

# El Model de la Gota Líquida: Una Exploració Interactiva

Alejandro Romero-Ros

January 8, 2026

## 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 recollits 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)**:

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

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 introduceix una penalització energètica per allunyar-se d'aquesta simetria.
5. **Terme d'Aparellament ( $\pm \frac{a_p}{A}$ )**: 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, que és positiva per a nuclis parell-parell, negativa per a nuclis senar-senar, i zero per a nuclis amb un nombre màssic senar.

Not only does this formula help us understand the properties of the thousands of known nuclei, nuclear stability and phenomena like nuclear fission, but it also allows us to predict the properties of nuclei we have not yet discovered and even to understand some properties of incredibly dense objects like neutron stars. It's important to remember that this is a scientific model; it's a powerful tool, but it can always be improved or replaced by new data or a new groundbreaking theory. Perhaps you will be the one to improve it!

## 2 Descripció de les Activitats

The project includes two main activities designed to let you interactively explore the concepts of the Liquid Drop Model. For each activity, you can select any element from the periodic table and work with its isotope data, which is taken from the official Atomic Mass Data Center.

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

This activity is divided into five parts. The main goal is to understand how the Liquid Drop Model parameters ( $a_v, a_s, a_c, a_a, a_p$ ) relate to real-world data. You will use sliders to adjust the values of these parameters and try to fit the theoretical model to the experimental data for a chosen element.

Two plots will guide your work:

- **Gràfic Superior:** This shows the binding energy per nucleon (BE/A) versus the mass number (A). The blue dots are the real experimental data, and the red line is the theoretical value from the LDM formula using the parameters you set with the sliders.
- **Gràfic Inferior:** This shows the difference (the error) between the experimental data and your theoretical fit.

Your objective is to adjust the sliders to make the red line in the upper plot match the blue dots as closely as possible. This is equivalent to making the error in the lower plot as close to zero as you can for all the isotopes. Through the 5 sub-activities, you will determine the best-fit values for the LDM parameters in a guided way.

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

This two-part activity challenges you to use the LDM parameters you found in Activity 1 to make a prediction. An isotope can only exist if its binding energy is positive ( $BE/A > 0$ ). If the binding energy is zero or negative, the nucleus would spontaneously fall apart.

Your goal is to use the model to answer the question: **what is the most massive isotope of a given element that can possibly exist?**

You will again use sliders, this time to explore how uncertainties in the LDM parameters affect your prediction for the heaviest possible isotope. This will give you a range of possible mass numbers (A) for the limit of nuclear existence.

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

To allow students' results to be collected and viewed centrally, the project uses a simple client-server setup. The teacher or presenter runs the `server_gui` application, and each student uses the `main_window` application to connect to it.

The applications are available as pre-built executables for Windows and Linux, which can be downloaded from the project's repository. There is no version for macOS at this time.

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

As the teacher or presenter, your role is to host the server that students will connect to.

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 Rebuts".
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

As a student, you will connect your application to the teacher's server to submit your results.

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.
4. Fes clic al botó **Connecta**.
5. El registre "Estat de la connexió" hauria d'actualitzar-se per a mostrar un missatge de "Connectat". Si t'has connectat abans, l'aplicació pot recordar l'última URL utilitzada.
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.

