

---

# Actividad de Divulgación: Núcleos Líquidos

## El Modelo Nuclear de Gota Líquida

---

*Contacto:*

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

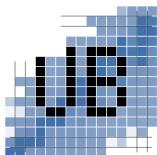
Alejandro ROMERO-ROS, [alejandro.romero.ros@fqa.ub.edu](mailto:alejandro.romero.ros@fqa.ub.edu)



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



GRUPO DE FÍSICA HADRÓNICA, NUCLEAR Y ATÓMICA



@HADNUCATEUB



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

DEPARTAMENT DE FÍSICA QUÀNTICA I  
ASTROFÍSICA

INICIATIVA BINDING BLOCKS



@BINDINGBLOCKS

ACTIVIDAD ORIGINALMENTE CONCEBIDA POR LAS UNIVERSIDADES DE YORK Y DE  
SURREY



UNIVERSITY  
*of York*



UNIVERSITY OF  
SURREY

## 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. Introducción al Modelo de la Gota Líquida</b>	<b>2</b>
<b>2. Descripción de las Actividades</b>	<b>3</b>
2.1. Actividad 1: Ajustando el Modelo de la Gota Líquida . . . . .	3
2.2. Actividad 2: Predicción del Isótopo más Pesado . . . . .	5
<b>3. Instalación previa</b>	<b>6</b>
<b>4. Conexión al Servidor: Guía para Profesor y Estudiantes</b>	<b>7</b>
4.1. Para el Profesor: Iniciar el Servidor . . . . .	7
4.2. Para el Estudiante: Conexión al Servidor . . . . .	9
<b>5. Uso de la Aplicación</b>	<b>11</b>
<b>6. Uso del Servidor Web</b>	<b>13</b>

## 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 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 media por nucleón (BE/A), una medida clave de la estabilidad de un núcleo, utilizando la **Fórmula Semi-Empírica de Masas (SEMF)**:

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

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:

- 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.
- 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, haciendo que estén menos fuertemente ligados. Esto es similar a la tensión superficial en una gota de líquido real.
- 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.
- 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.
- Término de Apareamiento ( $+a_p \frac{\delta_0}{A^{1/2}}$ ):** 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, donde  $\delta_0$  es positiva para núcleos par-par, negativa para núcleos impar-impar, y cero para núcleos con un número másico impar.

Este modelo no solo nos ayuda a entender las propiedades de los miles de núcleos conocidos, la estabilidad nuclear y fenómenos como la fisión nuclear, sino que también nos permite predecir las propiedades de núcleos que aún no hemos descubierto e incluso entender algunas propiedades de objetos increíblemente densos como las estrellas de neutrones. Es importante recordar que este es un modelo científico; es una herramienta poderosa, pero siempre se puede mejorar o sustituir por nuevos datos o una nueva teoría revolucionaria. ¡Quizás tú serás quien lo mejore!

## 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, proporcionados por el [Centro de Datos de Masa Atómica oficial](#). La aplicación está enfocada en el Oxígeno por defecto, pero animamos a estudiantes y profesores a experimentar con los otros elementos de la tabla periódica. También recordar que el servidor web solo muestra resultados desde el O( $Z = 8$ ) hasta el Rb( $Z = 37$ ). A medida que los estudiantes vayan haciendo el ajuste, pueden ir enviando los valores encontrados haciendo clic en el botón **Envía** de la parte inferior izquierda de la aplicación (ver Sección 5). Los datos en el servidor web se actualizarán automáticamente, y un mensaje mostrará qué grupo ha enviado los datos más recientes.

