
Activitat de Divulgació: Nuclis Líquids

El Model Nuclear de Gota Líquida

Contacte:

Arnau RIOS HUGUET, arnau.rios@icc.ub.edu

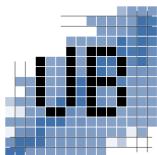
Alejandro ROMERO-ROS, alejandro.romero.ros@fqa.ub.edu



Institut de Ciències del Cosmos
UNIVERSITAT DE BARCELONA



GRUP DE FÍSICA HADRÒNICA, NUCLEAR I ATÒMICA



@HADNUCATEUB



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

DEPARTAMENT DE FÍSICA QUÀNTICA I
ASTROFÍSICA

INICIATIVA BINDING BLOCKS



@BINDINGBLOCKS

ACTIVITAT ORIGINALMENT CONCEBUDA PER LES UNIVERSITATS DE YORK I DE SURREY



UNIVERSITY
of York



UNIVERSITY OF
SURREY

Resum

Aquest document proporciona una visió general del Model de la Gota Líquida (LDM) del nucli atòmic i detalla les activitats interactives dissenyades per a explorar els seus conceptes. També inclou una guia pas a pas per a configurar i executar el servidor local del projecte per a visualitzar els resultats de les activitats dels estudiants.

Índex

1	Introducció al Model de la Gota Líquida	2
2	Descripció de les Activitats	3
2.1	Activitat 1: Ajustant el Model de la Gota Líquida	3
2.2	Activitat 2: Predicció de l'Isòtop més Pesat	5
3	Instal·lació prèvia	6
4	Connexió al Servidor: Guia per a Professor i Estudiants	7
4.1	Per al Professor: Iniciar el Servidor	7
4.2	Per a l'Estudiant: Connexió al Servidor	9
5	Ús de l'Aplicació	11
6	Ús del Servidor Web	13

1 Introducció al Model de la Gota Líquida

Què manté unit un nucli atòmic? L'**energia d'enllaç** d'un nucli és la resposta: mesura l'energia guanyada en acoblar neutrons i protons per a formar un nucli. Per exemple, si prens la massa de 8 protons i 6 neutrons i la compares amb la massa mesurada experimentalment d'un nucli d' ^{14}O (oxigen-14), trobaràs que el nucli és *més lleuger* que les seves parts. Aquesta "massa perduda" s'ha convertit en una gran quantitat d'energia, tal com descriu la famosa fórmula d'Einstein, $E = mc^2$. Aquesta energia és l'energia d'enllaç.

Encara que els experiments poden mesurar l'energia d'enllaç de milers de nuclis, els científics també volen ser capaços de predir aquestes propietats sense un experiment. Aquí és on entren en joc els models científics. El **Model de la Gota Líquida**, concebut per teòrics nuclears a la dècada de 1930, és un dels models més simples i reeixits per a aquest propòsit. Tracta el nucli com si fos una gota de líquid incompressible, com un petit globus d'aigua. Aquesta analogia funciona sorprendentment bé perquè la força nuclear forta que uneix els nucleons és de molt curt abast, de manera molt similar a les forces entre molècules en un líquid.

El model ens permet estimar l'energia d'enllaç mitjana per nucleó (BE/A), una mesura clau de l'estabilitat d'un nucli, utilitzant la **Fórmula Semi-Empírica de Masses (SEMF)**:

$$\frac{BE}{A} = a_v - a_s A^{-1/3} - a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{4/3}} - a_a \frac{(A-2Z)^2}{A^2} + a_p \frac{\delta_0}{A^{1/2}} \quad (1)$$

On A és el nombre total de nucleons (protons + neutrons) i Z és el nombre de protons. Cada terme representa la contribució per nucleó d'un efecte físic diferent:

- Terme de Volum (a_v):** Aquest terme proporciona una quantitat positiva constant a l'energia d'enllaç. Prové de la idea que cada nucleó només interactua amb els seus veïns immediats a causa del curt abast de la força nuclear.
- Terme de Superfície ($-a_s A^{-1/3}$):** Aquest terme té un signe negatiu perquè els nucleons a la superfície tenen menys veïns amb qui interactuar, fent que estiguin menys fortament lligats. Això és similar a la tensió superficial en una gota de líquid real.
- Terme de Coulomb ($-a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{4/3}}$):** Aquest terme té en compte la repulsió electrostàtica entre protons amb càrrega positiva. Aquesta força repulsiva redueix l'energia d'enllaç i explica per què els nuclis grans i estables necessiten més neutrons que protons per afegir "unió" sense afegir més repulsió.
- Terme d'Asimetria ($-a_a \frac{(A-2Z)^2}{A^2}$):** El nucli és més estable quan el nombre de neutrons i protons és aproximadament igual ($N \approx Z$). Aquest terme introduceix una penalització energètica per allunyar-se d'aquesta simetria.
- Terme d'Aparellament ($+a_p \frac{\delta_0}{A^{1/2}}$):** Un efecte mecano-quàntic on els nuclis amb un nombre parell de protons i/o un nombre parell de neutrons són sistemàticament més estables que aquells amb nombres senars. El paràmetre d'aparellament, a_p , estableix la magnitud d'aquesta correcció, on δ_0 és positiva per a nuclis parell-parell, negativa per a nuclis senar-senar, i zero per a nuclis amb un nombre màssic senar.

