	0,108	948x811
178225_20101202	144x144x213	1.739	0,033	0,061	338x536
178225_20101202	144x144x213	1.739	0,050	0,115	948x811
485184_20130220	144x144x444	4	0,034	0,066	338x536
485184_20130220	144x144x444	4	0,067	0,100	948x811

Taula 3: comparativa del temps d'execució entre el mètode MIDA amb i sense màscara.

En la Taula 3 es visualitza el temps d'execució del mètode MIDA amb màscara i sense màscara. Per a realitzar aquesta prova s'ha desenvolupat un MIDA sense la càrrega de la màscara i eliminant les parts del codi que fessin referència a la utilització de la màscara.

Com s'observa en la Taula 3, el temps d'execució que consumeix el mètode MIDA depèn de la dimensió del volum de dades, quantes més dades, més temps triga, i del tamany de la pantalla, ja que en tenir una dimensió més gran de pantalla, i per tant més píxels, implica haver de crear més rajos en el procés de Ray Casting.

Les dades indiquen que el càlcul de la màscara afecta en el temps d'execució, arribant fins i tot a doblar, en alguns casos, el temps d'execució sense màscara. Aquest fet és degut a que el comput de la màscara implica càlculs complexos com la interpolació entre el color de la màscara i el color acumulat. A més, quants més vòxels amb tumor hi hagin en el volum de dades, més triga el programa a executar-se.

Malgrat l'esmentat anteriorment, en tots els casos el temps d'execució és molt petit gràcies al gran nombre de processadors que conté la GPU, i això proporciona les visualitzacions en temps real que permeten un ús i una interacció agradable amb el programa.

6. Conclusions

L'objectiu d'aquest projecte era el d'analitzar, dissenyar i implementar un nou mètode de renderització que permetés la visualització de zones tumorals i millores respecte als mètodes anteriorment desenvolupats. També es requeria desenvolupar un sistema per a visualitzar les zones tumorals. Tot això es volia en un software que permetés la visualització de dades i la fàcil interacció amb l'usuari. A més es volia poder afegir nous mètodes de visualització de forma senzilla.

Aprofitant el programa desenvolupat en un altre treball final de grau, s'ha desenvolupat un nou mètode de visualització que millora la imatge resultant final, s'ha afegit una màscara que permet visualitzar les zones tumorals de forma adient, s'ha reestructurat el codi font del programa per a què la incorporació de nous mètodes sigui simple i ràpida, s'ha millorat la interfície donant a l'usuari un millor control i una millor visualització de les dades utilitzant el recursos de la GPU per obtenir els resultats finals en temps real.

Per a l'anàlisi, disseny i implementació d'aquest projecte ha sigut necessaris l'adquisició de grans coneixements sobre la visualització de dades científiques i el funcionament de la programació en les targetes gràfiques. Alguns d'aquests coneixements s'introdueixen en l'assignatura de Gràfics i Visualització de Dades i han format part de la base amb la qual s'ha aconseguit desenvolupar el projecte, però d'altres s'han adquirit de forma autònoma i guiada.

Per a finalitzar, i amb tot, concloure que s'han assolit els objectius que es marcaven en la introducció d'aquesta memòria, ja que per a realitzar els canvis que s'ha integrat en l'aplicació ha sigut necessari un estudi del software prèviament desenvolupat en el projecte predecessor, s'ha realitzat la reestructuració del model de domini, s'ha estudiat i implementat el mètode MIDA tant per GPU com per CPU, s'ha incorporat la màscara al projecte i la seva visualització i manipulació.

6.1. Línies futures

Aquest projecte permet una gran varietat de línies de continuació. Aquí es presenten algunes:

- Incorporació i lectura de dades procedents de TAC

En aquest projecte els volums de dades procedeixen de scanners PET-CT. Aquests proporcionen conjuntament les dades PET i CT del pacient. El CT, a diferència del PET, mesura la densitat de les diferents parts del cos. Donada la seva alta resolució, serveix als especialistes per a apreciar els detalls anatòmics del pacient d'una manera molt precisa, fet que és impossible amb les imatges PET. La idea d'aquesta línia és la de visualitzar, en un mateix volum de dades, les dades obtingudes pel PET i pel CT conjuntament, proporcionant així una visualització més precisa i detallada.

- Execució del Ray Casting en CPU utilitzant múltiples processos alhora

En aquest projecte, igual que en el projecte antecessor, el mètode de Ray Casting utilitzant la CPU executa un procés o thread, en canvi si s'executa en la targeta gràfica el Ray Casting utilitza tots els processadors que conté GPU.

La idea d'aquesta línia és que en l'execució del Ray Casting en CPU es divideixi el codi en diferents processos i que aquests s'executin en diferents processadors de la CPU de forma que s'optimitzi la GPU i s'utilitzin el màxim nombre de processadors possibles.

- Visualització de la màscara en funció del vector de visió

La idea d'aquesta línia és la de modificar la visualització de la màscara per a què es mostri en funció de l'angle entre la normal i el vector de visió, és a dir, que el color de la màscara sigui $(1 - \cos(\alpha)) * \text{color}$, de forma que es vegi amb més intensitat aquells píxels que siguin perpendiculars a la normal del píxel.