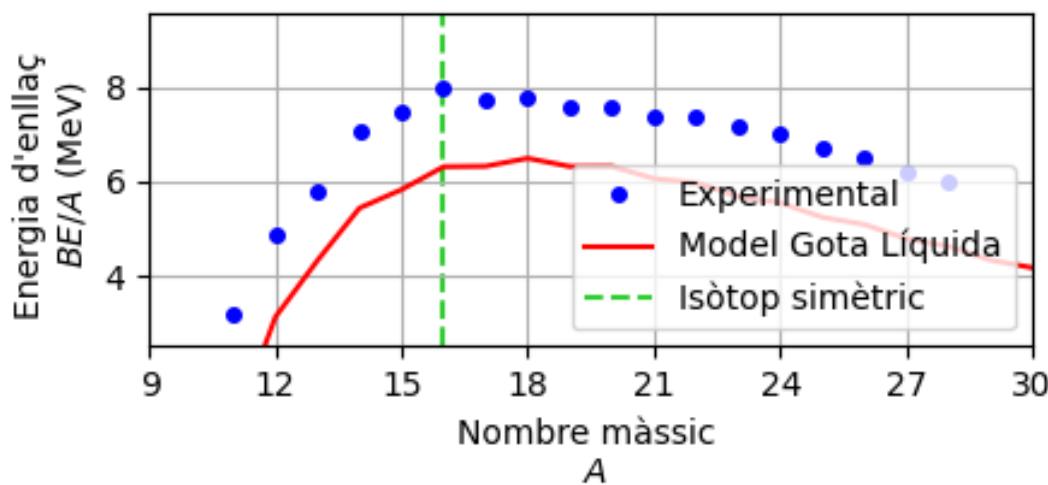
### 2.1. Actividad 1: Ajustando el Modelo de la Gota Líquida

En esta actividad entenderás cómo los parámetros del Modelo de la Gota Líquida ( $a_v, a_s, a_c, a_a, a_p$ ) se relacionan con los datos experimentales reales a través de 5 ejercicios diferentes. Dos gráficos guiarán tu ajuste (ver Figura 1):

- **Gráfica 1:** Muestra la energía de enlace por nucleón (BE/A) frente al número másico (A). Los puntos azules son los datos experimentales reales, y la línea roja es el valor teórico de la fórmula del LDM utilizando los parámetros que has establecido con los controles deslizantes.
- **Gráfica 2:** Muestra la diferencia (el error) entre los datos experimentales y tu ajuste teórico. También proporciona la media cuadrática (RMS).

En algunos ejercicios, una línea verde vertical indicará el número másico del isótopo simétrico. Tu objetivo es ajustar los valores de los parámetros del modelo de la gota líquida (ver Sección 5) para conseguir que la línea roja del gráfico 1 coincida lo máximo posible con los puntos azules. Esto equivale a hacer que el error en el gráfico 2 sea lo más cercano a cero para todos los isótopos. A través de los 5 ejercicios, determinarás los valores de ajuste óptimo para los parámetros del modelo de manera guiada.

Gràfica 1



Gràfica 2

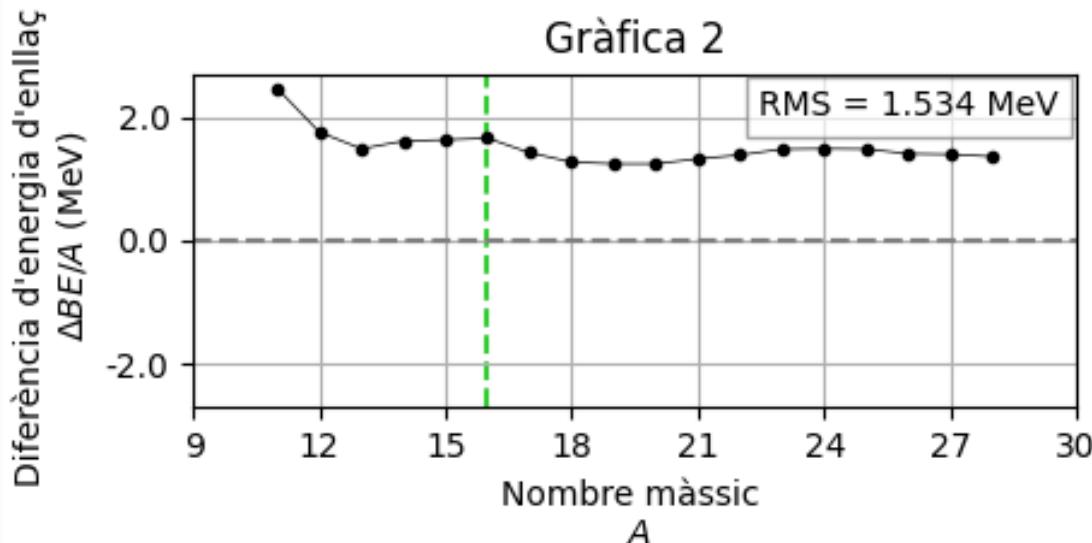


Figura 1: Gràfiques de la Actividad 1.