Aquest model no només ens ajuda a entendre les propietats dels milers de nuclis coneguts, l'estabilitat nuclear i fenòmens com la fissió nuclear, sinó que també ens permet predir les propietats de nuclis que encara no hem descobert i fins i tot entendre algunes propietats d'objectes increïblement densos com les estrelles de neutrons. És important recordar que aquest és un model científic; és una eina poderosa, però sempre es pot millorar o substituir per noves dades o una nova teoria revolucionària. Potser tu seràs qui ho millori!

2 Descripció de les Activitats

El projecte inclou dues activitats principals dissenyades per a que puguis explorar interactivament els conceptes del Model de la Gota Líquida. Per a cada activitat, pots seleccionar qualsevol element de la taula periòdica i treballar amb les dades dels seus isòtops, proporcionades pel [Centre de Dades de Massa Atòmica oficial](#).

L'aplicació està enfocada a l'Oxigen per defecte, però animem a estudiants i professors a experimentar amb els altres elements de la taula periòdica. També recordar que el servidor web només mostra resultats des de l'O($Z = 8$) fins al Rb($Z = 37$).

A mesura que els estudiants vagin fent l'ajust, poden anar enviant els valors trobats fent clic al botó **Envia** de la part inferior esquerra de l'aplicació (veure Secció 5). Les dades al servidor web s'actualitzaran automàticament, i un missatge mostrarà quin grup ha enviat les dades més recents.

2.1 Activitat 1: Ajustant el Model de la Gota Líquida

En aquesta activitat entendràs com els paràmetres del Model de la Gota Líquida (a_v, a_s, a_c, a_a, a_p) es relacionen amb les dades del experimentals reals a través de 5 exercicis diferents.

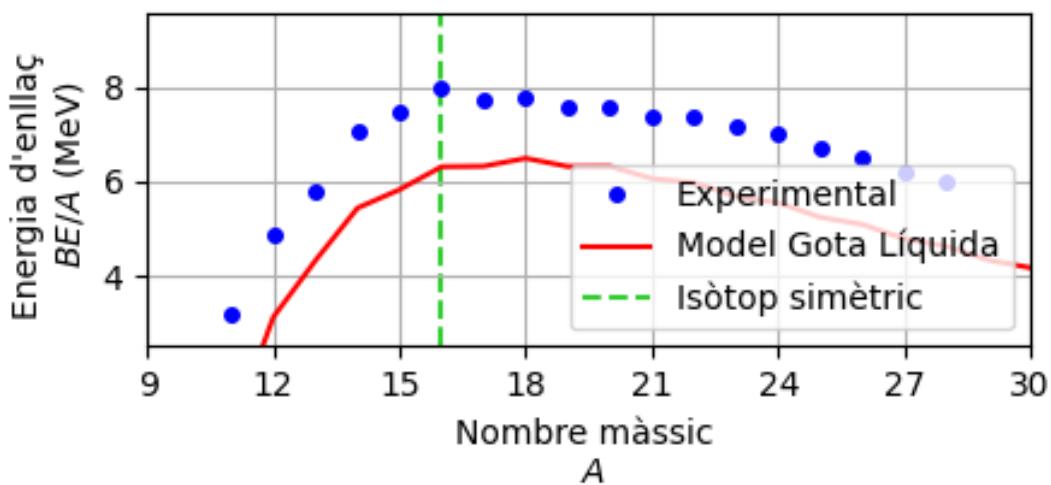
Dos gràfics guiaran el teu ajust (veure Figura 1):

- **Gràfica 1:** Mostra l'energia d'enllaç per nucleó (BE/A) enfront del nombre màssic (A). Els punts blaus són les dades experimentals reals, i la línia vermella és el valor teòric de la fórmula del LDM utilitzant els paràmetres que has establert amb els controls lliscants.
- **Gràfica 2:** Mostra la diferència (l'error) entre les dades experimentals i el teu ajust teòric. També proporciona la mitjana quadràtica (RMS).

En alguns exercicis, una línia verda vertical indicarà el nombre màssic de l'isòtop simètric.

El teu objectiu és ajustar els valors dels paràmetres del model de la gota líquida (veure Secció 5) per aconseguir que la línia vermella del gràfic 1 coincideixi el màxim possible amb els punts blaus. Això equival a fer que l'error en el gràfic 2 sigui el més proper a zero per a tots els isòtops. A través dels 5 exercicis, determinaràs els valors d'ajust òptim per als paràmetres del model de manera guiada.

