

Informe

Laboratorio Computacional 1

Fisica 2 IS

Comisión 3
2do cuatrimestre 2025

Integrantes
Alconcher Julian, Thiessen Tobias,
Carlos Antonio, Clarke Francisco y Ruiz Francisco.

Índice

Índice	2
1. Introducción	3
2. Marco Teórico	4
3. Desarrollo	7
3.1 Planteo del problema	7
3.2 Metodología computacional	7
4. Resultados	11
4.1 Campo Eléctrico	12
4.2 Líneas de Campo	14
4.3 Potencial Eléctrico	15
4.4 Superficies Equipotenciales	17
4.5 Superposición de las superficies equipotenciales y las líneas de campo eléctrico	18
5. Discusión	19
6. Conclusiones	20
7. Anexo	21
7.1 Código Fuente	21
7.2 Configuración Predeterminada:	21
8. Bibliografía	22

1. Introducción

El presente informe corresponde al Laboratorio Computacional 1 de la materia Física II IS – Ingeniería en Sistemas de Información (UNS). El objetivo principal es aplicar los conceptos de electrostática, campo eléctrico y potencial eléctrico a través de herramientas computacionales, con el fin de analizar la interacción de cargas puntuales y visualizar el comportamiento del campo eléctrico y del potencial eléctrico en el espacio.

En la teoría se parte de la Ley de Coulomb, que establece que la fuerza entre dos cargas puntuales es proporcional al producto de sus magnitudes e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. A partir de esta ley se define el campo eléctrico como una magnitud vectorial que describe la fuerza que ejercería una carga sobre otra ubicada en cada punto del espacio. Luego, se introduce el concepto de potencial eléctrico, una magnitud escalar que permite calcular el trabajo necesario para mover una carga en un campo, y cuya relación con el campo eléctrico está dada por $E = -\nabla V$.

Para la implementación se utilizó el lenguaje Python, aprovechando diversas bibliotecas y módulos. En particular, se empleó Tkinter para el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario, permitiendo la carga de datos y la visualización de resultados en ventanas dinámicas. Se programaron funciones específicas en un módulo propio (`logic.py`) para el cálculo del campo eléctrico total, el potencial eléctrico y la detección de puntos de equilibrio. Además, se utilizaron librerías de apoyo como NumPy para el manejo de arreglos y operaciones numéricas, PIL (Pillow) para la manipulación y visualización de imágenes, entre otras.

La utilización de software y simulaciones resulta fundamental para este laboratorio, ya que permite representar fenómenos que de otra manera son difíciles de visualizar: las líneas de campo eléctrico, las superficies equipotenciales y la existencia de puntos de equilibrio de una carga de prueba. En este trabajo se implementó un programa en Python con interfaz gráfica que permite calcular y graficar estas magnitudes para un sistema de tres cargas puntuales, cumpliendo con las condiciones especificadas en la consigna.

2. Marco Teórico

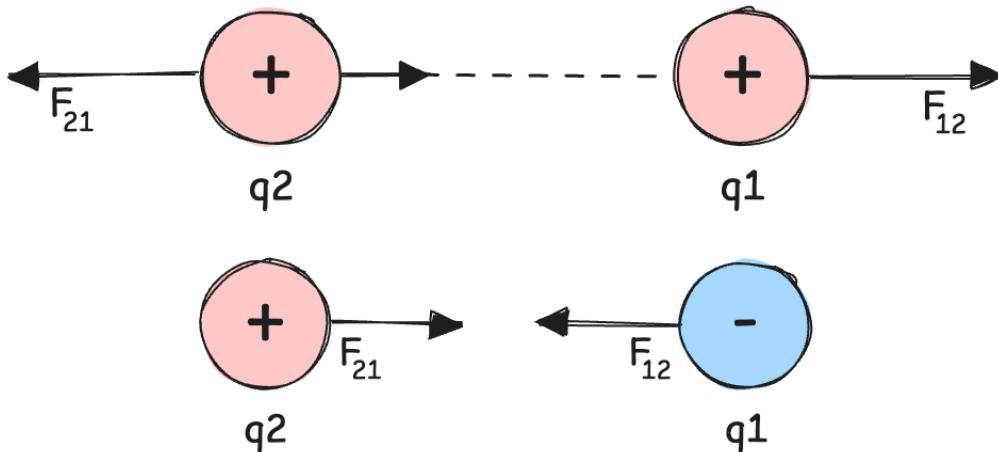
La electrostática estudia los fenómenos relacionados con las cargas eléctricas en reposo. Benjamin Franklin distinguió dos tipos de cargas, positiva y negativa, mientras que Robert Millikan demostró experimentalmente que la carga eléctrica está cuantizada, siendo la carga elemental $e=1,602\times 10^{-19}$ C.

Ley de Coulomb

La Ley de Coulomb establece que la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales q_1 y q_2 , separadas por una distancia r está dada por:

$$(1) \quad |\vec{F}_e| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2}$$

donde ϵ_0 es la permitividad del vacío. En forma vectorial, la fuerza apunta a lo largo de la línea que une las dos cargas: repulsiva si son del mismo signo y atractiva si son de signo opuesto.



Además, rige el principio de superposición, que indica que la fuerza total sobre una carga es la suma vectorial de las fuerzas ejercidas por cada una de las demás.