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

En esta actividad utilizarás los parámetros del modelo de la gota líquida encontrado en la Actividad 1 para predecir el isótopo más pesado de un elemento de la tabla periódica. Recuerda que un isótopo solo puede existir si su energía de enlace es positiva ( $BE/A > 0$ ). Si la energía de enlace fuera cero o negativa, el núcleo se desintegraría espontáneamente. Puedes monitorizar el ajuste de tus parámetros en la Gráfica 1 mostrada en la Figura 2. Si el modelo está bien ajustado, la línea roja teórica debería coincidir con (casi) todos los puntos azules experimentales. El isótopo más pesado viene indicado por una línea verde vertical, que varía en función de los parámetros de tu modelo. Tu objetivo es entender cómo la incertidumbre en los parámetros del modelo puede afectar a la predicción del isótopo más pesado, para un elemento dado, variando los parámetros de asimetría y de volumen. Esto te dará un rango de posibles números místicos ( $A$ ) para el límite de la existencia nuclear del isótopo. Para visualizar el rango de incertidumbre (área verde) puedes usar las celdas debajo del gráfico. Puedes introducir los valores del número atómico mínimo ( $A_{\min}$ ) y máximo ( $A_{\max}$ ) manualmente, o haciendo clic en el botón **Fija**. Si haces clic en el botón **Fixa**, introducirás el valor indicado por la línea verde vertical. Recuerda que  $A_{\min} < A_{\max}$ .