Gràfica 1



Gràfica 2

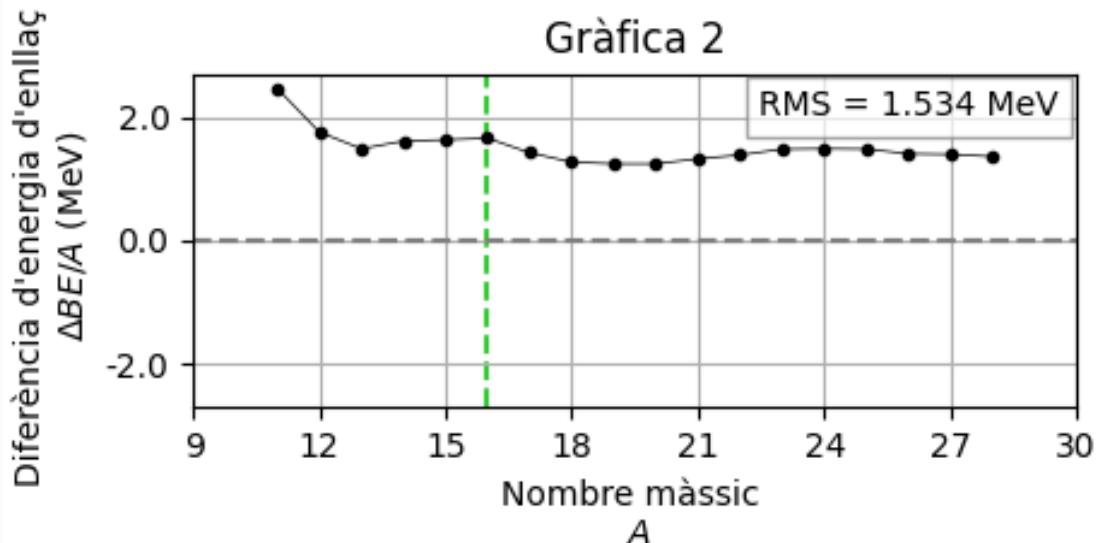


Figura 1: Gràfiques de l'Activitat 1.

2.2 Activitat 2: Predicció de l'Isòtop més Pesat

En aquesta activitat utilitzaràs els paràmetres del model de la gota líquida trobat a l'Activitat 1 per predir l'isòtop més pesat d'un element de la taula periòdica. Recorda que un isòtop només pot existir si la seva energia d'enllaç és positiva ($BE/A > 0$). Si l'energia d'enllaç fos zero o negativa, el nucli es desintegraria espontàniament.

Pots monitorizar l'ajust dels teus paràmetres a la Gràfica 1 mostrada a la Figura 2. Si el model està ben ajustat, la línia vermella teòrica hauria de coincidir amb (gairebé) tots els punts blaus experimentals. L'isòtop més pesat ve indicat per una línia verda vertical, que varia en funció dels paràmetres del teu model.

El teu objectiu és entendre com l'incertesa en els paràmetres del model pot afectar a la predicció de l'isòtop més pesat, per a un element donat, variant els paràmetres d'asimetria i de volum. Això et donarà un rang de possibles nombres màssics (A) per al límit de l'existència nuclear de l'isòtop.

Per visualitzar el rang d'incertesa (àrea verda) pots fer servir les cel·les sota el gràfic. Pots introduir els valors del nombre atòmic mínim (A_{\min}) i màxim (A_{\max}) manualment, o clicant el botó **Fixa**. Si cliques el botó **Fixa**, introduiràs el valor indicat per la línia verda vertical. Recorda que $A_{\min} < A_{\max}$.