7. Referències bibliogràfiques

- [1] Descubren un mecanismo celular clave en el cáncer de mama - EFE. 04.05.2014
<http://www.20minutos.es/noticia/2129411/0/descubrimiento-cientifico/cancer-mama/medicina-barcelona/>
- [2] Frederic Sampedroa , Anna Domenechc , Sergio Escalera:
Obtaining quantitative global tumoral state indicators based on whole-body PET/CT scans: a breast cancer case study , 2014
<http://www.maia.ub.es/~sergio/linked/00006231-201404000-00004.pdf>
- [3] Sergi García Trancoso, **Ray Casting de volum: CPU vs GPU** , Universitat de Barcelona, 01/2013 <http://hdl.handle.net/2445/34536>
- [4] **PET** http://en.wikipedia.org/wiki/Positron_emission_tomography
- [5] Apunts de l'assignatura de **Gràfics i Visualització de Dades**
- [6] **Món de vòxels**: <http://en.wikipedia.org/wiki/Voxels>
- [7] **Ray Casting** : http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_casting
http://cumbia.visus.uni-stuttgart.de/ger/research/proj/ito/materials/VIS-Modules-06-Direct_Volume_Rendering.pdf
- [8] **DVR** http://en.wikipedia.org/wiki/Volume_rendering
- [9] **MIP** : <http://www.svi.nl/MaximumIntensityProjection>
- [10] **LUT** <http://nofilmschool.com/2011/05/what-is-a-look-up-table-lut-anyway/>
- [11] **Màscara** : [http://en.wikipedia.org/wiki/Mask_\(computing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mask_(computing))
- [12] **Shaders** <http://en.wikipedia.org/wiki/Shader>
- [13] **Instant Volume Visualization using Maximum Intensity Difference Accumulation**, Stefan Bruckner and M.Eduard Gröller, Institute of Computer Graphics and Algorithms, Vienna University of Technology, Austria. Volume 28(2009), Number 3
<http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2009/bruckner-2009-IVV/bruckner-2009-IVV-Paper.pdf>
- [14] **Color Dialog and Widgets**, Mattia Basaglia , 05/2014
<https://github.com/mbasaglia/Qt-Color-Picker>
- [15] **DICOM** : <http://dicom.nema.org/> <http://en.wikipedia.org/wiki/DICOM>
- [16] Matthew Brett, Chris Rorden: **The Analyze data format**, MRC-Cognition and Brain Sciences Unit, 17/6/99
<http://imaging.mrc-cbu.cam.ac.uk/imaging/FormatAnalyze>

Apèndix A: Breu guia d'usuari

En aquesta guia es mostren els passos a realitzar per a la correcta utilització de l'aplicació.

En les imatges es mostren les indicacions a realitzar i el resultat que s'obté.

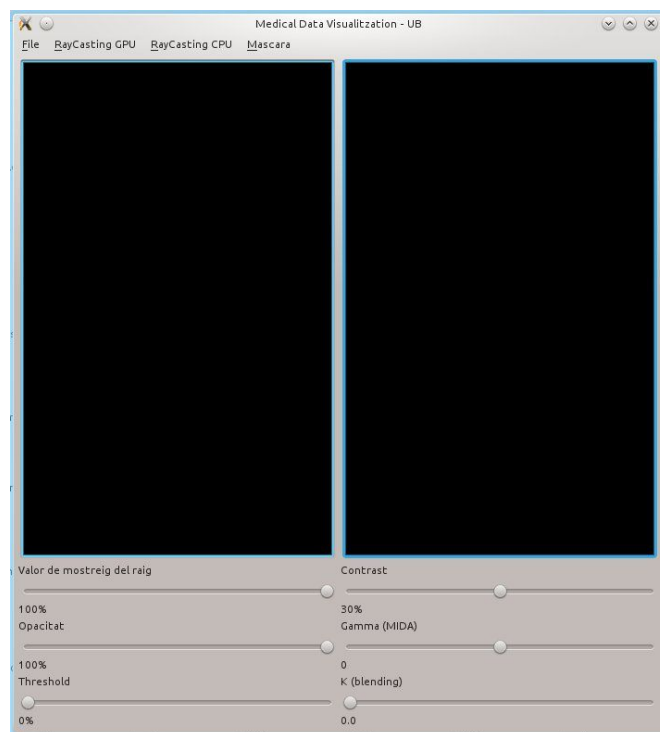
El software s'ha d'executar en un entorn linux.

