

---

# Activitat de Divulgació: Nuclis Líquids

El Model Nuclear de Gota Líquida

---

*Contacte:*

Arnau RIOS HUGUET, [arnau.rios@icc.ub.edu](mailto:arnau.rios@icc.ub.edu)

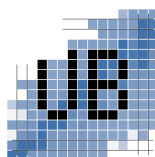
Alejandro ROMERO-ROS, [alejandro.romero.ros@fqa.ub.edu](mailto:alejandro.romero.ros@fqa.ub.edu)



**Institut de Ciències del Cosmos**  
UNIVERSITAT DE BARCELONA



GRUP DE FÍSICA HADRÒNICA, NUCLEAR I ATÒMICA



@HADNUCATUB

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

<b>1</b>	<b>Introducció al Model de la Gota Líquida</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Descripció de les Activitats</b>	<b>3</b>
2.1	Activitat 1: Ajustant el Model de la Gota Líquida . . . . .	3
2.2	Activitat 2: Predicció de l'Isòtop més Pesat . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Connexió al Servidor: Guia per a Professors i Estudiants</b>	<b>4</b>
3.1	Per al Professor: Execució del Servidor . . . . .	4
3.2	Per a l'Estudiant: Connexió a l'Activitat . . . . .	4

## 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' $^{14}\text{O}$  (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 sorprenentment 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:

1. **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.
2. **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.
3. **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.
4. **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 introdueix una penalització energètica per allunyar-se d'aquesta simetria.
5. **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  $\delta_0$  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, que provenen del Centre de Dades de Massa Atòmica oficial.

### 2.1 Activitat 1: Ajustant el Model de la Gota Líquida

Aquesta activitat es divideix en cinc parts. L'objectiu principal és entendre com els paràmetres del Model de la Gota Líquida ( $a_v, a_s, a_c, a_a, a_p$ ) es relacionen amb dades del món real. Utilitzaràs controls lliscants per ajustar els valors d'aquests paràmetres i intentar adaptar el model teòric a les dades experimentals d'un element escollit.

Dos gràfics guiaran el teu treball:

- **Gràfic Superior:** 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.
- **Gràfic Inferior:** Mostra la diferència (l'error) entre les dades experimentals i el teu ajust teòric.

El teu objectiu és ajustar els controls lliscants per fer que la línia vermella del gràfic superior coincideixi el màxim possible amb els punts blaus. Això equival a fer que l'error en el gràfic inferior sigui el més proper a zero possible per a tots els isòtops. A través de les 5 sub-activitats, determinaràs els valors d'ajust òptim per als paràmetres del LDM de manera guiada.

### 2.2 Activitat 2: Predicció de l'Isòtop més Pesat

Aquesta activitat de dues parts et repta a utilitzar els paràmetres del LDM que vas trobar a l'Activitat 1 per fer una predicció. Un isòtop només pot existir si la seva energia d'enllaç és positiva ( $BE/A > 0$ ). Si l'energia d'enllaç és zero o negativa, el nucli es desintegraria espontàniament.

El teu objectiu és utilitzar el model per respondre a la pregunta: **quin és l'isòtop més massiu d'un element donat que pot existir?**

Tornaràs a utilitzar controls lliscants, aquesta vegada per explorar com les incerteses en els paràmetres del LDM afecten la teva predicció de l'isòtop més pesat possible. Això et donarà un rang de possibles nombres màssics ( $A$ ) per al límit de l'existència nuclear.

### 3 Connexió al Servidor: Guia per a Professors i Estudiants

Per permetre que els resultats dels estudiants es recullin i es visualitzin de forma centralitzada, el projecte utilitza una configuració client-servidor senzilla. El professor o presentador executa l'aplicació `server_gui`, i cada estudiant utilitza l'aplicació `main_window` per connectar-s'hi.

Les aplicacions estan disponibles com a executables pre-compilats per a Windows i Linux, que es poden descarregar del repositori del projecte. De moment, no hi ha versió per a macOS.

#### 3.1 Per al Professor: Execució del Servidor

Com a professor o presentador, la teva funció és allotjar el servidor al qual es connectaran els estudiants.

1. Descarrega i executa l'aplicació `server_gui` per al teu sistema operatiu (p. ex., `server_gui.exe` per a Windows).
2. Apareixerà una finestra de control. Simplement fes clic al botó **Inicia Servidor**.
3. Un cop el servidor s'iniciï, es mostrarà una **URL del Servidor** a la finestra (p. ex., `http://192.168.1.100:`). Aquesta és l'adreça que has de compartir amb els teus estudiants. Pots utilitzar el botó **Copia URL** per a més comoditat.
4. A mesura que els estudiants es connectin i enviïn les seves dades des de les activitats, els seus missatges i resultats apareixeran a la finestra de registre "Missatges Rebut".
5. Quan la sessió hagi acabat, simplement fes clic al botó **Atura Servidor** per a tancar el servidor.