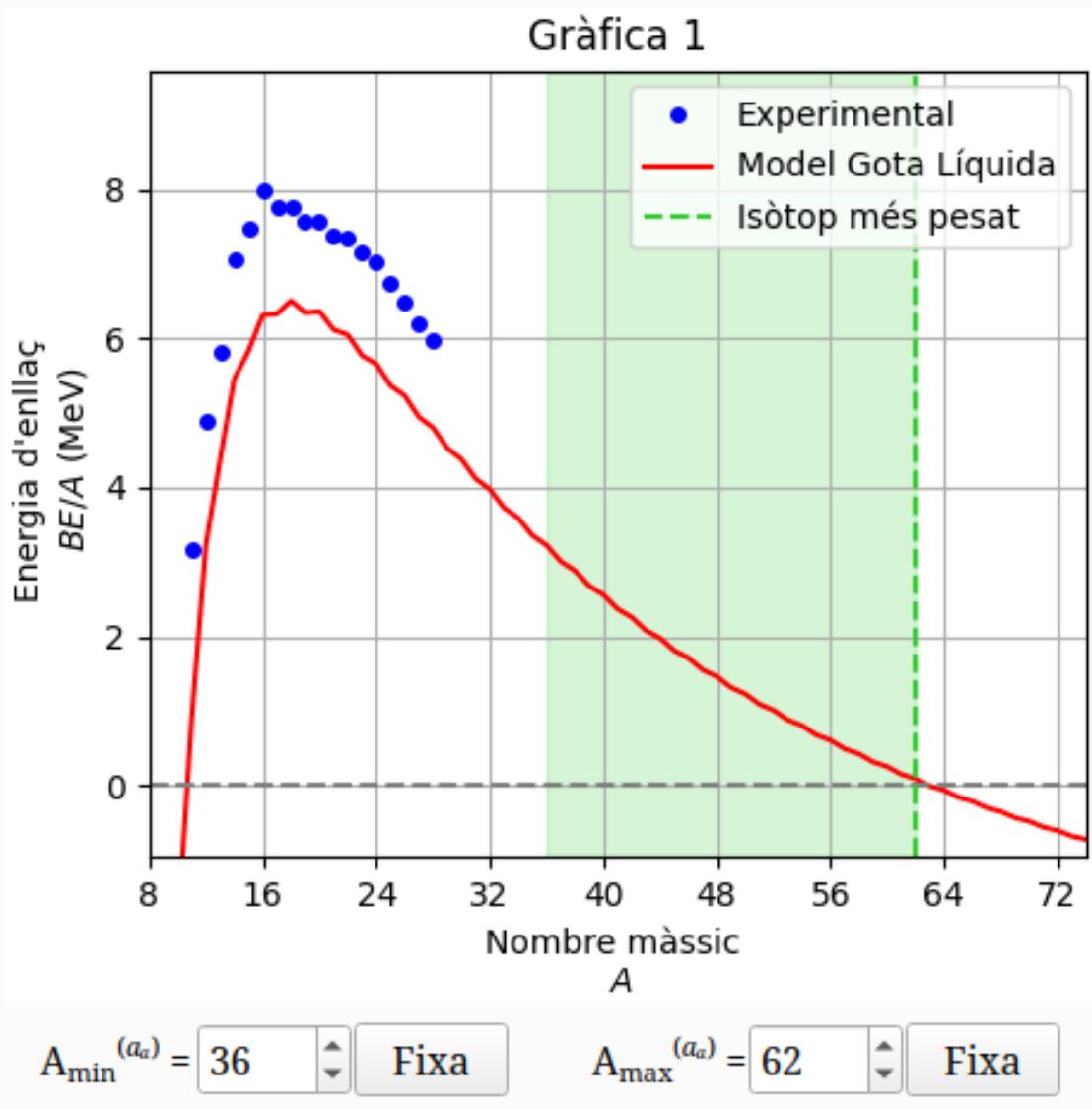


Figura 2: Gràfica 1 de l'Activitat 2.

3 Instal·lació prèvia

Per poder dur a terme les acitivats, cada estudiant o grup d'esturants ha de tenir a la seva disposició un ordinador Windows o Linux. De moment no hi ha versió MacOS.

Per realitzar l'activitat no és necessària la connexió a Internet ni al servidor (veure Secció 4). Però, per poder visualitzar els resultats dels estudiants a través del navegador web, cal que l'ordinador que hospeda el servidor estigui connectat a la mateixa xarxa que els ordinadors dels estudiants. A vegades, si l'ordinador del servidor està connectat a la xarxa amb cable Ethernet i els estudiants es connecten per Wi-Fi es poden donar incompatibilitats de xarxa.

L'aplicació i el servidor estan disponibles com a executables pre-compilats per a Windows i Linux, que es poden descarregar del repositori del projecte.

- Servidor Windows: https://github.com/Alejandro-FQA/LDM/raw/refs/heads/main/dist/server_gui.exe?download=1
- Client Windows: https://github.com/Alejandro-FQA/LDM/raw/refs/heads/main/dist/main_window.exe?download=1
- Servidor Linux: https://github.com/Alejandro-FQA/LDM/raw/refs/heads/main/dist/server_gui?download=1
- Client Linux: https://github.com/Alejandro-FQA/LDM/raw/refs/heads/main/dist/main_window?download=1

Instruccions per a usuaris Windows: un cop descarregats, els executables estan llestos per fer servir. Important: Windows pot interpretar l'executable com *malware*. En aquest cas només cal ignorar el missatge i executar igualment.

Instruccions per a usuaris Linux: un cop descarregats, els executables s'han d'iniciar des del terminal.

1. Obre el terminal a la carpeta on has desat els executables amb `Ctrl + Alt + t`.
2. Introduceix al terminal `chmod +x <nom executable>` per donar permisos d'execució.
3. Introduceix al terminal `./<nom executable>` per iniciar l'aplicació.

4 Connexió al Servidor: Guia per a Professor i Estudiants

Per visualitzar els resultats de forma centralitzada a través d'un navegador web (Explorer, FireFox, Chrome, etc.), el professor executa el controlador `server_gui`, i cada estudiant utilitza l'aplicació `main_window` per connectar-s'hi.