Campo Eléctrico

El campo eléctrico E se define como la fuerza eléctrica que experimenta una carga de prueba q_0 , dividida por el valor de dicha carga:

$$(2) \quad \vec{E} = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\vec{F}_e}{q_0}$$

Para una carga puntual q ubicada en r , el campo en un punto r' es:

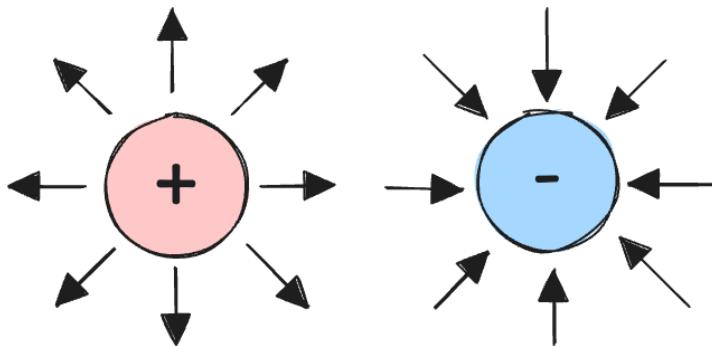
$$(3) \quad \vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

El campo es una magnitud vectorial y cumple también el principio de superposición. Una representación intuitiva se logra mediante las líneas de campo eléctrico, que salen de cargas positivas y terminan en cargas negativas.

Líneas de Campo Eléctrico

Las líneas de campo eléctrico constituyen una representación gráfica que permite visualizar de manera intuitiva cómo se distribuye y varía el campo eléctrico en el espacio. Por convención, estas líneas se dibujan saliendo de las cargas positivas y entrando en las cargas negativas, reflejando así la dirección de la fuerza que experimentaría una carga de prueba positiva en cada punto. La densidad con que se trazan las líneas es indicativa de la magnitud del campo: en las regiones donde aparecen más concentradas, el campo es más intenso, mientras que en las zonas donde están más separadas la intensidad del campo disminuye.

Una característica esencial de esta representación es que las líneas de campo nunca se cruzan, ya que ello implicaría que el campo en ese punto tendría dos direcciones distintas, lo cual es físicamente imposible. En configuraciones con múltiples cargas, como un dipolo eléctrico, las líneas muestran claramente la interacción de los campos individuales: emergen de la carga positiva y se curvan hasta llegar a la carga negativa, formando un patrón característico que ilustra tanto la dirección como la simetría del campo resultante.



Flujo Eléctrico y Ley de Gauss

El flujo eléctrico a través de una superficie mide la cantidad de líneas de campo que la atraviesan y se expresa como:

(4)

$$\Phi = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

En superficies cerradas, la Ley de Gauss establece que el flujo neto es proporcional a la carga encerrada:

(5)

$$\phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$$

Esta ley es válida siempre, pero solo resulta útil para calcular campos en configuraciones con alta simetría.

Potencial Electrico

El campo eléctrico es un campo conservativo, ya que deriva de una energía potencial. Definimos el potencial eléctrico como la energía potencial por unidad de carga:

$$(6) \quad V(b) - V(a) = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Se trata de una magnitud escalar, cuya elección de referencia es arbitraria. El campo y el potencial están relacionados por: $E = -\nabla V$. Las superficies equipotenciales son aquellas donde el potencial es constante, y son siempre perpendiculares a las líneas de campo.

Lineas Equipotenciales

Las líneas equipotenciales representan los puntos del espacio donde el potencial eléctrico se mantiene constante. Su principal característica es que son siempre perpendiculares a las líneas de campo eléctrico, lo que refleja que al mover una carga de prueba sobre ellas no se realiza trabajo ni cambia su energía potencial.

Además, la separación entre las líneas indica la intensidad del campo: cuanto más juntas aparecen, mayor es el campo eléctrico, y cuanto más separadas, menor es su intensidad. Estas curvas dependen únicamente de la distribución de cargas y constituyen una herramienta fundamental para comprender la variación del potencial eléctrico y su relación con el campo eléctrico.

Líneas de campo eléctrico y las superficies equipotenciales

Las líneas de campo eléctrico y las superficies equipotenciales mantienen una relación directa: son siempre perpendiculares entre sí en todos los puntos del espacio. Esto se debe a que el campo eléctrico apunta en la dirección de máxima variación del potencial, de modo que al desplazarse a lo largo de una superficie equipotencial no se realiza trabajo. En las simulaciones realizadas, esta relación se comprobó gráficamente, ya que al superponer ambas representaciones se observa cómo cada línea de campo corta ortogonalmente a las equipotenciales. Para facilitar esta visualización, en el programa desarrollado se incorporó un botón de interacción que permite superponer en una misma figura las líneas de campo y las superficies equipotenciales, lo que brinda una interpretación más completa e intuitiva del entorno eléctrico generado por las cargas.