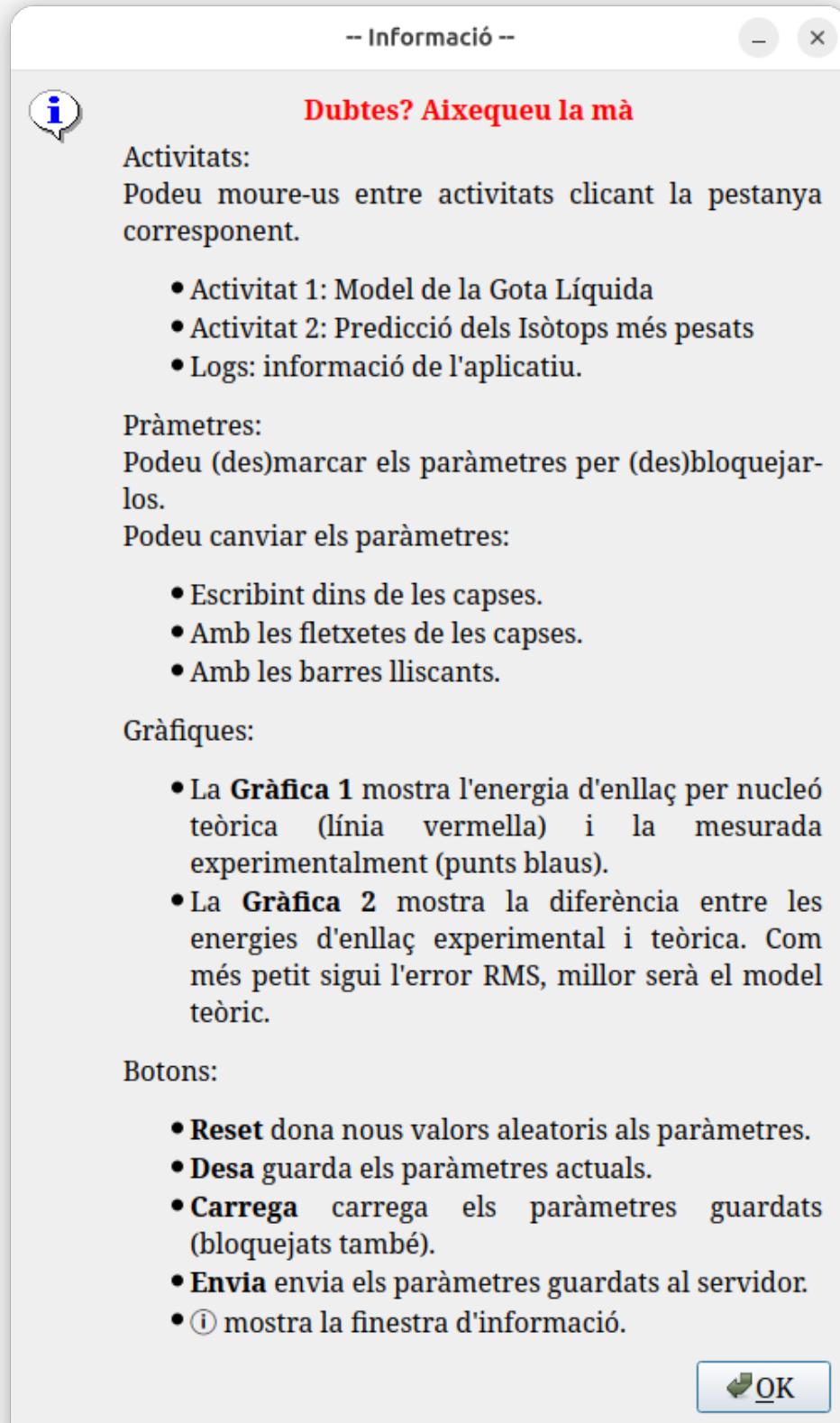


Figure 1: Una representació visual de les diferents contribucions a l'energia d'enllaç en el Model de la Gota Líquida.