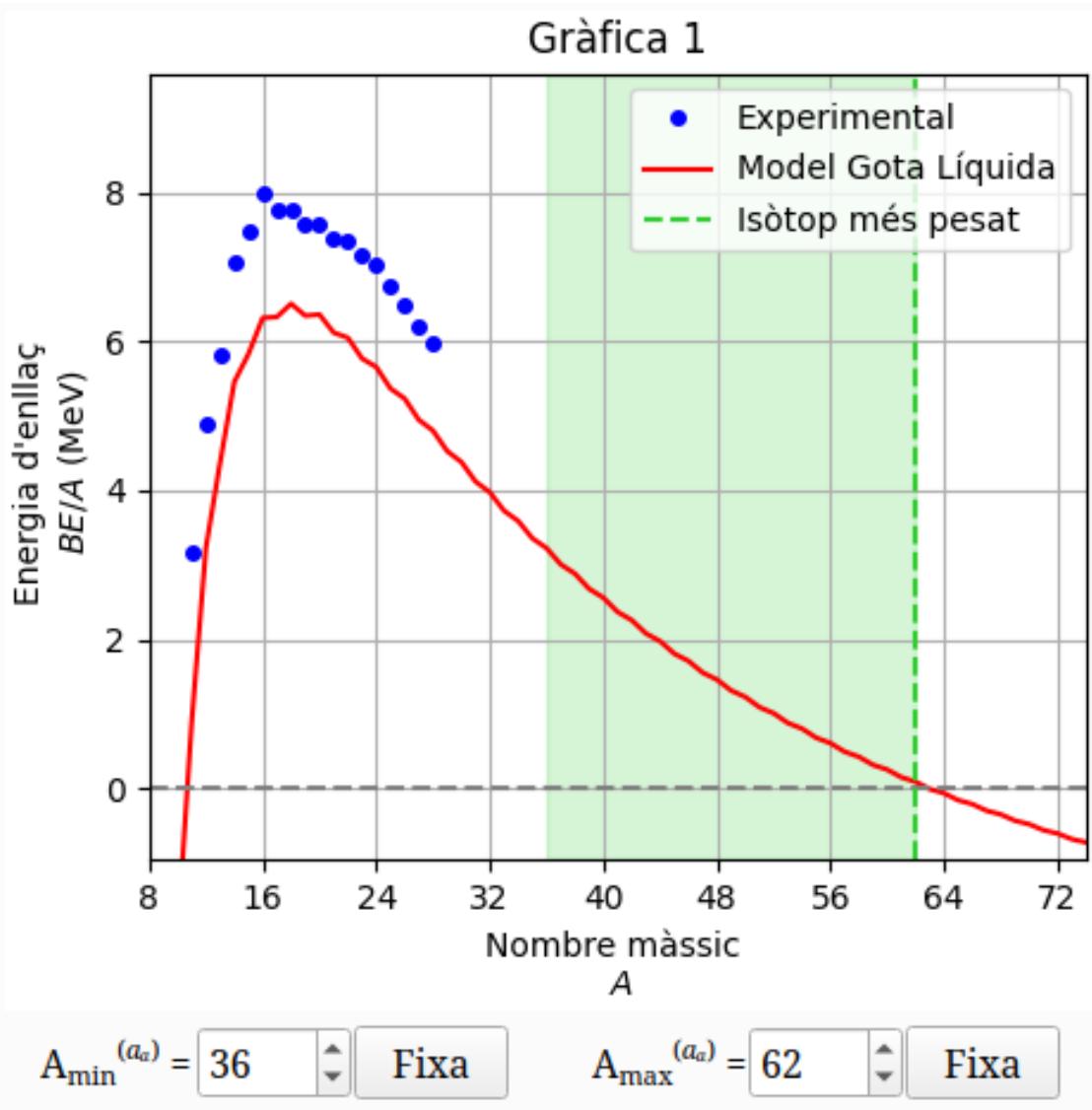


Figura 2: Gráfica 1 de la Actividad 2.

### 3. Instalación previa

Para poder llevar a cabo las actividades, cada estudiante o grupo de estudiantes debe tener a su disposición un ordenador Windows o Linux. De momento no hay versión MacOS.

Para realizar la actividad no es necesaria la conexión a Internet ni al servidor (ver Sección 4). Pero, para poder visualizar los resultados de los estudiantes a través del navegador web, es necesario que el ordenador que hospeda el servidor esté conectado a la misma red que los ordenadores de los estudiantes. A veces, si el ordenador del servidor está conectado a la red con cable Ethernet y los estudiantes se conectan por Wi-Fi se pueden dar incompatibilidades de red. La aplicación y el servidor están disponibles como ejecutables pre-compilados para Windows y Linux, que se pueden descargar del repositorio del proyecto.

- Servidor Windows: [https://github.com/Alejandro-FQA/LDM/raw/refs/heads/main/dist/server\\_gui.exe?download=1](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](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](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](https://github.com/Alejandro-FQA/LDM/raw/refs/heads/main/dist/main_window?download=1)

**Instrucciones para usuarios Windows:** una vez descargados, los ejecutables están listos para usarse. Importante: Windows puede interpretar el ejecutable como *malware*. En este caso solo hay que ignorar el mensaje y ejecutar igualmente.

**Instrucciones para usuarios Linux:** una vez descargados, los ejecutables se deben iniciar desde el terminal.

1. Abre el terminal en la carpeta donde has guardado los ejecutables con `Ctrl + Alt + t`.
2. Introduce en el terminal `chmod +x <nombre ejecutable>` para dar permisos de ejecución.