4.1 Per al Professor: Iniciar el Servidor

Com a responsable de l'activitat, la teva funció és allotjar el servidor al qual es connectaran els estudiants.

1. Descarrega i executa el controlador `server_gui` per al teu sistema operatiu (veure Secció 3).
2. Apareixerà una finestra de control com la de la Figura 3 (en Anglès). A continuació s'indiquen els recursos seguint la numeració de la Figura 3 entre parèntesis (...).
3. Per iniciar el servidor, fes clic al botó **Start Server** (5).
4. Si el servidor s'ha iniciat amb èxit, se't mostrarà una adreça **Server URL** (2) i missatges a **Server Log** (7) indicant-t'ho.
5. Cal compartir l'adreça URL amb els alumnes per que puguin connectar-se al servidor.
6. Per accedir al servidor web, pots escriure l'adreça al teu navegador preferit copiant-la al portapapers clicant **Copy URL**, o obrir el navegador per defecte clicant **Open in Browser**.
7. Pots canviar l'idioma del servidor web amb el menú desplegable **Language** (1) del controlador en qualsevol moment (Català per defecte). Per veure el canvi efectiu, cal refrescar la pàgina web (o clicar F5).
8. A **Received Messages** (9) podràs veure la informació que envien els alumnes al servidor.
9. Per aturar el servidor i acabar l'activitat, pots prèmer el botó **Stop Server** (6).

Si per algun casual el controlador del servidor es tanqués de forma inesperada, només cal que els alumnes tornin a enviar una vegada les seves dades per recuperar tota la informació prèvia. Si en aquest moment algun grup o alumne ha sigut disconnectat, al connectar-se de nou se li assignarà un nou grup.