3. Desarrollo

3.1 Planteo del problema

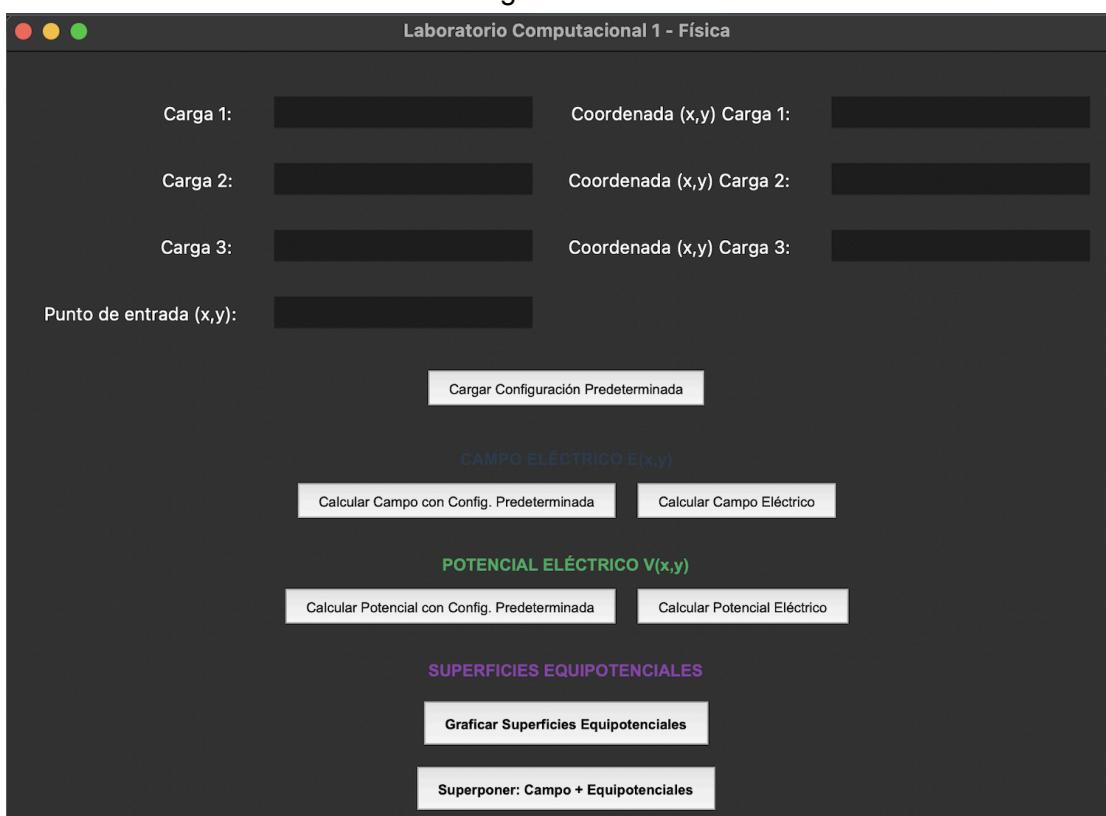
El problema planteado en este trabajo consiste en analizar el comportamiento del campo y del potencial eléctrico generados por tres cargas puntuales dispuestas en posiciones arbitrarias dentro de un plano. Las condiciones iniciales establecen que las cargas deben cumplir con dos requisitos fundamentales: que dos de ellas sean de un mismo signo y la tercera del signo opuesto, y que sus magnitudes sean todas distintas entre sí.

El objetivo principal es determinar, en un punto particular del espacio, las características del campo eléctrico total (componentes, magnitud y dirección) y el potencial eléctrico resultante, aplicando el principio de superposición. Además, se requiere identificar la existencia de puntos de equilibrio a lo largo del eje x , evaluando su estabilidad, y representar gráficamente tanto el comportamiento del campo eléctrico como el del potencial.

Dada la complejidad de los cálculos analíticos, especialmente en la búsqueda de puntos de equilibrio, se optó por implementar una metodología computacional en Python que permita automatizar los cálculos y obtener representaciones gráficas claras, facilitando la interpretación física de los resultados.

3.2 Metodología computacional

El programa fue desarrollado en **Python**, utilizando la librería **Tkinter** para la interfaz gráfica y módulos adicionales para los cálculos y gráficos (Numpy, Matplotlib, Scipy y Pillow). La interfaz permite al usuario ingresar los valores de tres cargas puntuales y un punto de cálculo, validar que los datos cumplan con las condiciones del laboratorio (cargas distintas, no nulas y con signos adecuados), y visualizar los resultados tanto numéricos como gráficos.



Se implementó una estructura modular:

- **Validación de datos:** Comprueba que las magnitudes sean diferentes entre sí, que no haya valores nulos y que la configuración cumpla con la condición de dos cargas de un signo y una del signo contrario.
- **Funciones de cálculo:** Incluyen el cómputo del campo eléctrico $E(x,y)$ y del potencial eléctrico $V(x,y)$, además de rutinas para graficar la evolución de $E(x)$ y $V(x)$ a lo largo del eje x .
- **Gráficas auxiliares:** Se generaron representaciones de las líneas de campo eléctrico, detección de puntos de equilibrio con análisis de estabilidad, y visualización de curvas de equipotenciales.

A continuación se muestran fragmentos de pseudocódigo representativos de cada cálculo implementado:

Cálculo del campo eléctrico $E(x,y)$

Este algoritmo calcula el campo eléctrico $E(x,y)$ generado por una carga puntual en un punto del espacio. Para ello, determina las diferencias de posición en x y y entre el punto y la carga, calcula la distancia r y luego aplica la expresión de Coulomb en forma vectorial. El resultado son las dos componentes del campo: Ex y Ey , que representan la magnitud y dirección del campo eléctrico en ese punto.

```
funcion calcular_campo(carga, pos_carga,
punto):
    dx = punto.x - pos_carga.x
    dy = punto.y - pos_carga.y
    r = sqrt(dx^2 + dy^2)

    Ex = k * carga * dx / r^3
    Ey = k * carga * dy / r^3

    retornar (Ex, Ey)
```