3. Introduce en el terminal `./<nombre ejecutable>` para iniciar la aplicación.

## 4. Conexión al Servidor: Guía para Profesor y Estudiantes

Para visualizar los resultados de forma centralizada a través de un navegador web (Explorer, FireFox, Chrome, etc.), el profesor ejecuta el controlador `server_gui`, y cada estudiante utiliza la aplicación `main_window` para conectarse.

### 4.1. Para el Profesor: Iniciar el Servidor

Como responsable de la actividad, tu función es alojar el servidor al que se conectarán los estudiantes.

1. Descarga y ejecuta el controlador `server_gui` para tu sistema operativo (ver Sección 3).
2. Aparecerá una ventana de control como la de la Figura 3 (en Inglés). A continuación se indican los recursos siguiendo la numeración de la Figura 3 entre paréntesis (...).
3. Para iniciar el servidor, haz clic en el botón **Start Server** (5).
4. Si el servidor se ha iniciado con éxito, se te mostrará una dirección **Server URL** (2) y mensajes en **Server Log** (7) indicándotelo.
5. Es necesario compartir la dirección URL con los alumnos para que puedan conectarse al servidor.
6. Para acceder al servidor web, puedes escribir la dirección en tu navegador preferido copiándola al portapapeles haciendo clic en **Copy URL**, o abrir el navegador por defecto haciendo clic en **Open in Browser**.
7. Puedes cambiar el idioma del servidor web con el menú desplegable **Language** (1) del controlador en cualquier momento (Catalán por defecto). Para ver el cambio efectivo, es necesario refrescar la página web (o pulsar F5).
8. En **Received Messages** (9) podrás ver la información que envían los alumnos al servidor.
9. Para detener el servidor y terminar la actividad, puedes pulsar el botón **Stop Server** (6).

