

# El Modelo de la Gota Líquida: Una Exploración Interactiva

Alejandro Romero-Ros

8 de enero de 2026

## Resumen

Este documento proporciona una visión general del Modelo de la Gota Líquida (LDM) del núcleo atómico y detalla las actividades interactivas diseñadas para explorar sus conceptos. También incluye una guía paso a paso para configurar y ejecutar el servidor local del proyecto para visualizar los resultados de las actividades de los estudiantes.

## Índice

<b>1</b>	<b>Introducción al Modelo de la Gota Líquida</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Descripción de las Actividades</b>	<b>3</b>
2.1	Actividad 1: Ajuste del Modelo de la Gota Líquida . . . . .	3
2.2	Actividad 2: Predicción del Isótopo más Pesado . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Conexión al Servidor: Guía para Profesores y Estudiantes</b>	<b>4</b>
3.1	Para el Profesor: Ejecución del Servidor . . . . .	4
3.2	Para el Estudiante: Conexión a la Actividad . . . . .	4

## 1 Introducción al Modelo de la Gota Líquida

¿Qué mantiene unido un núcleo atómico? La **energía de enlace** de un núcleo es la respuesta: mide la energía ganada al ensamblar neutrones y protones para formar un núcleo. Por ejemplo, si tomas la masa de 8 protones y 6 neutrones y la comparas con la masa medida experimentalmente de un núcleo de  $^{14}\text{O}$  (oxígeno-14), encontrarás que el núcleo es *más ligero* que sus partes. Esta "masa perdida" se ha convertido en una gran cantidad de energía, tal como describe la famosa fórmula de Einstein,  $E = mc^2$ . Esta energía es la energía de enlace.

Aunque los experimentos pueden medir la energía de enlace de miles de núcleos, los científicos también quieren ser capaces de predecir estas propiedades sin un experimento. Aquí es donde entran en juego los modelos científicos. El **Modelo de la Gota Líquida**, concebido por teóricos nucleares en la década de 1930, es uno de los modelos más simples y exitosos para este propósito. Trata el núcleo como si fuera una gota de líquido incompresible, como un pequeño globo de agua. Esta analogía funciona sorprendentemente bien porque la fuerza nuclear fuerte que une a los nucleones es de muy corto alcance, de manera muy similar a las fuerzas entre moléculas en un líquido.

El modelo nos permite estimar la energía de enlace promedio por nucleón ( $\text{BE}/A$ ), una medida clave de la estabilidad de un núcleo, utilizando la **Fórmula Semi-Empírica de Masas (SEMF)**:

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

Donde  $A$  es el número total de nucleones (protones + neutrones) y  $Z$  es el número de protones. Cada término representa la contribución por nucleón de un efecto físico diferente:

1. **Término de Volumen ( $a_v$ )**: Este término proporciona una cantidad positiva constante a la energía de enlace. Proviene de la idea de que cada nucleón solo interactúa con sus vecinos inmediatos debido al corto alcance de la fuerza nuclear.
2. **Término de Superficie ( $-a_s A^{-1/3}$ )**: Este término tiene un signo negativo porque los nucleones en la superficie tienen menos vecinos con los que interactuar, lo que los hace estar menos fuertemente ligados. Esto es similar a la tensión superficial en una gota de líquido real.
3. **Término de Coulomb ( $-a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{4/3}}$ )**: Este término tiene en cuenta la repulsión electrostática entre protones con carga positiva. Esta fuerza repulsiva reduce la energía de enlace y explica por qué los núcleos grandes y estables necesitan más neutrones que protones para añadir "unión" sin añadir más repulsión.
4. **Término de Asimetría ( $-a_a \frac{(A-2Z)^2}{A^2}$ )**: El núcleo es más estable cuando el número de neutrones y protones es aproximadamente igual ( $N \approx Z$ ). Este término introduce una penalización energética por alejarse de esta simetría.
5. **Término de Apareamiento ( $\pm \frac{a_p}{A}$ )**: Un efecto mecano-cuántico donde los núcleos con un número par de protones y/o un número par de neutrones son sistemáticamente más estables que aquellos con números impares. El parámetro de apareamiento,  $a_p$ , establece la magnitud de esta corrección, que es positiva para núcleos par-par, negativa para núcleos impar-impar, y cero para núcleos con un número másico impar.