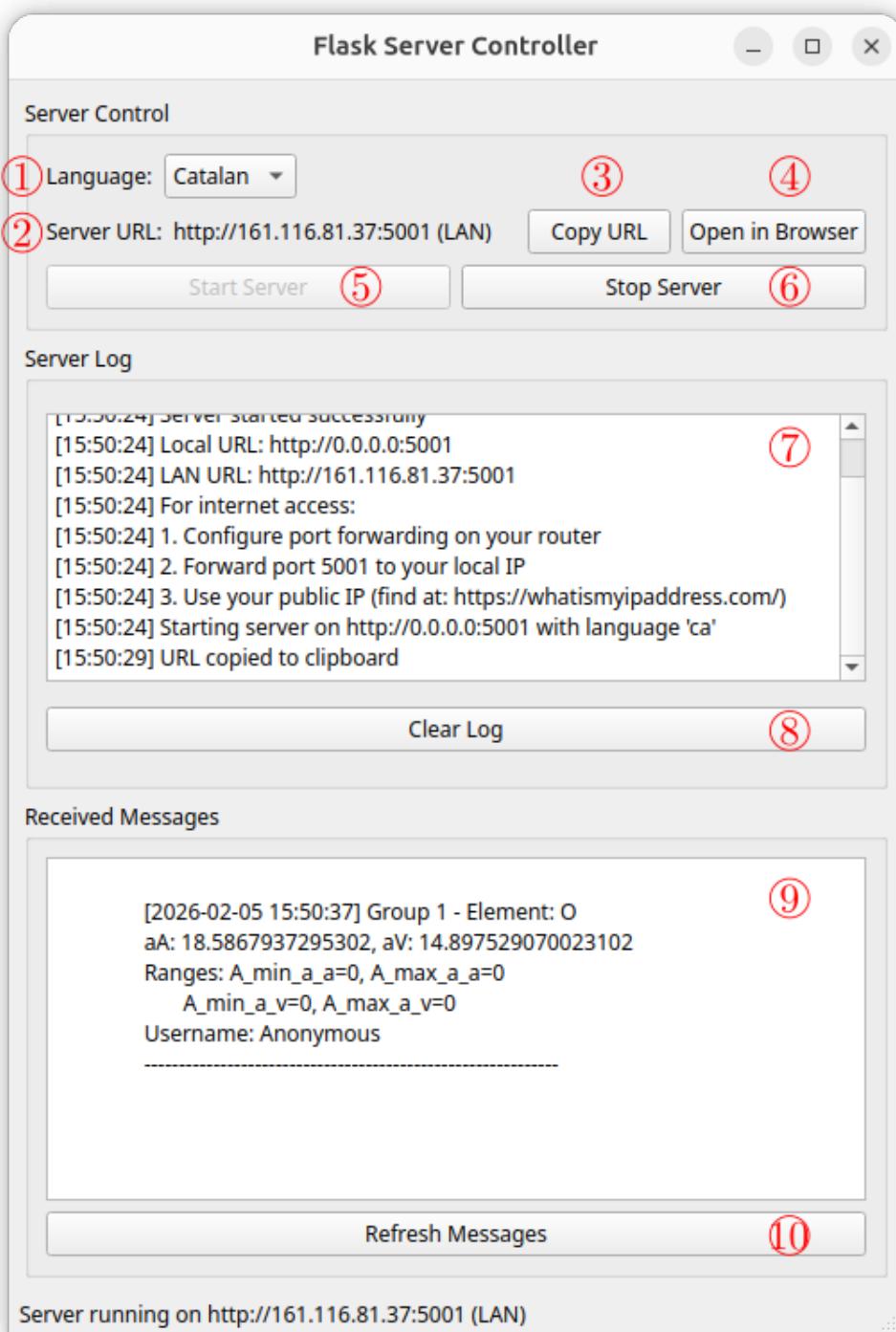


Figura 3: Controlador del servidor en actiu. 1. Idioma; 2. Adreça web del servidor; 3. Botó per copiar l'adreça; 4. Botó per obrir el navegador web; 5. Botó per iniciar el servidor; 6. Botó per aturar el servidor; 7. Caixa de missatges del servidor; 8. Botó per netejar la caixa de missatges del servidor; 9. Caixa de missatges rebuts; 10. Botó per netejar la caixa de missatges rebuts.

4.2 Per a l'Estudiant: Connexió al Servidor

Com a estudiant, et connectaràs al servidor del professor per enviar els teus resultats.

1. Descarrega i executa l'aplicació `main_window` per al teu sistema operatiu (veure Secció 3).
2. Apareixerà una finestra com la de la Figura 4 (per defecte en Català i a la pestanya Activitat 1). A continuació s'indiquen els recursos següent la numeració de la Figura 4 entre parèntesis (...).
3. A l'aplicació, navega a la pestanya **Logs** (2).
4. Escriviu la **URL del Servidor** proporcionada pel teu professor al camp de text **Server** (4). Si t'has connectat abans, l'aplicació pot recordar l'última URL utilitzada.
5. Fes clic al botó **Connect** (3).
6. Si la connexió ha estat exitosa, se t'assignarà un grup (1), el botó **Connect** (3) passarà a **Disconnect** i l'indicador (5) esporrà de color verd.
7. A la caixa de missatges (6) es mostrarà el teu registre d'accions dins de l'aplicació.

Si per algun casual l'aplicació es tanqués de forma inesperada, al reiniciar-la recuperaràs tota la informació que tenies desada.