Si por alguna casualidad el controlador del servidor se cerrara de forma inesperada, solo hace falta que los alumnos vuelvan a enviar una vez sus datos para recuperar toda la información previa. Si en este momento algún grupo o alumno ha sido desconectado, al conectarse de nuevo se le asignará un nuevo grupo.

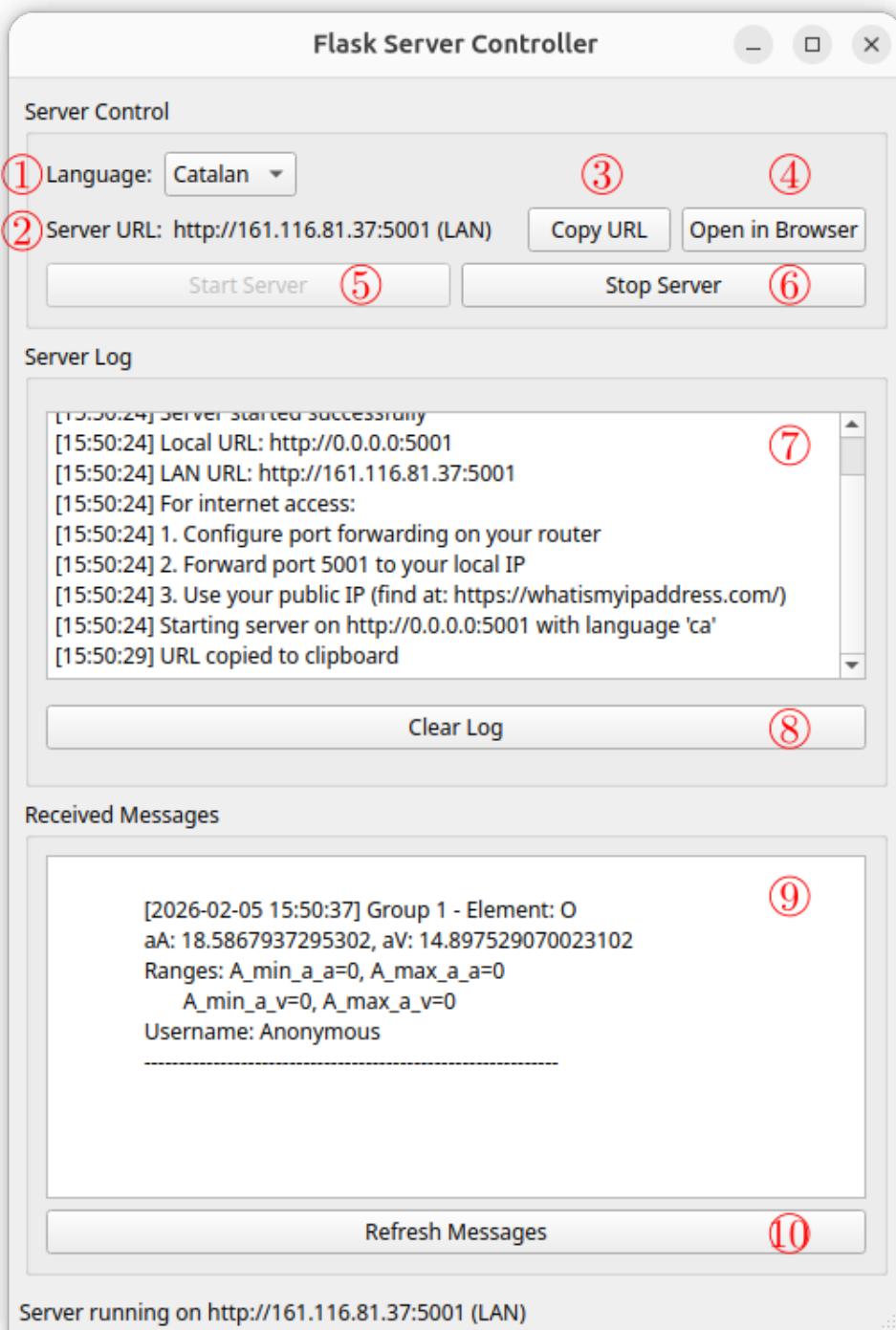


Figura 3: Controlador del servidor en activo. 1. Idioma; 2. Dirección web del servidor; 3. Botón para copiar la dirección; 4. Botón para abrir el navegador web; 5. Botón para iniciar el servidor; 6. Botón para detener el servidor; 7. Caja de mensajes del servidor; 8. Botón para limpiar la caja de mensajes del servidor; 9. Caja de mensajes recibidos; 10. Botón para limpiar la caja de mensajes recibidos.

#### 4.2. Para el Estudiante: Conexión al Servidor

Como estudiante, te conectarás al servidor del profesor para enviar tus resultados.

1. Descarga y ejecuta la aplicación `mainwindow` para tu sistema operativo (ver Sección 3).
2. Aparecerá una ventana como la de la Figura 4 (por defecto en Catalán y en la pestaña Actividad 1). A continuación se indican los recursos siguiendo la numeración de la Figura 4 entre paréntesis (...).
3. En la aplicación, navega a la pestaña **Logs** (2).
4. Escribe la **URL del Servidor** proporcionada por tu profesor en el campo de texto **Server** (4). Si te has conectado antes, la aplicación puede recordar la última URL utilizada.
5. Haz clic en el botón **Connect** (3).
6. Si la conexión ha sido exitosa, se te asignará un grupo (1), el botón **Connect** (3) pasará a **Disconnect** y el indicador (5) se pondrá de color verde.
7. En la caja de mensajes (6) se mostrará tu registro de acciones dentro de la aplicación.

Si por alguna casualidad la aplicación se cerrara de forma inesperada, al reiniciarla recuperarás toda la información que tenías guardada.