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 Descripción de las Actividades

El proyecto incluye dos actividades principales diseñadas para que puedas explorar interactivamente los conceptos del Modelo de la Gota Líquida. Para cada actividad, puedes seleccionar cualquier elemento de la tabla periódica y trabajar con los datos de sus isótopos, que se toman del Centro de Datos de Masa Atómica oficial.

### 2.1 Actividad 1: Ajuste del Modelo de la Gota Líquida

Esta actividad se divide en cinco partes. El objetivo principal es entender cómo los parámetros del Modelo de la Gota Líquida ( $a_v, a_s, a_c, a_a, a_p$ ) se relacionan con los datos del mundo real. Utilizarás deslizadores para ajustar los valores de estos parámetros e intentarás ajustar el modelo teórico a los datos experimentales para un elemento elegido.

Dos gráficos guiarán tu trabajo:

- **Gráfico Superior:** Muestra la energía de enlace por nucleón (BE/A) frente al número mísico (A). Los puntos azules son los datos experimentales reales, y la línea roja es el valor teórico de la fórmula LDM usando los parámetros que estableces con los deslizadores.
- **Gráfico Inferior:** Muestra la diferencia (el error) entre los datos experimentales y tu ajuste teórico.

Tu objetivo es ajustar los deslizadores para que la línea roja en el gráfico superior coincida lo más posible con los puntos azules. Esto es equivalente a hacer que el error en el gráfico inferior sea lo más cercano a cero posible para todos los isótopos. A través de las 5 sub-actividades, determinarás los valores de mejor ajuste para los parámetros LDM de forma guiada.

### 2.2 Actividad 2: Predicción del Isótopo más Pesado

Esta actividad de dos partes te desafía a usar los parámetros LDM que encontraste en la Actividad 1 para hacer una predicción. Un isótopo solo puede existir si su energía de enlace es positiva ( $BE/A > 0$ ). Si la energía de enlace es cero o negativa, el núcleo se desintegraría espontáneamente.

Tu objetivo es usar el modelo para responder a la pregunta: **¿cuál es el isótopo más masivo de un elemento dado que puede existir?**

Nuevamente usarás deslizadores, esta vez para explorar cómo las incertidumbres en los parámetros LDM afectan tu predicción para el isótopo más pesado posible. Esto te dará un rango de posibles números mísicos (A) para el límite de la existencia nuclear.

### 3 Conexión al Servidor: Guía para Profesores y Estudiantes

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 Para el Profesor: Ejecución del Servidor

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

1. Descarga y ejecuta la aplicación `server_gui` para tu sistema operativo (p. ej., `server_gui.exe` para Windows).
2. Aparecerá una ventana de control. Simplemente haz clic en el botón **Iniciar Servidor**.
3. Una vez que el servidor se inicie, se mostrará una **URL del Servidor** en la ventana (p. ej., `http://192.168.1.100:5001`). Esta es la dirección que debes compartir con tus estudiantes. Puedes utilizar el botón **Copiar URL** para mayor comodidad.
4. A medida que los estudiantes se conecten y envíen sus datos desde las actividades, sus mensajes y resultados aparecerán en la ventana de registro "Mensajes Recibidos".
5. Cuando la sesión haya terminado, simplemente haz clic en el botón **Detener Servidor** para cerrar el servidor.

#### 3.2 Para el Estudiante: Conexión a la Actividad

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

1. Descarga y ejecuta la aplicación `main_window` para tu sistema operativo (p. ej., `main_window.exe` para Windows). Este es el programa principal que contiene las actividades.
2. En la aplicación, navega a la pestaña **Logs**.
3. Escribe la **URL del Servidor** proporcionada por tu profesor en el campo de texto de la parte superior.
4. Haz clic en el botón **Conectar**.
5. El registro "Estado de la conexión" debería actualizarse para mostrar un mensaje de "Conectado". Si te has conectado antes, la aplicación puede recordar la última URL utilizada.
6. ¡Eso es todo! Ahora, a medida que completes partes de las actividades, puedes hacer clic en el botón **Enviar** para enviar tus resultados al servidor del profesor.