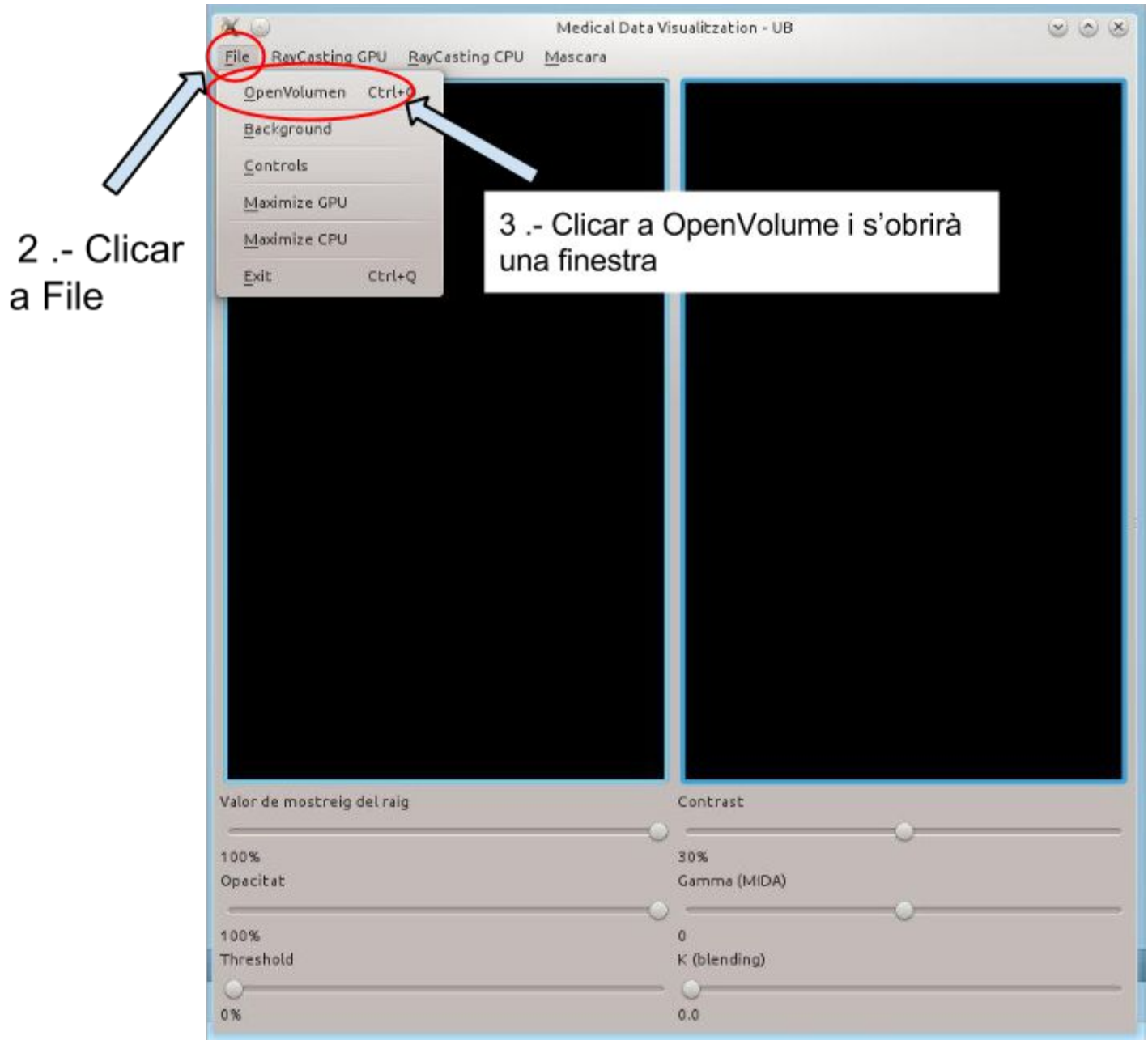
1.- Executar TFGProject a la carpeta ../TFGProject

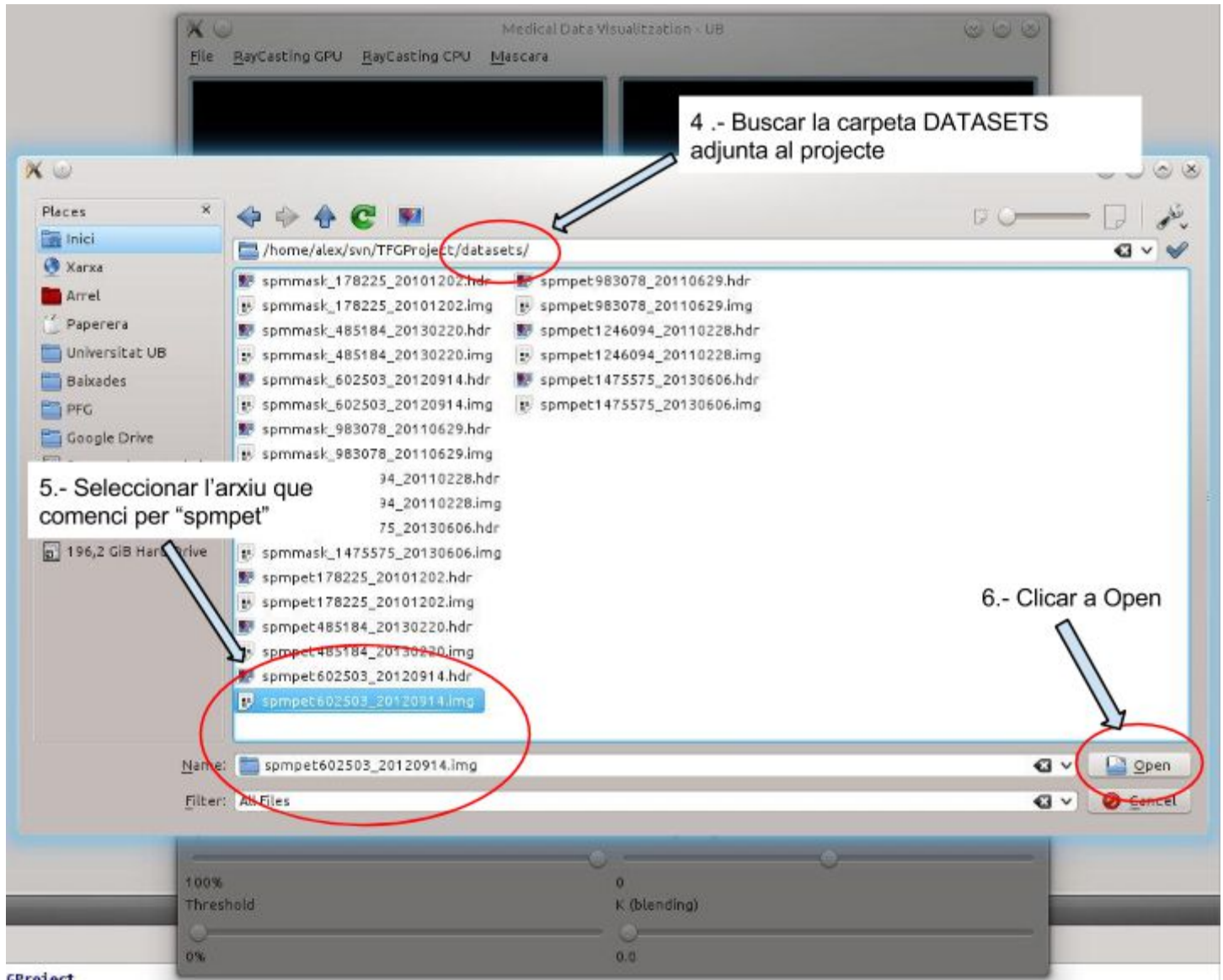


S'obrirà la finestra de l'aplicació.