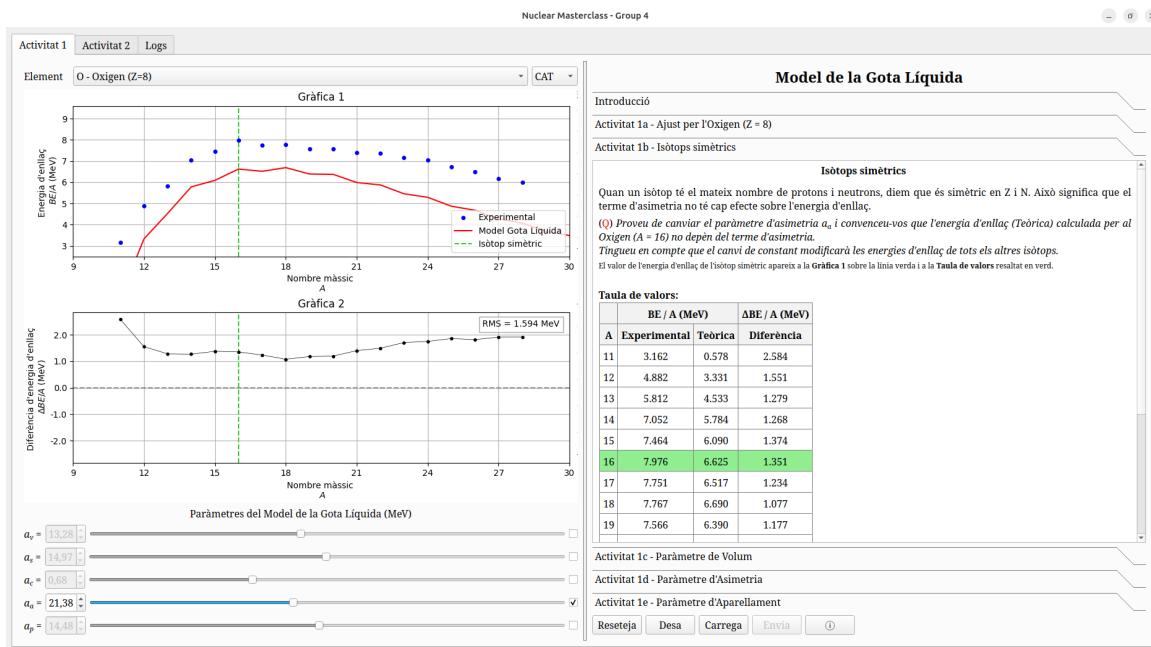


Figure 2: La interfície per a l'Activitat 1. Els estudiants utilitzen els controls lliscants de l'esquerra per a ajustar el model teòric (línia vermella) a les dades experimentals (punts blaus).

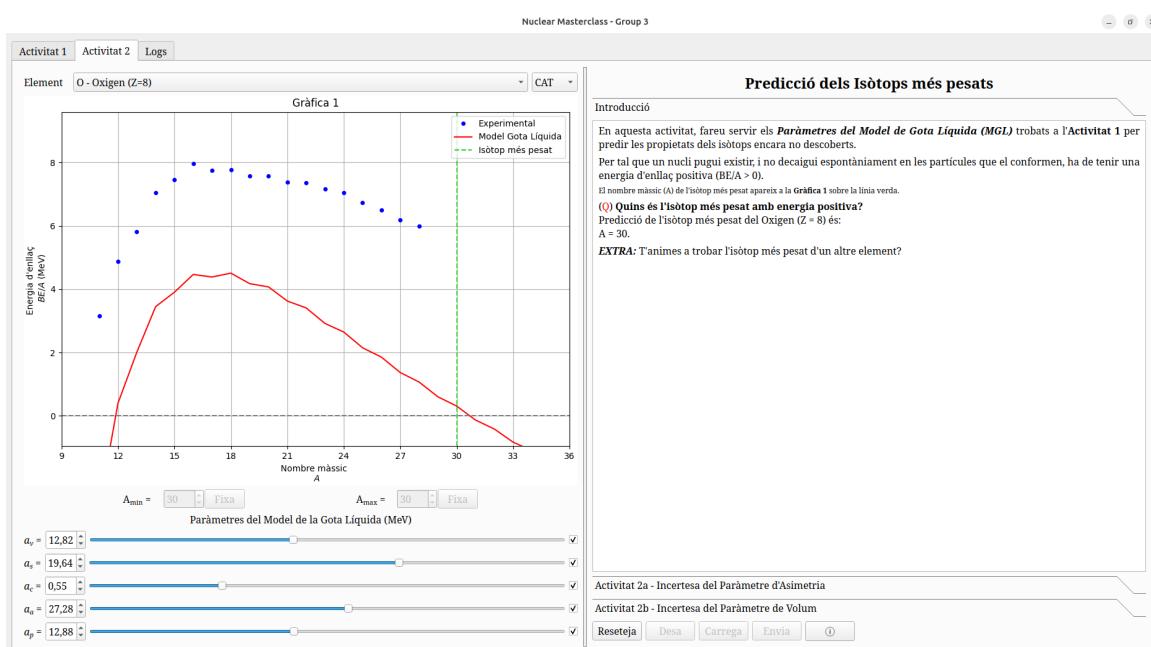


Figure 3: La interfície per a l'Activitat 2, utilitzada per a explorar els límits de l'estabilitat nuclear i predir els isòtops més pesats possibles.