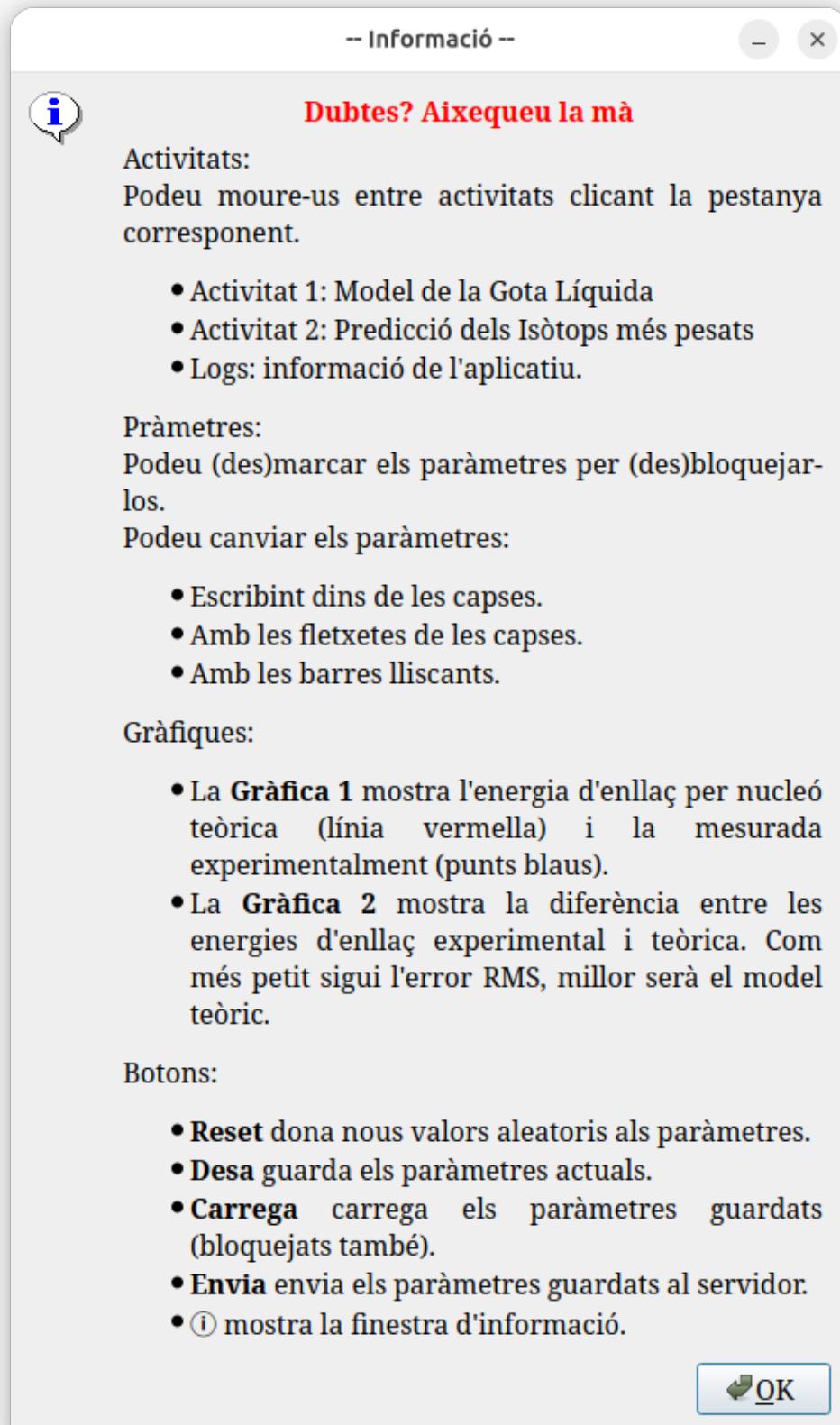


Figure 1: Una representación visual de las diferentes contribuciones a la energía de enlace en el Modelo de la Gota Líquida.