* Si el programa no s'obra, seguir el següent tutorial per canviar els permisos.
http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/85/cd/linux/m1/permisos_de_archivos_y_carpetas.html



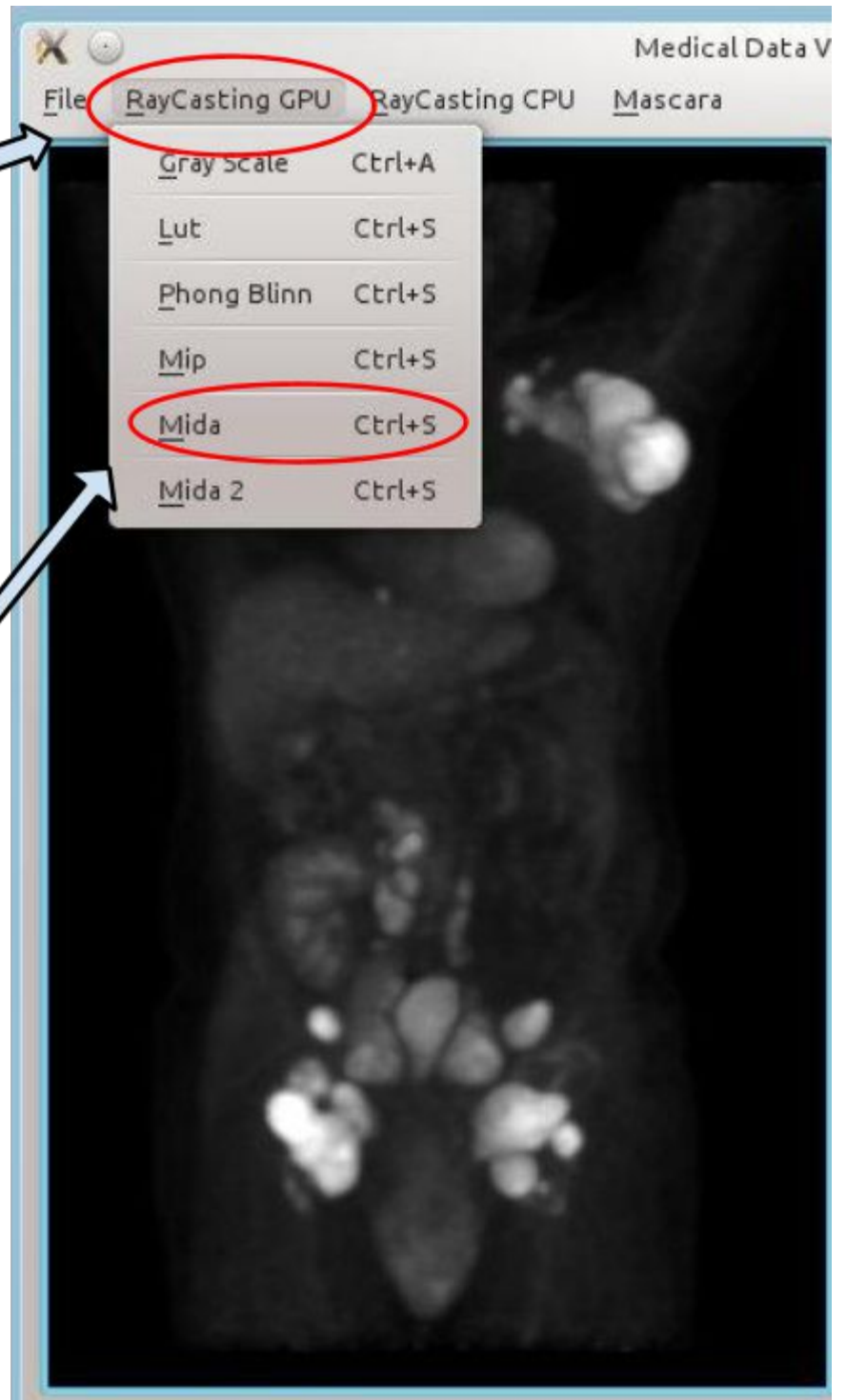


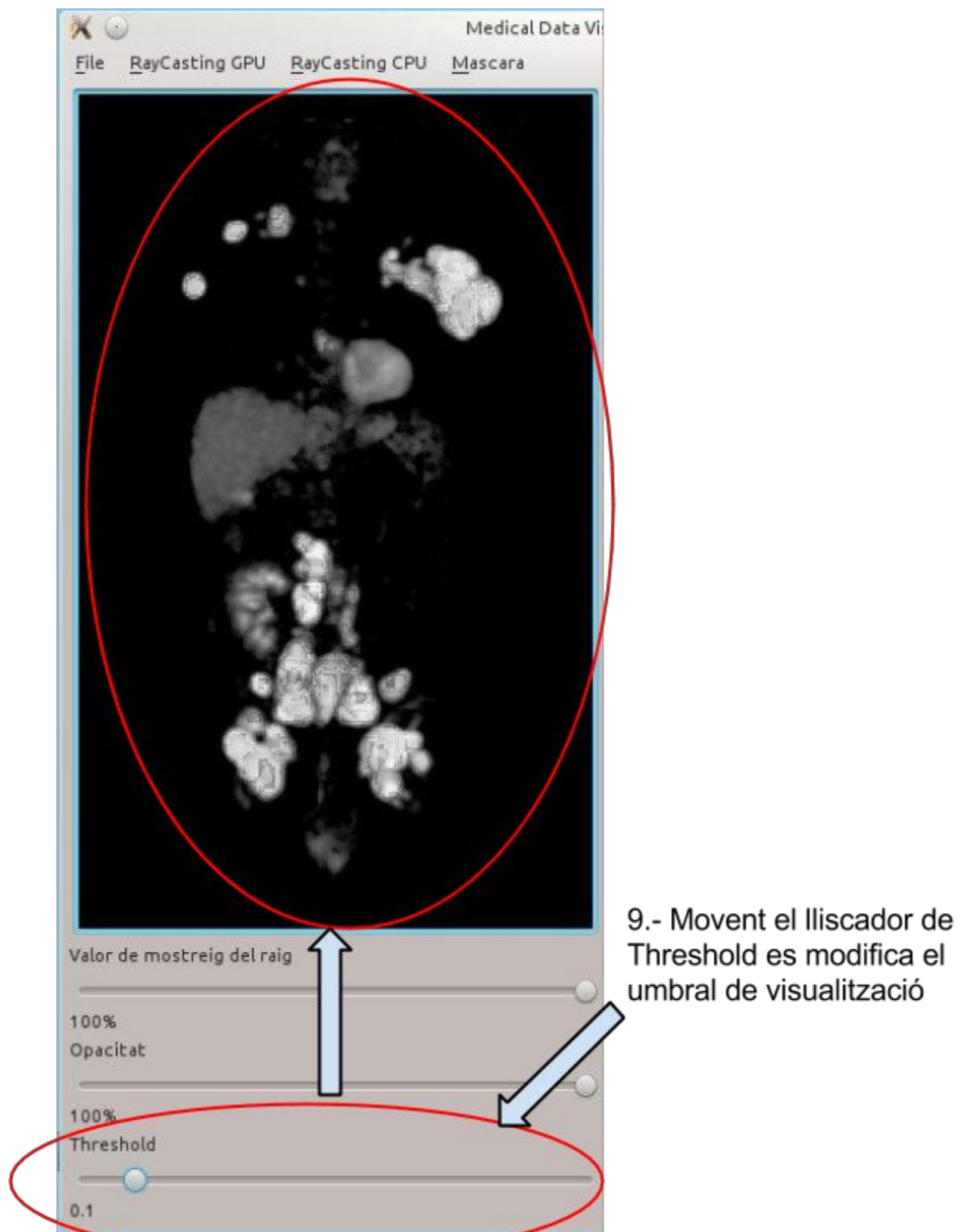


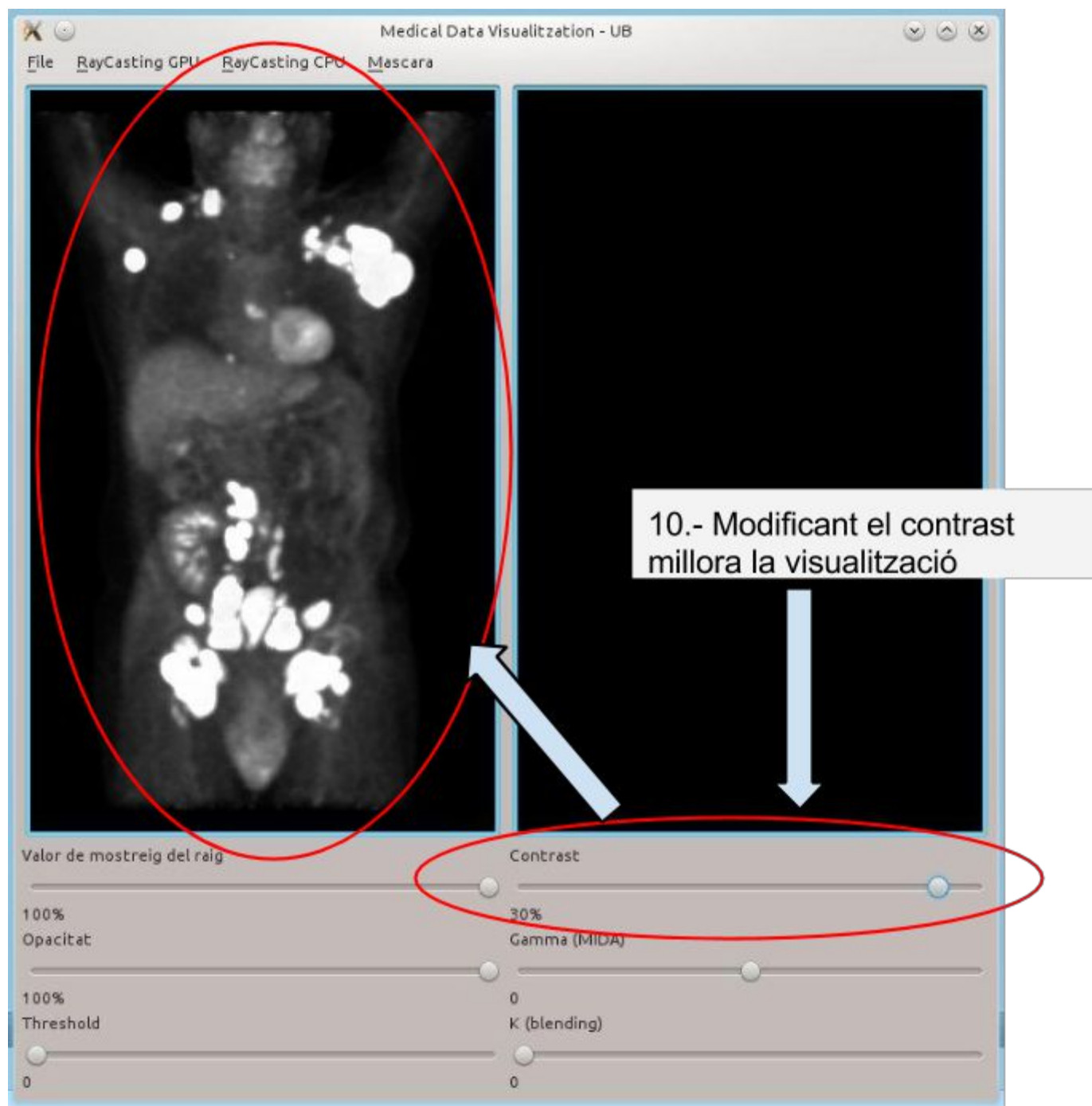
7.- Clicar a RayCasting GPU.