#### 3.2 Per a l'Estudiant: Connexió a l'Activitat

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 (p. ex., `main_window.exe` per a Windows). Aquest és el programa principal que conté les activitats.
2. A l'aplicació, navega a la pestanya **Logs**.
3. Escriu la **URL del Servidor** proporcionada pel teu professor al camp de text de la part superior. Si t'has connectat abans, l'aplicació pot recordar l'última URL utilitzada.
4. Fes clic al botó **Connecta**.
5. El registre "Estat de la connexió" hauria d'actualitzar-se per a mostrar un missatge de "Connectat".
6. Això és tot! Ara, a mesura que completis parts de les activitats, pots fer clic al botó **Envia** per a enviar els teus resultats al servidor del professor.

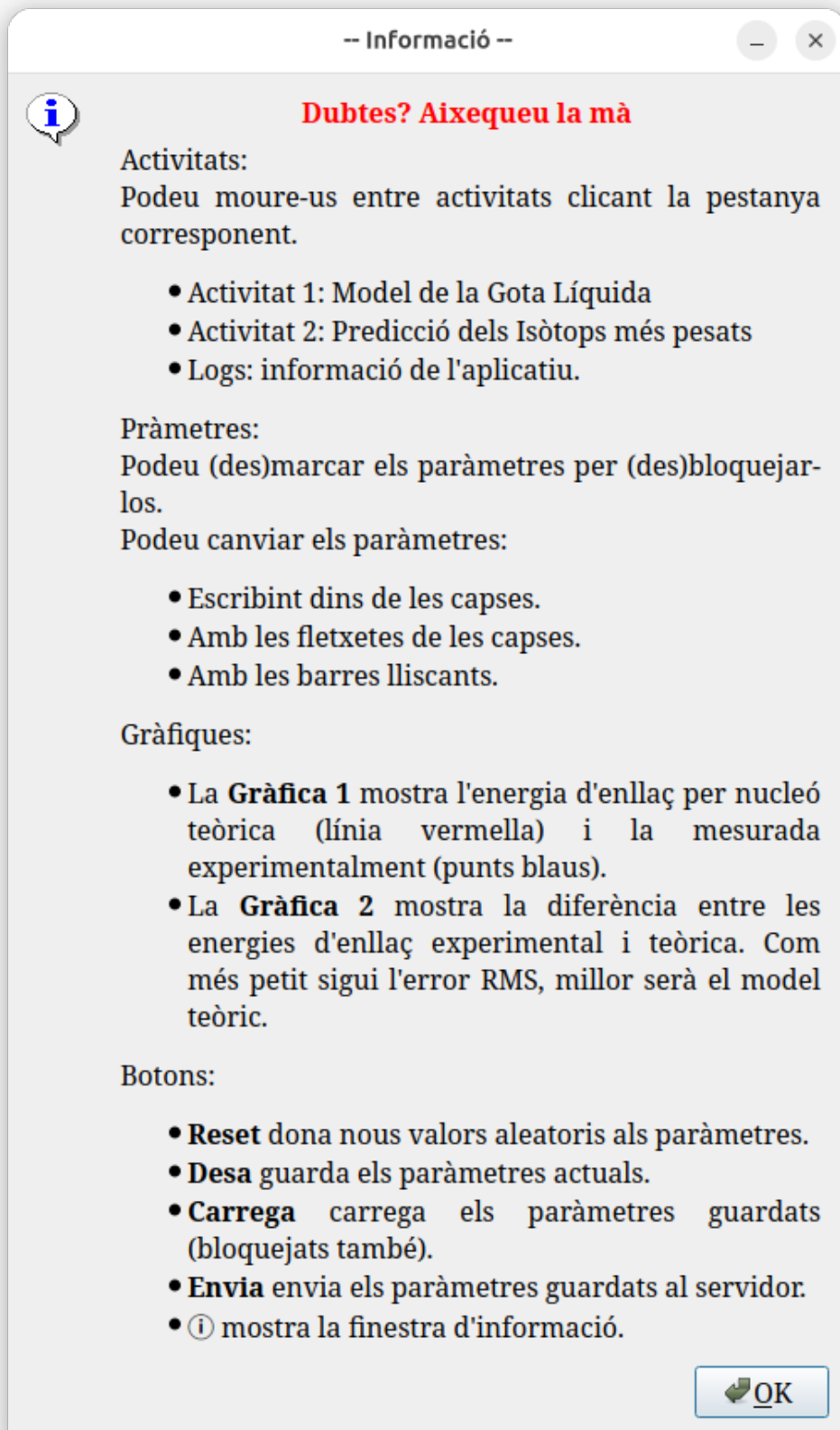


Figura 1: Una representació visual de les diferents contribucions a l'energia d'enllaç en el Model de la Gota Líquida.