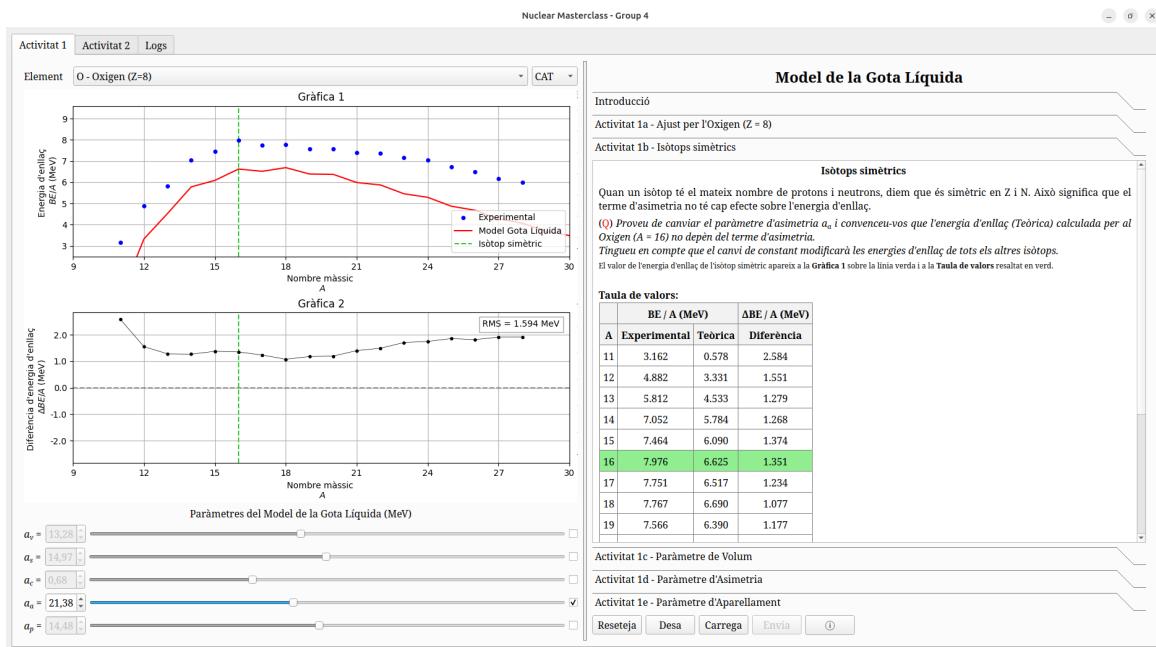


Figure 2: La interfaz para la Actividad 1. Los estudiantes utilizan los deslizadores de la izquierda para ajustar el modelo teórico (línea roja) a los datos experimentales (puntos azules).

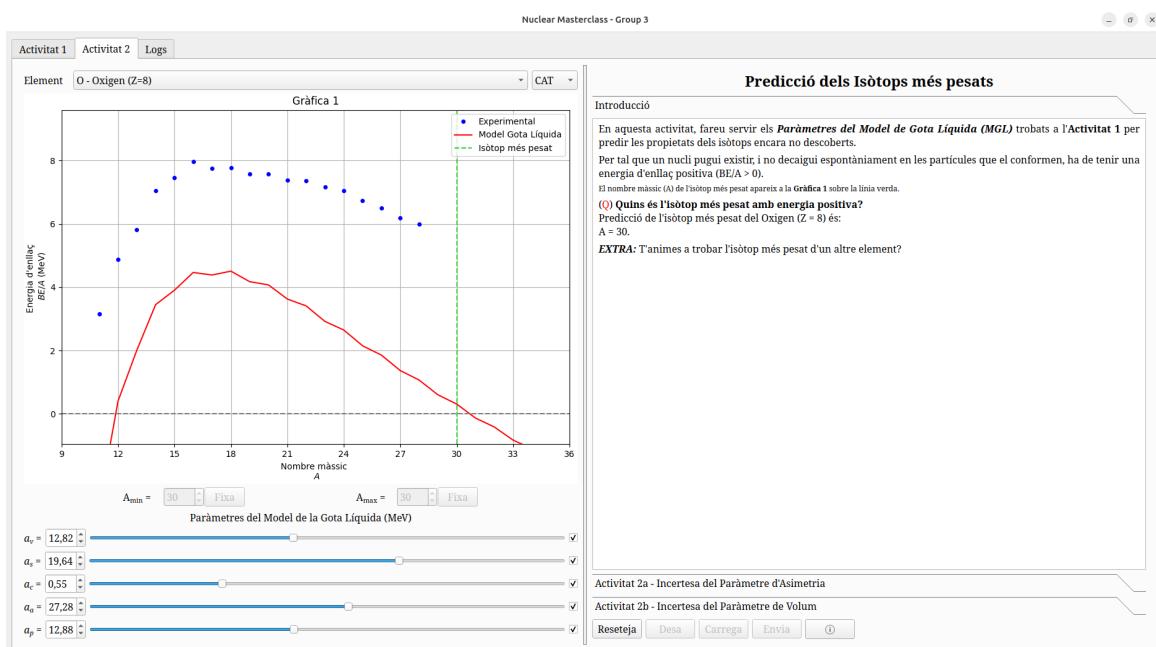


Figure 3: La interfaz para la Actividad 2, utilizada para explorar los límites de la estabilidad nuclear y predecir los isótopos más pesados posibles.