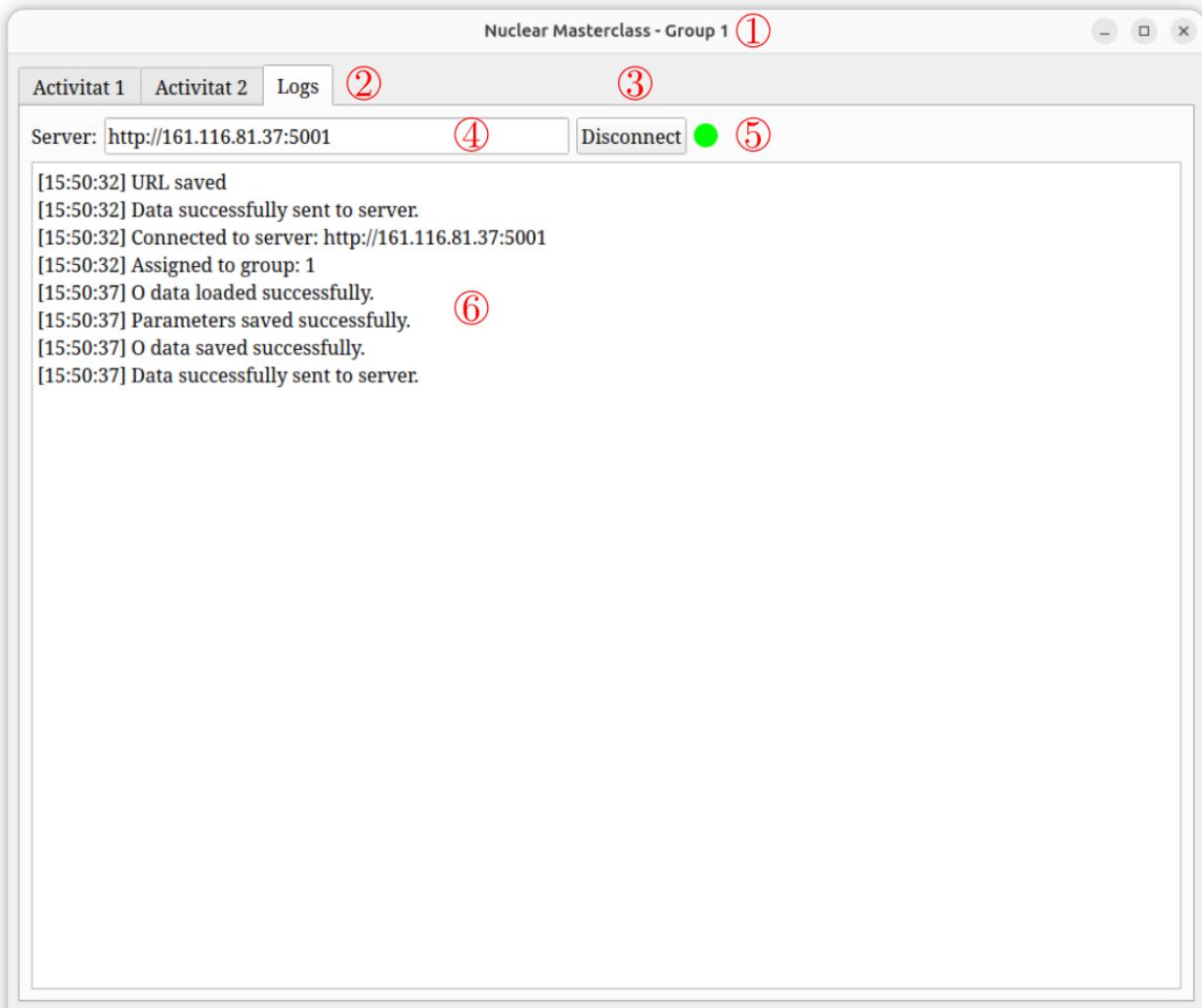


Figura 4: Connector de l'aplicació. 1. Grup assignat; 2. Pestanyes d'activitats; 3. Botó de (des)connexió; 4. Camp de text per l'adreça URL del servidor; 5. Indicador de connexió; 6. Caixa de missatges de l'aplicació.

5 Ús de l'Aplicació

Quan iniciïs l'aplicació (veure Secció 3), s'obrirà una finestra com la que es mostra a la Figura 5. A continuació es dóna una descripció amb la numeració dels recursos mostrats a la Figura 5.

1. Un cop connectat al servidor (veure Secció 4), se t'assignarà un grup. Si la connexió no està establerta o no hi ha grup assignat, es mostrarà *Grup None*.
2. Pots canviar d'activitat clicant a la pestanya corresponent.
3. Pots seleccionar l'element de la taula periòdica que vulguis desplegant la llista d'elements.
4. Pots seleccionar l'idioma de l'aplicació desplegant la llista d'idiomes (Català, Castellà o Anglès).
5. Les gràfiques interactives es mostraran a l'esquerra de l'aplicació i canvién a mesura que l'alumne ajusta els paràmetres del model de la gota líquida.
6. Els paràmetres del model de la gota líquida es poden modificar 1) escrivint el valor, 2) clicant les fletxes de la cel·la, o 3) desplaçant l'indicador de les barres lliscants. Per bloquejar un paràmetre, es pot desmarcar la casella dreta corresponent.
7. A la dreta de l'aplicació es mostren les descripcions dels exercicis de l'activitat. Pots canviar d'exercici clicant a la pestanya corresponent.
8. Línia de botons:
 - (a) **Reseteja.** Botó per restablir els valors dels paràmetres de forma aleatoria. Només afectarà als paràmetres desbloquejats.
 - (b) **Desa.** Botó per desar els valors dels paràmetres per a l'element actual. Sobreescrivia els valors previs del mateix element. Les dades es guarden a un fitxer ocult al mateix directori/carpeta on està l'aplicació. Si l'estudiant reinicia l'aplicació, no perd les dades ni el grup assignat.
 - (c) **Carrega.** Botó per carregar les dades desades de l'element actual. Només es mostra actiu si l'usuari ha desat dades prèviament. Sobreescrivia també els paràmetres bloquejats.
 - (d) **Envia.** Botó per enviar les dades al servidor web. Només es mostra actiu per als exercicis corresponents. Desa automàticament els paràmetres actuals.
 - (e) **(i).** Botó per obrir un panell informatiu.

Nuclear Masterclass - Group 1 (1)

Activitat 1 Activitat 2 Logs (2)

Element O - Oxigen (Z=8) (3) CAT (4)

(5) Model de la Gota Líquida

Introducció

En aquesta activitat, determinareu els valors dels **Paràmetres del Model de Gota Líquida (MGL)** basant-vos en les dades experimentals d'isòtops coneguts (dades de l' [Atomic Mass Data Center](#)).

Podeu tornar a visitar el [vídeo](#) del Dr. Arnau Ríos o clicar el botó (1) per més informació.

Inicialment, tothom treballarà amb l'Oxigen.
Després s'us assignarà un element aleatori en funció del grup.
Tindreu uns 10 minuts per completar cada apartat.
Passeu a l'Activitat 1a per començar!