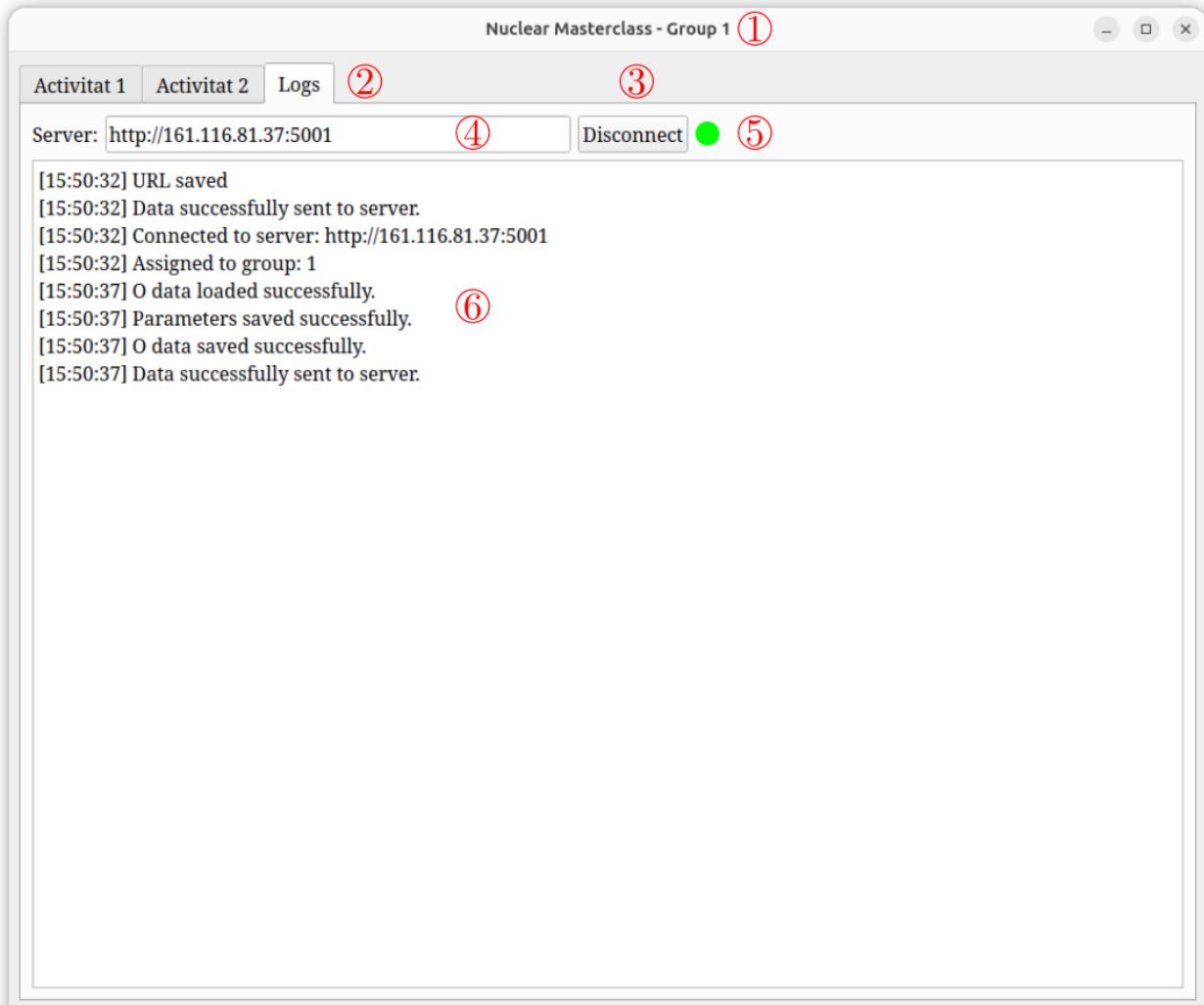


Figura 4: Conector de la aplicación. 1. Grupo asignado; 2. Pestañas de actividades; 3. Botón de (des)conexión; 4. Campo de texto para la dirección URL del servidor; 5. Indicador de conexión; 6. Caja de mensajes de la aplicación.

## 5. Uso de la Aplicación

Cuando inicies la aplicación (ver Sección 3), se abrirá una ventana como la que se muestra en la Figura 5. A continuación se da una descripción con la numeración de los recursos mostrados en la Figura 5.

1. Una vez conectado al servidor (ver Sección 4), se te asignará un grupo. Si la conexión no está establecida o no hay grupo asignado, se mostrará *Grupo None*.
2. Puedes cambiar de actividad haciendo clic en la pestaña correspondiente.
3. Puedes seleccionar el elemento de la tabla periódica que quieras desplegando la lista de elementos.
4. Puedes seleccionar el idioma de la aplicación desplegando la lista de idiomas (Catalán, Castellano o Inglés).
5. Las gráficas interactivas se mostrarán a la izquierda de la aplicación y cambian a medida que el alumno ajusta los parámetros del modelo de la gota líquida.
6. Los parámetros del modelo de la gota líquida se pueden modificar 1) escribiendo el valor, 2) haciendo clic en las flechas de la celda, o 3) desplazando el indicador de las barras deslizantes. Para bloquear un parámetro, se puede desmarcar la casilla derecha correspondiente.
7. A la derecha de la aplicación se muestran las descripciones de los ejercicios de la actividad. Puedes cambiar de ejercicio haciendo clic en la pestaña correspondiente.
8. Línea de botones:
  - a) **Resetea.** Botón para restablecer los valores de los parámetros de forma aleatoria. Solo afectará a los parámetros desbloqueados.
  - b) **Guarda.** Botón para guardar los valores de los parámetros para el elemento actual. Sobrescribe los valores previos del mismo elemento. Los datos se guardan en un archivo oculto en el mismo directorio/carpeta donde está la aplicación. Si el estudiante reinicia la aplicación, no pierde los datos ni el grupo asignado.
  - c) **Carga.** Botón para cargar los datos guardados del elemento actual. Solo se muestra activo si el usuario ha guardado datos previamente. Sobrescribe también los parámetros bloqueados.
  - d) **Envía.** Botón para enviar los datos al servidor web. Solo se muestra activo para los ejercicios correspondientes. Guarda automáticamente los parámetros actuales.
  - e) (i). Botón para abrir un panel informativo.