Cálculo del campo total en un punto $E(x,y)$

Este algoritmo implementa el cálculo del campo eléctrico total $E(x,y)$ en un punto debido a varias cargas. Para ello inicializa las componentes Ex y Ey en cero y, luego, recorre la lista de cargas sumando los aportes individuales calculados con la Ley de Coulomb. Una vez obtenida la suma vectorial, determina la magnitud del campo mediante el teorema de Pitágoras y el ángulo de dirección usando la función trigonométrica `atan2`. Finalmente, retorna las componentes Ex , Ey , la magnitud y el ángulo, proporcionando una descripción completa del campo eléctrico en el punto considerado.

```
funcion calcular_campo_total(lista_cargas, punto):
    Ex_total = 0
    Ey_total = 0

    para cada (carga, pos) en lista_cargas:
        (Ex, Ey) = calcular_campo(carga, pos, punto)
        Ex_total = Ex_total + Ex
        Ey_total = Ey_total + Ey

    magnitud = sqrt(Ex_total^2 + Ey_total^2)
    angulo = atan2(Ey_total, Ex_total)

    retornar (Ex_total, Ey_total, magnitud, angulo)
```

Gráficas de $E(x)$ vs x y puntos de equilibrio

Este algoritmo recorre un rango de valores de x y calcula la componente Ex del campo eléctrico para graficar su variación. A partir de la curva obtenida detecta los puntos donde $Ex=0$, los marca como puntos de equilibrio y determina si son estables o inestables según el comportamiento del campo en sus inmediaciones.

```
para x en rango(-5, 5):
    calcular Ex_total en (x, 0)
    graficar curva de Ex_total

    detectar raíces donde Ex_total(x) cambia de signo
    para cada raíz encontrada:
        marcar como punto de equilibrio
        analizar estabilidad con desplazamientos a izquierda y derecha
```

Líneas de campo eléctrico

Para las cargas positivas, el procedimiento inicia varias líneas que parten radialmente desde la posición de la carga y se extienden hacia afuera. La trayectoria de cada línea se obtiene resolviendo las ecuaciones diferenciales que siguen la dirección local del campo eléctrico, y luego se representan en color azul. En el caso de las cargas negativas, las líneas comienzan desde puntos lejanos y se dirigen hacia la carga, resolviendo nuevamente la trayectoria de manera inversa, y se dibujan en color rojo.

En conjunto, este método gráfico refleja la convención de que las líneas de campo eléctrico salen de las cargas positivas y entran en las negativas, además de mostrar cómo varía la dirección del campo en todo el espacio.

para cada carga positiva:

 iniciar varias líneas desde la carga hacia afuera
 resolver trayectoria con ecuaciones diferenciales
 dibujar en color azul

para cada carga negativa:

 iniciar líneas desde lejos hacia la carga
 resolver trayectoria hacia atrás
 dibujar en color rojo

Cálculo del potencial eléctrico $V(x,y)$

El algoritmo presentado permite calcular el potencial eléctrico $V(x,y)$ generado por una carga puntual en un punto del espacio. Para ello, la función recibe como parámetros el valor de la carga, su posición y las coordenadas del punto de interés. En primer lugar, se determina la distancia r entre la carga y el punto considerado, y a continuación se aplica la expresión $V=k \cdot q/r$, donde k es la constante de Coulomb. Finalmente, la función retorna el valor del potencial eléctrico correspondiente, el cual representa la energía potencial por unidad de carga en ese punto debido a la presencia de la carga puntual.

```
funcion calcular_potencial(carga, pos_carga,  
punto)= distancia(punto, pos_carga)  
    V = k * carga / r  
    retornar V
```

4. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la simulación implementada en Python.

En primer lugar, se calcularon las componentes del campo eléctrico en un punto específico, mostrando en una tabla los valores de E_x , E_y , la magnitud total $|E|$ y el ángulo de dirección. Estos resultados permiten cuantificar el comportamiento del campo en distintas posiciones del plano.

Luego, se generó el gráfico de $E(x)$ vs. x , donde se observan los valores del campo eléctrico a lo largo del eje horizontal. En este gráfico se marcaron los puntos de equilibrio, indicando además si resultan estables o inestables según el análisis de la pendiente de $E(x)$.

Se construyeron también las líneas de campo eléctrico para la configuración de tres cargas. La representación gráfica muestra cómo las líneas emergen de las cargas positivas y terminan en las negativas, siendo más densas en las regiones donde el campo es más intenso.

En cuanto al potencial eléctrico, se calcularon los valores de $V(x,y)$ en distintos puntos del espacio y se graficó su variación. Además, se generaron las superficies equipotenciales, que aparecen como curvas perpendiculares a las líneas de campo eléctrico, confirmando lo previsto teóricamente.