(7)

Gràfica 1

Gràfica 2

Paràmetres del Model de la Gota Líquida (MeV)

$a_v =$	<input type="text" value="14,90"/>	<input type="range" value="14,90"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$a_s =$	<input type="text" value="19,73"/>	<input type="range" value="19,73"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$a_c =$	<input type="text" value="0,65"/>	<input type="range" value="0,65"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$a_a =$	<input type="text" value="18,59"/>	<input type="range" value="18,59"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$a_p =$	<input type="text" value="9,78"/>	<input type="range" value="9,78"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Activitat 1a - Ajust per l'Oxigen (Z = 8)
Activitat 1b - Isòtops simètrics
Activitat 1c - Paràmetre de Volum
Activitat 1d - Paràmetre d'Asimetria
Activitat 1e - Paràmetre d'Aparellament

Reseteja Desa Carrega Envia (8)

Figura 5: Aplicació. 1. Grup assignat; 2. Pestanyes d'activitats; 3. Desplegable d'elements de la taula periòdica; 4. Desplegable d'idioma; 5. Gràfiques de l'activitat; 6. Valors dels paràmetres del models de gota líquida (inicialment aleatoris). 7. Nom, descripció i exercicis de l'activitat. 8. Barra de botons.

6 Ús del Servidor Web

Un cop iniciat el servidor (veure Secció 4), pots obrir el navegador web clicant **Open Browser** per veure els resultats com es mostra en la Figura 6. Es recomana mostrar el navegador a pantalla completa (F11). A continuació es dóna una descripció amb la numeració dels recursos mostrats a la Figura 6 (l'Activitat 2 té una plantilla més simple).

A mesura que els estudiants enviien els seus resultats, aquests apareixeran distribuïts en forma d'histograma (3). Les últimes instàncies rebudes es podran veure a l'Activitat de Grup (4). En cas de ser necessari, el professor pot veure l'historial senser de misstages al Controlador de Servidor (veure Figura 3.9).

Cada element enviat amb èxit s'indicarà de color verd, juntament amb un número indicant quants estudiants han ajustat els paràmetres d'aquell element (5).

Per canviar d'exercici o activitat, només cal clicar en la pestanya corresponent (2).

Per canviar d'idioma, el professor pot fer servir el Controlador de Servidor (veure Figura 3.1). Actualitzar la pàgina (F5) o canviar d'activitat actualitzarà l'idioma.

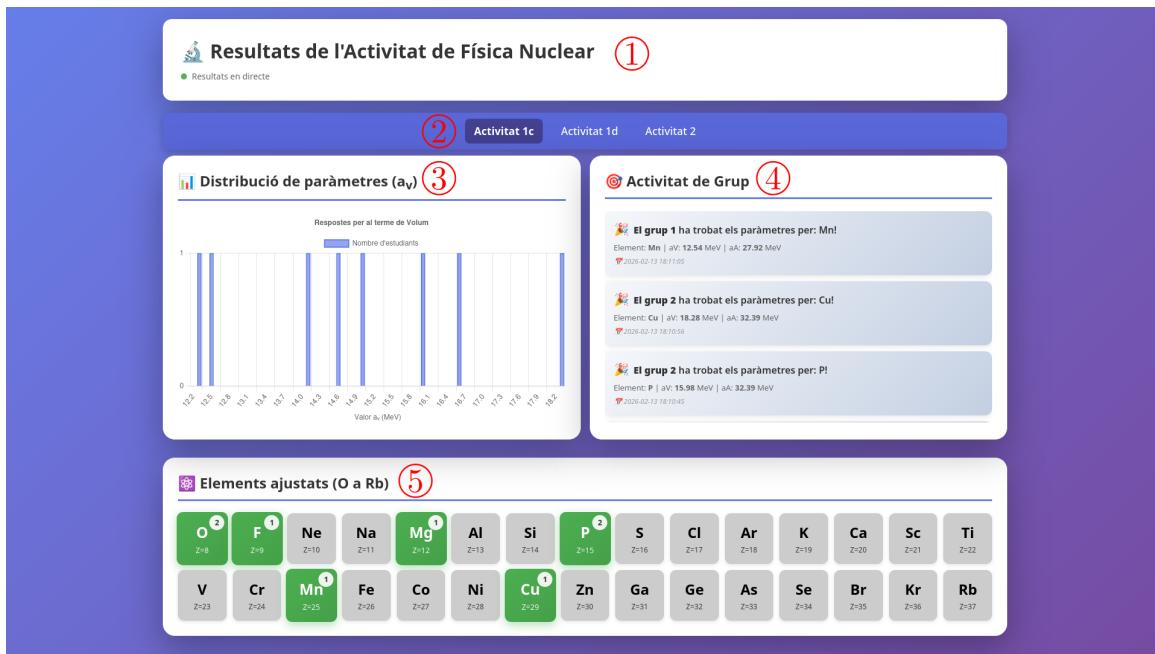


Figura 6: Server web. 1. Títol; 2. Pestanyes d'activitats; 3. Histograma de respostes; 4. Historial de respostes; 5. Llista d'elements trobats;