Nuclear Masterclass - Group 1 1

Activitat 1 Activitat 2 Logs 2

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

5 Gràfica 1

6 Paràmetres del Model de la Gota Líquida (MeV)

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

7 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!**

8

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 1

Figura 5: Aplicación. 1. Grupo asignado; 2. Pestañas de actividades; 3. Desplegable de elementos de la tabla periódica; 4. Desplegable de idioma; 5. Gráficas de la actividad; 6. Valores de los parámetros del modelo de gota líquida (inicialmente aleatorios). 7. Nombre, descripción y ejercicios de la actividad. 8. Barra de botones.

## 6. Uso del Servidor Web

Una vez iniciado el servidor (ver Sección 4), puedes abrir el navegador web haciendo clic en **Open Browser** para ver los resultados como se muestra en la Figura 6. Se recomienda mostrar el navegador a pantalla completa (F11). A continuación se da una descripción con la numeración de los recursos mostrados en la Figura 6 (la Actividad 2 tiene una plantilla más simple). A medida que los estudiantes envíen sus resultados, estos aparecerán distribuidos en forma de histograma (3). Las últimas instancias recibidas se podrán ver en la Actividad de Grupo (4). En caso de ser necesario, el profesor puede ver el historial entero de mensajes en el Controlador de Servidor (ver Figura 3.9). Cada elemento enviado con éxito se indicará de color verde, junto con un número indicando cuántos estudiantes han ajustado los parámetros de ese elemento (5). Para cambiar de ejercicio o actividad, solo hay que hacer clic en la pestaña correspondiente (2). Para cambiar de idioma, el profesor puede usar el Controlador de Servidor (ver Figura 3.1). Actualizar la página (F5) o cambiar de actividad actualizará el idioma.

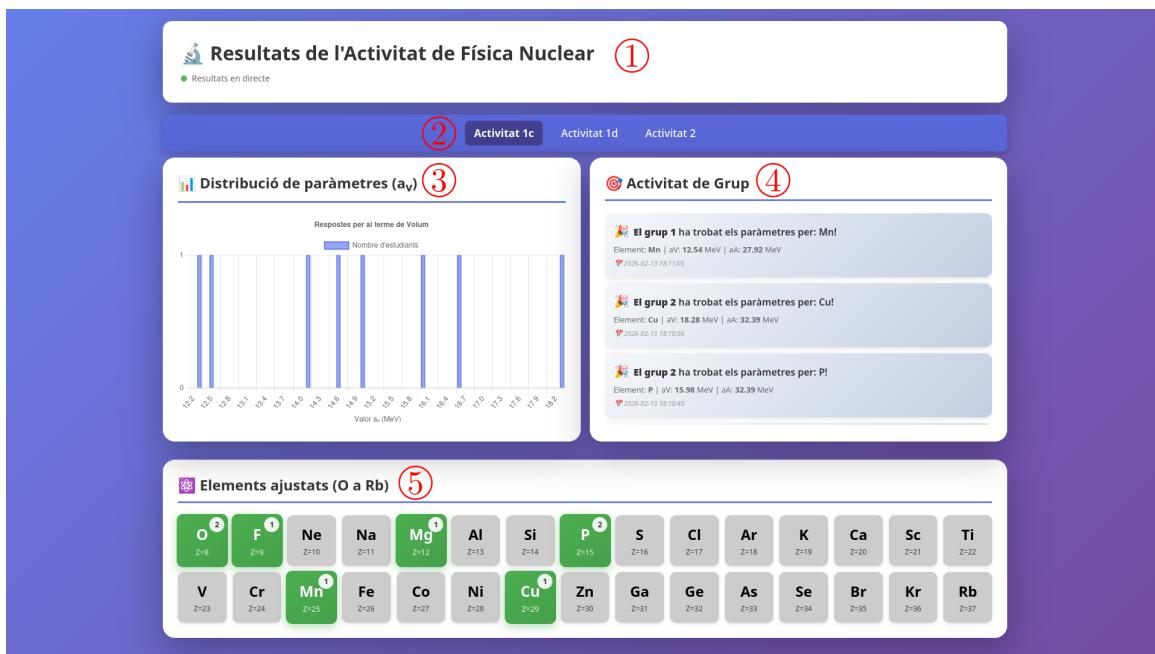


Figura 6: Servidor web. 1. Título; 2. Pestañas de actividades; 3. Histograma de respuestas; 4. Historial de respuestas; 5. Lista de elementos encontrados;