Es mostra la llista dels diferents mètodes de visualització.

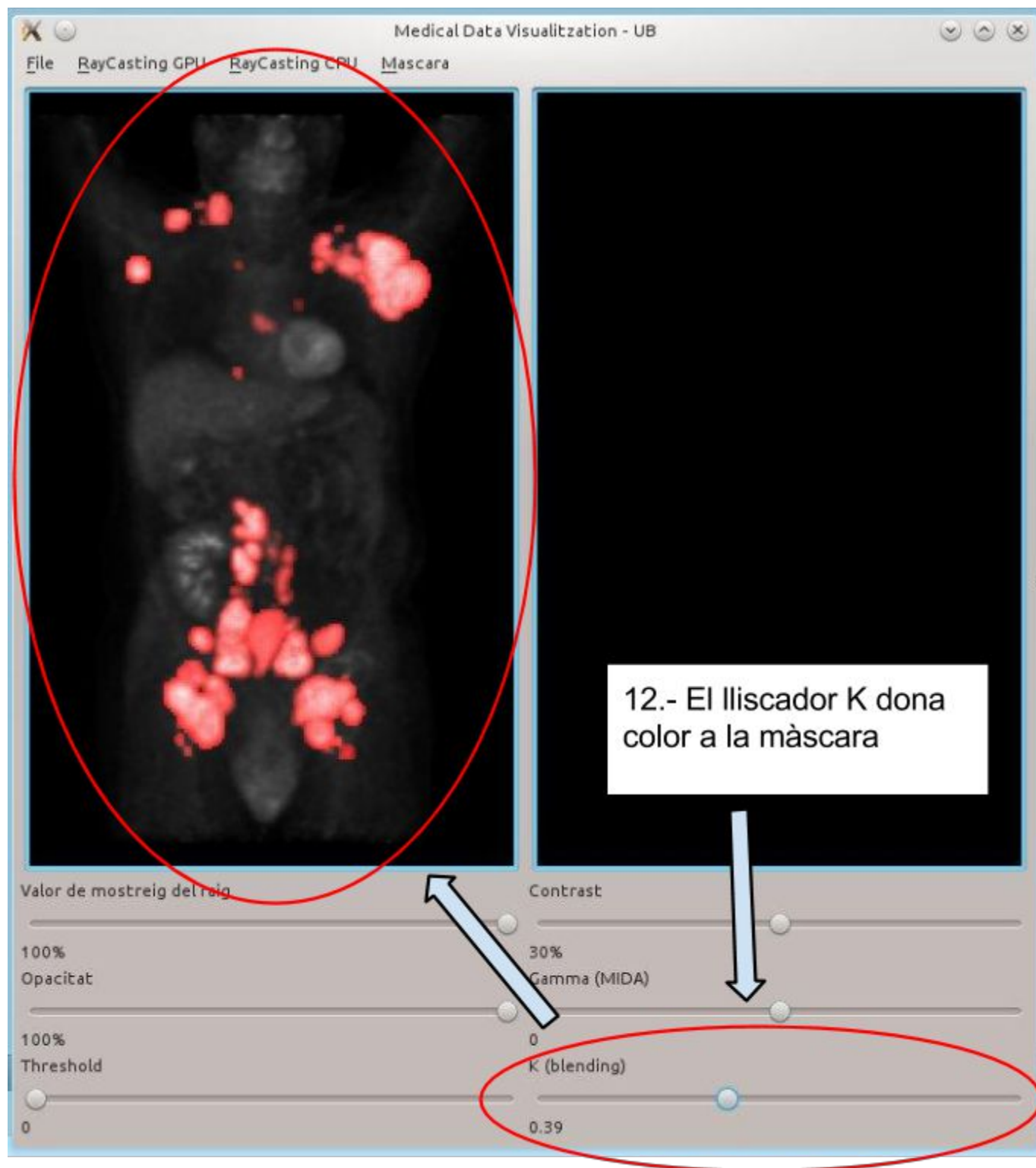
8.- Escollim MIDA

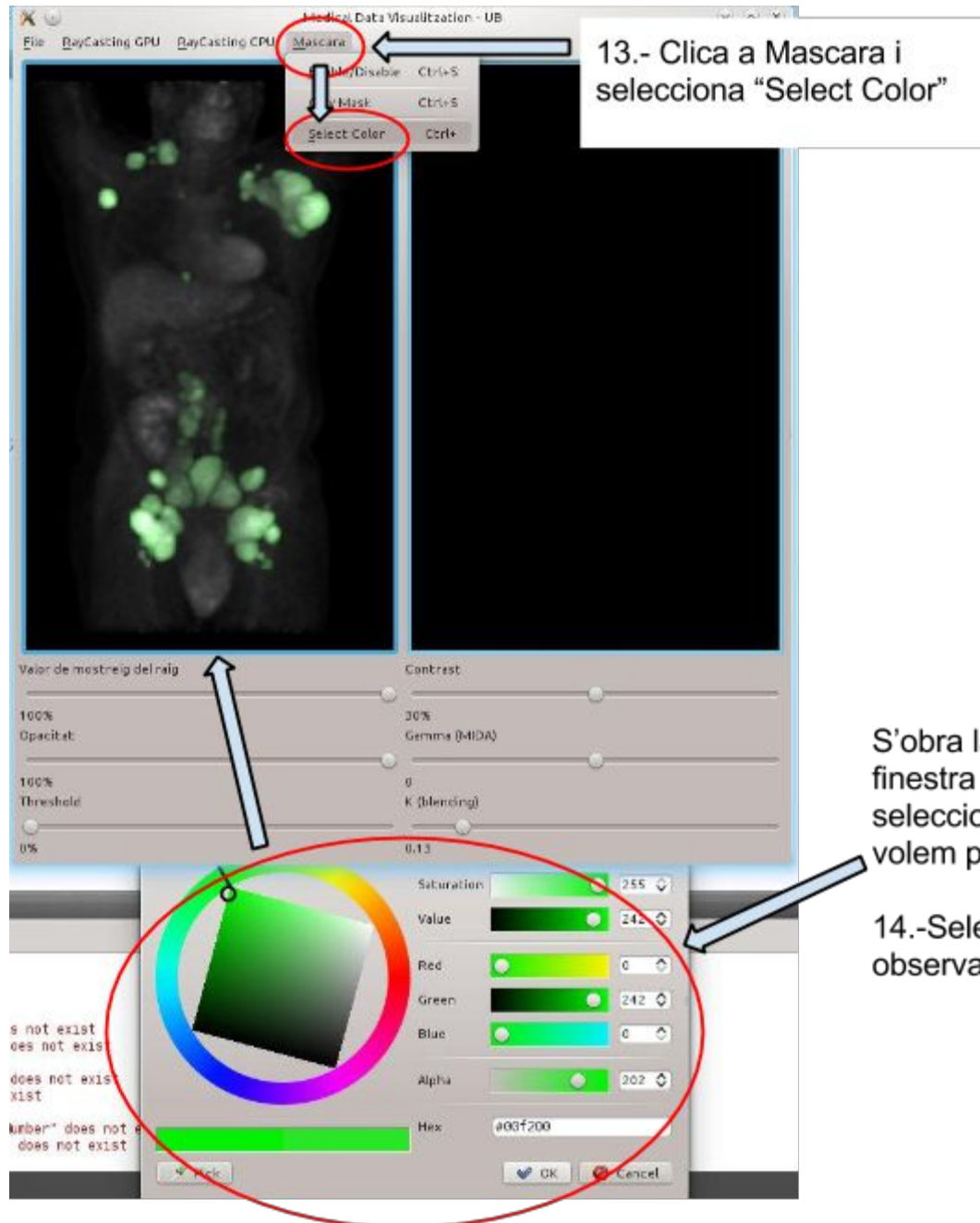


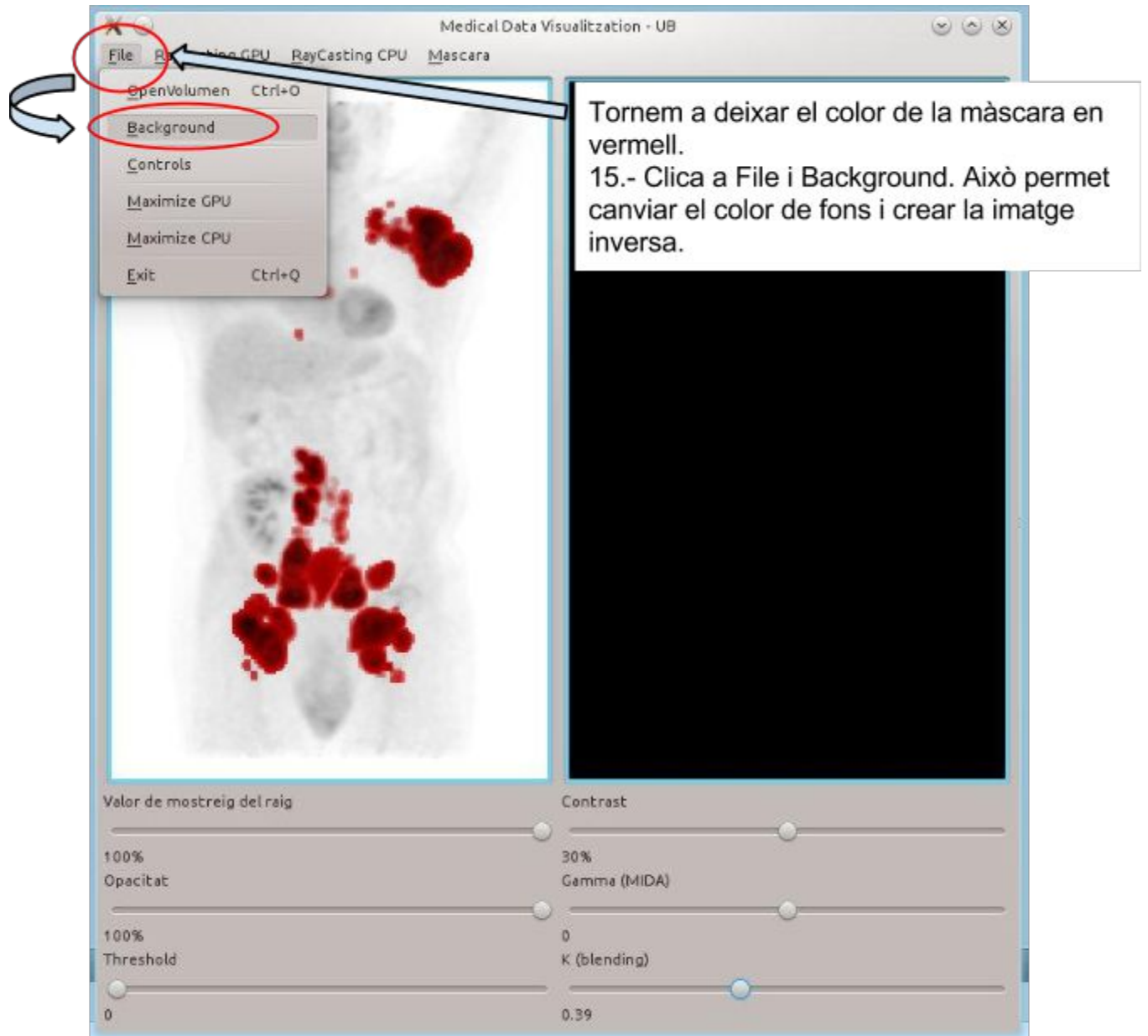