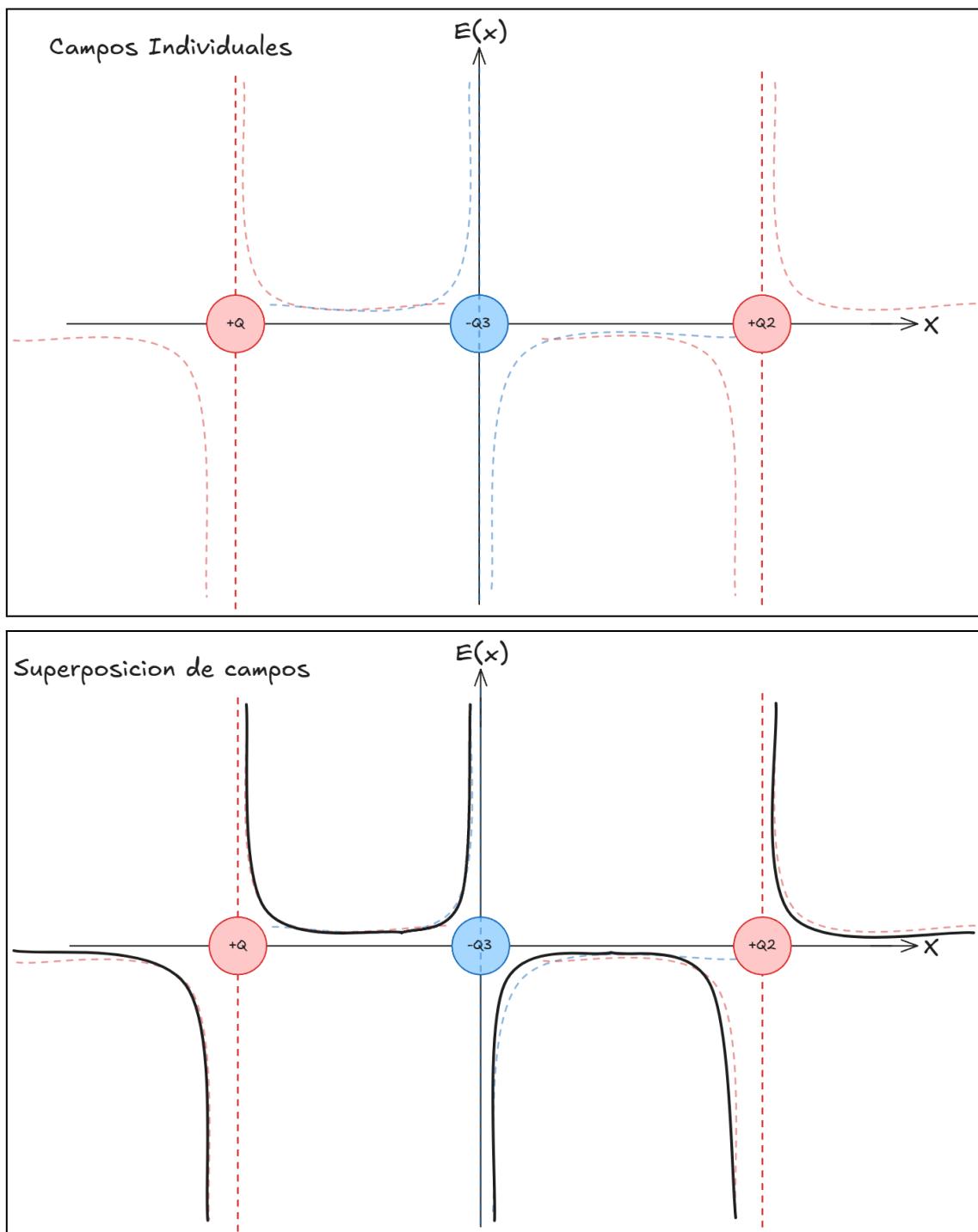
Finalmente, se presentan las tablas con los resultados numéricos tanto del campo como del potencial, lo cual complementa la interpretación gráfica. Estas tablas permiten comparar de forma cuantitativa la magnitud y dirección del campo eléctrico con los valores del potencial en cada punto de interés.

4.1 Campo Eléctrico

En la Figura 1 se presenta el gráfico de $E(x)$ en función de la posición sobre el eje x . En el panel superior se observa el aporte individual de cada carga a la componente E_x , mientras que en el panel inferior se muestra la superposición de los campos junto con la detección de los puntos de equilibrio.

El análisis evidencia que el campo eléctrico total (curva violeta) se anula en $x = 2.057\text{m}$, punto señalado en rojo. Este corresponde a un equilibrio estable, ya que en su entorno inmediato el campo cambia de signo de forma que tendería a restaurar la posición de la carga de prueba. Asimismo, se marcó en azul el valor del campo calculado en el punto $(1.0, 1.0)$, lo cual permite contrastar la simulación con un cálculo puntual.

Nuestro **resultado esperado** para la [configuración predeterminada](#) es el siguiente:



La comparación entre los valores de campo eléctrico obtenidos mediante el cálculo teórico y los **gráficos generados por el programa** mostró una coincidencia plena. El campo eléctrico esperado, según la Ley de Coulomb y el principio de superposición, se reproduce fielmente en las simulaciones realizadas. Este resultado es altamente positivo, ya que valida tanto la corrección del modelo implementado como la utilidad del programa como herramienta de apoyo para la visualización y comprensión de los fenómenos electrostáticos.