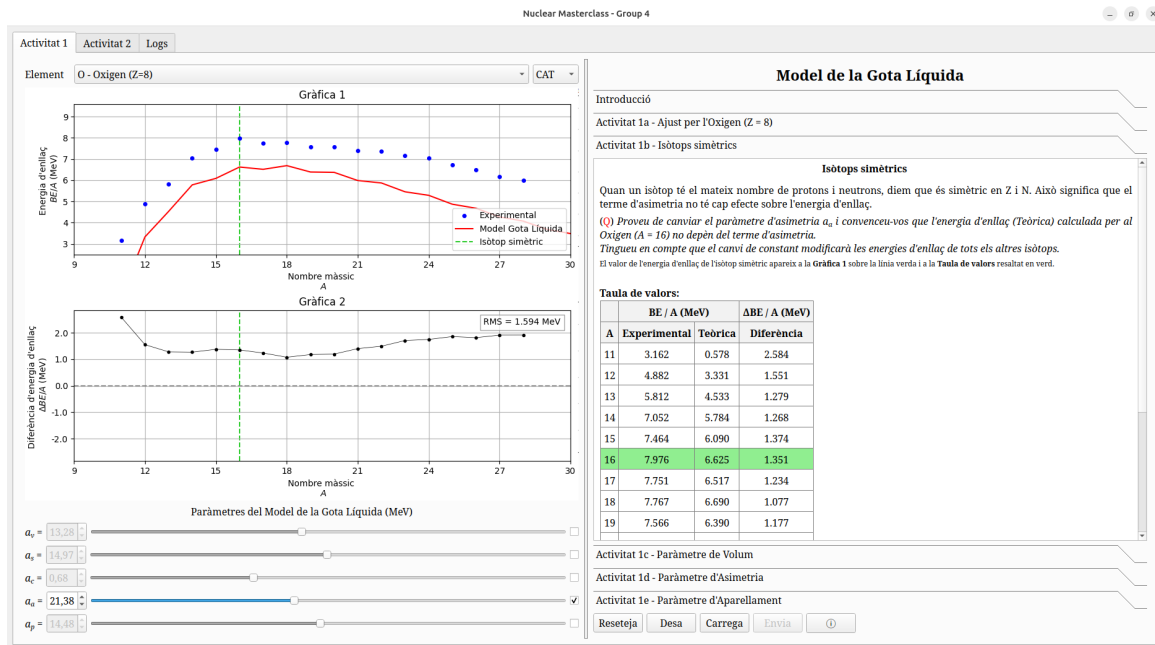


Figura 2: La interfície per a l'Activitat 1. Els estudiants utilitzen els controls lliscants de l'esquerra per a ajustar el model teòric (línia vermella) a les dades experimentals (punts blaus).

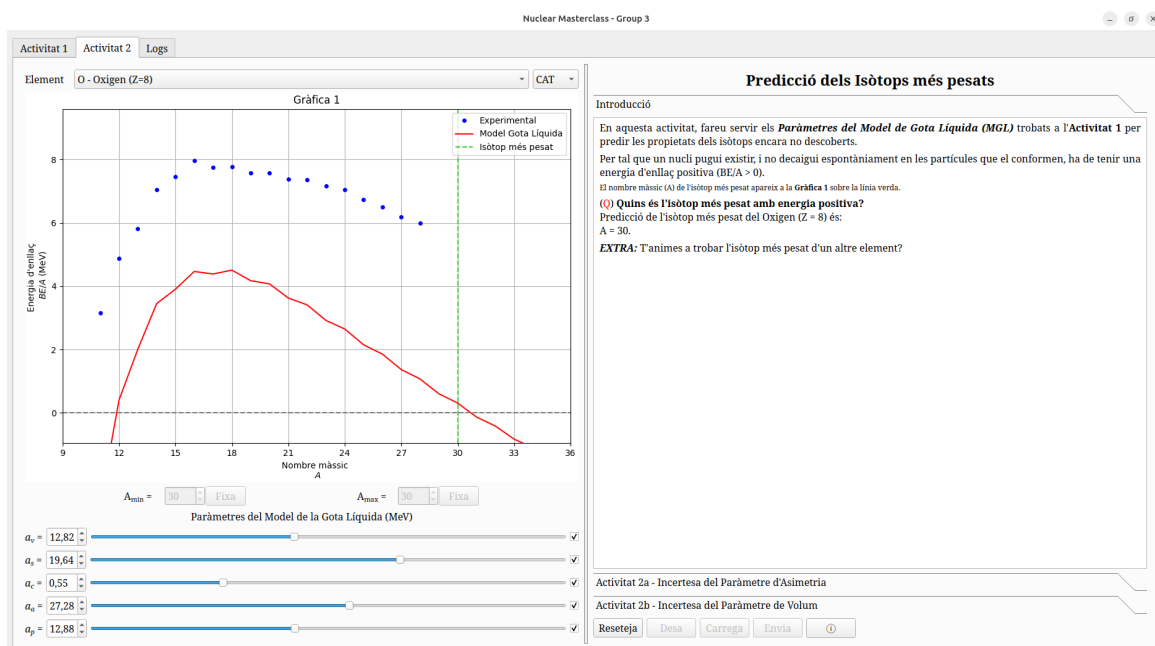


Figura 3: La interfície per a l'Activitat 2, utilitzada per a explorar els límits de l'estabilitat nuclear i predir els isòtops més pesats possibles.