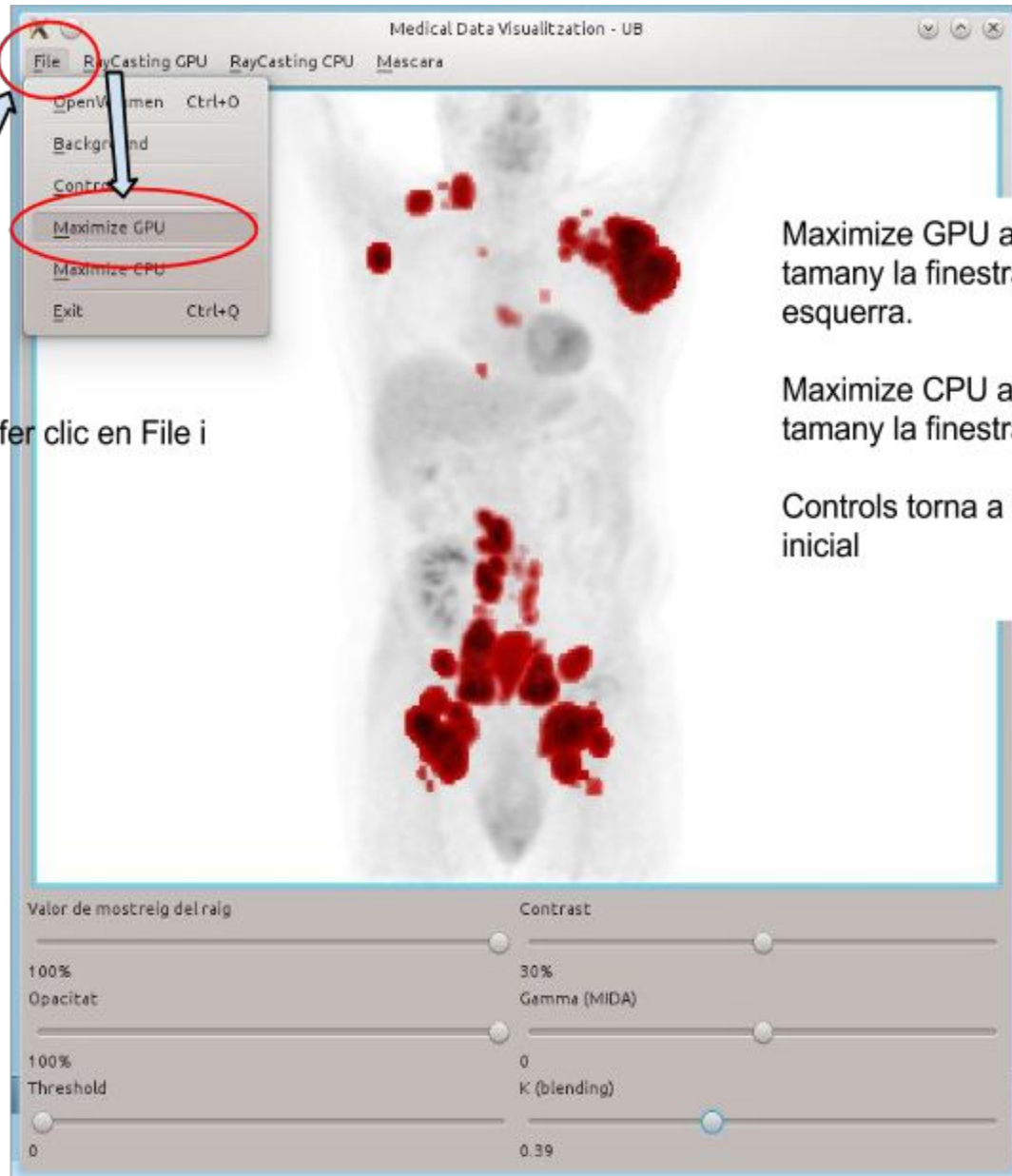












16.- A continuació fer clic en File i Maximize GPU

Maximize GPU augmenta de tamany la finestra de l'esquerra.

Maximize CPU augmenta de tamany la finestra de la dreta.

Controls torna a la interfície inicial



17.- L'opció Mascara, Enable/Disable activa i desactiva la màscara

17.- L'opció Only Mask, del menu Mascara, mostra la màscara sense el volum de dades