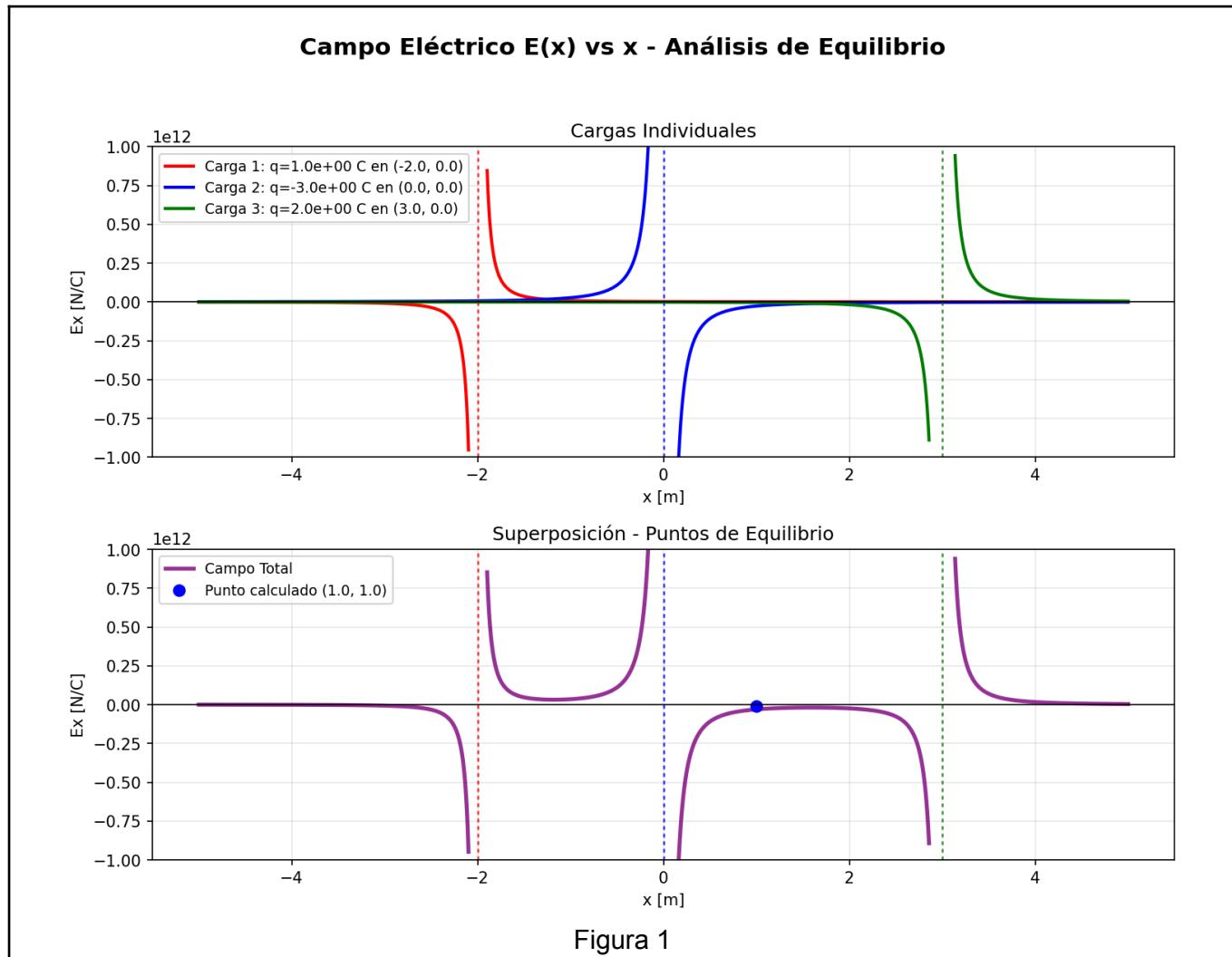


Figura 1. Gráfico generado por el programa de $E(x)$ vs. x para la configuración de tres cargas. Se muestran los aportes individuales (arriba) y el campo total con el punto de equilibrio estable detectado (abajo).

4.2 Líneas de Campo

En la Figura 2 se representan las líneas de campo eléctrico para la configuración de tres cargas. Las líneas rojas salen de las cargas positivas, mientras que las azules ingresan a las cargas negativas, de acuerdo con la convención habitual. Puede apreciarse cómo la densidad de líneas es mayor en las proximidades de las cargas, lo cual refleja que la intensidad del campo eléctrico es más fuerte en esas regiones.

Asimismo, se observa que las líneas nunca se cruzan, confirmando que en cada punto del espacio el campo tiene una única dirección definida. El punto de cálculo ($1.0, 1.0$) está señalado en amarillo. Esta visualización muestra claramente la interacción de las cargas y la naturaleza vectorial del campo eléctrico.

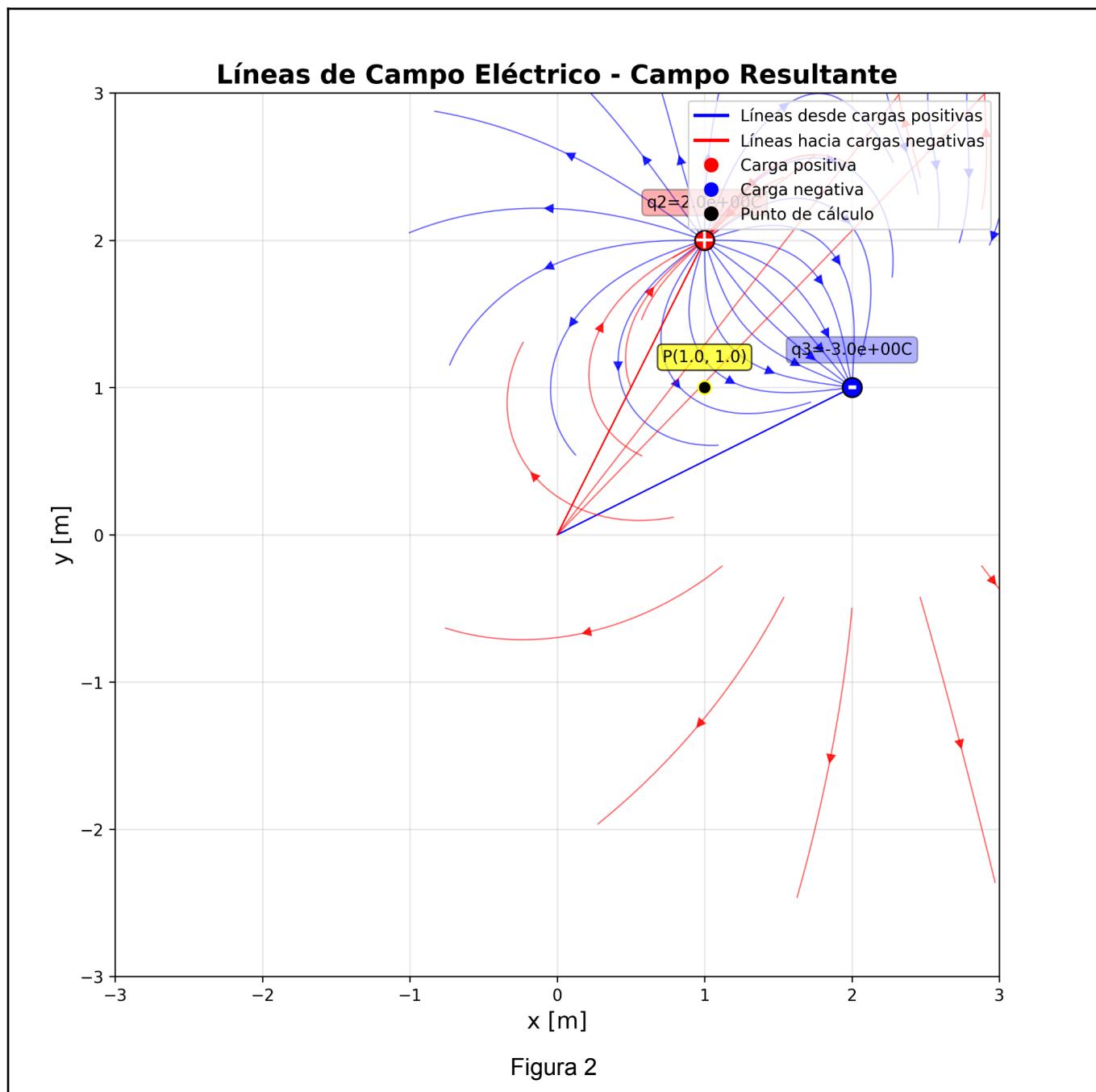


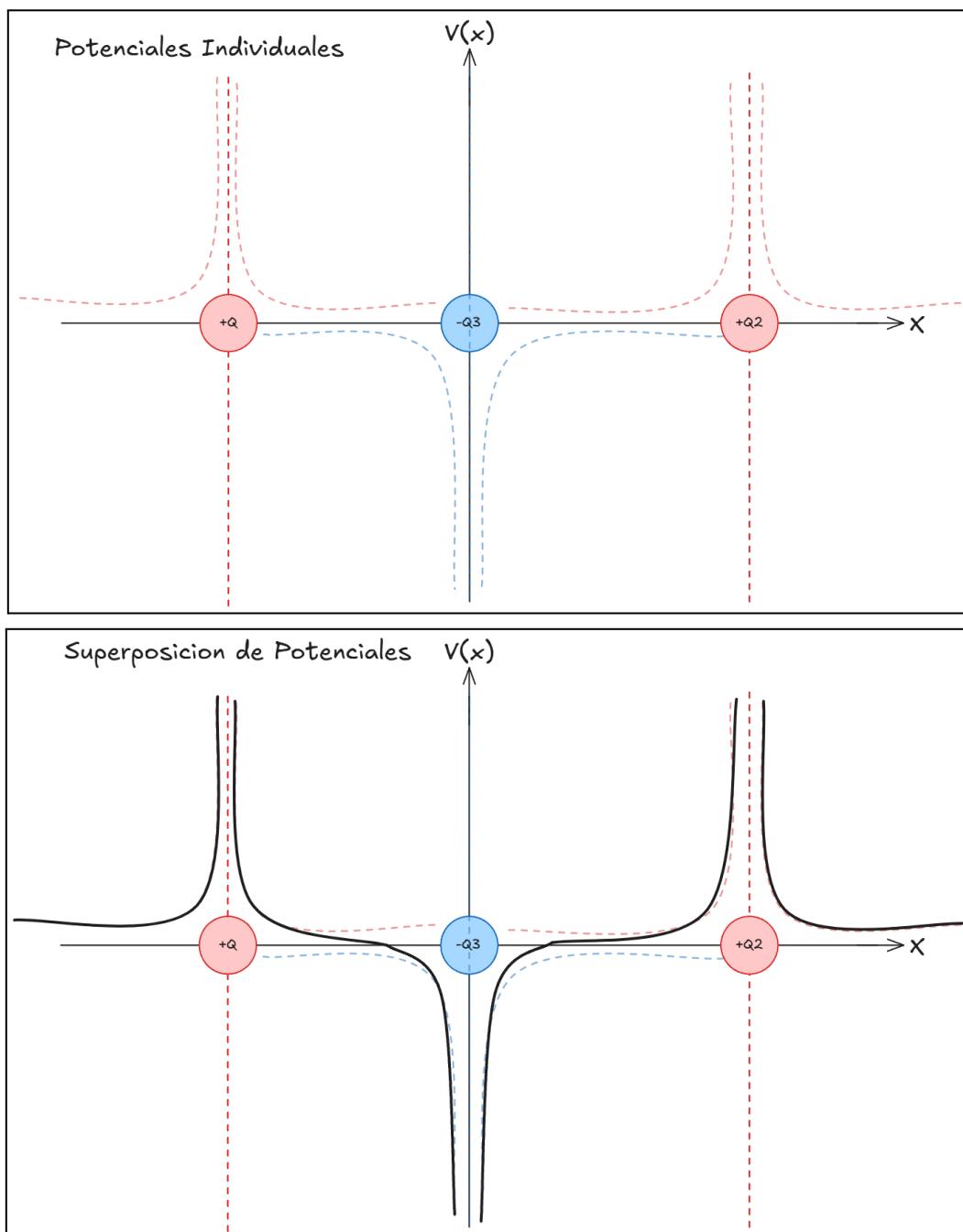
Figura 2. Gráfico generado por el programa de Líneas de campo eléctrico para la configuración de tres cargas. Se indican en rojo las cargas positivas, en azul la carga negativa y en amarillo el punto de cálculo.

4.3 Potencial Eléctrico

En la Figura 3 se muestra la variación del potencial eléctrico $V(x)$ en función de la posición sobre el eje x . En el gráfico superior se representan los aportes individuales de cada carga, mientras que en el gráfico inferior se observa la superposición de potenciales que da lugar al resultado total.

A diferencia del campo eléctrico, el potencial es una magnitud escalar, por lo que los aportes de cada carga se suman directamente sin tener en cuenta dirección. En el gráfico se aprecia que la contribución de la carga negativa genera un valle pronunciado en la región próxima a $x \approx 2m$, donde el potencial alcanza valores mínimos. El comportamiento general confirma que las regiones cercanas a cargas negativas se asocian con potenciales más bajos, mientras que las cercanas a cargas positivas elevan el potencial.

Nuestro resultado esperado para la [configuración predeterminada](#) es el siguiente:



Y el resultado obtenido por los gráficos generados por nuestra aplicación fueron positivos ya que podemos ver una semejanza muy grande entre lo esperado y lo obtenido.

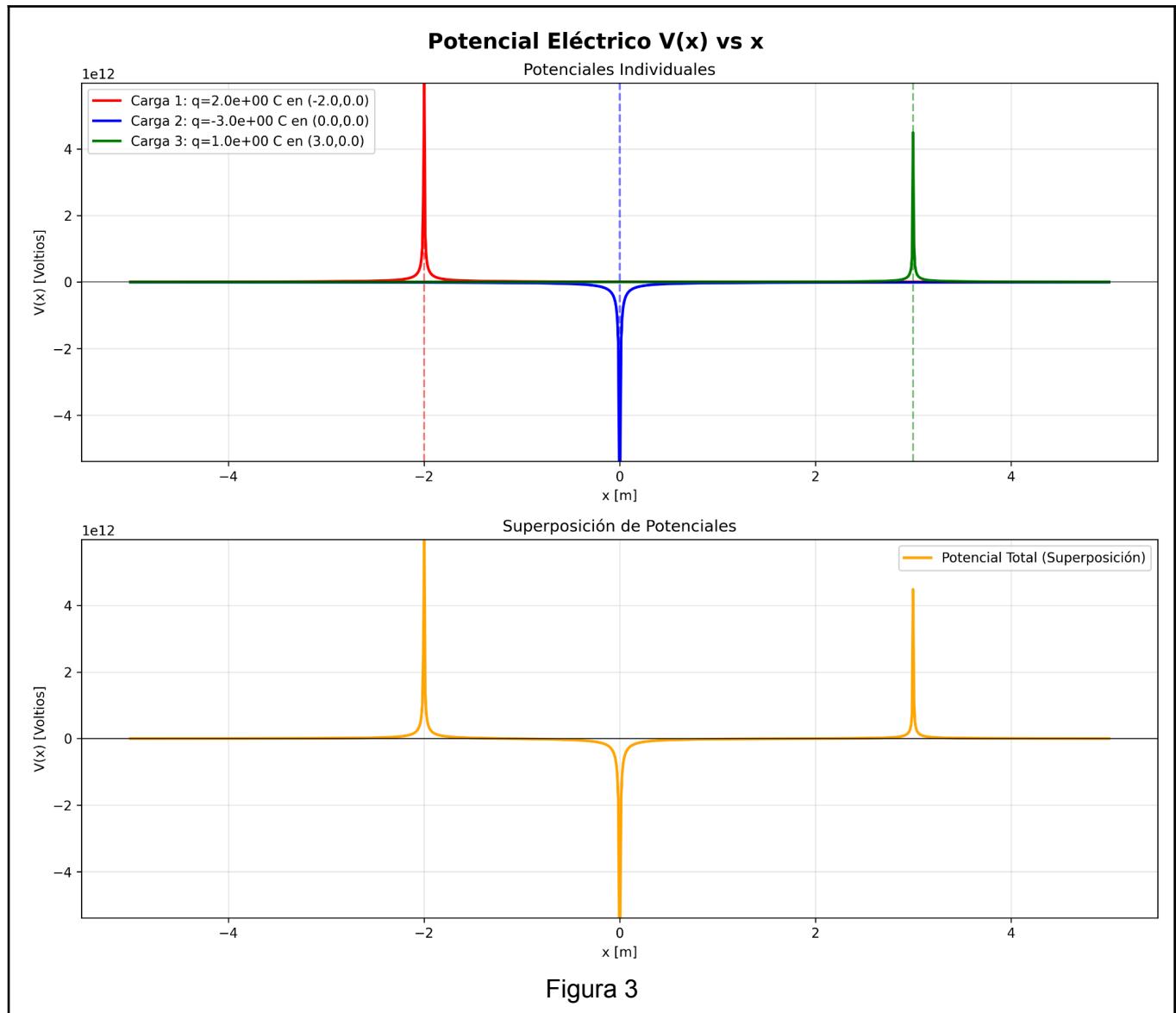


Figura 3

Figura 3. Gráfico generado por el programa de Potencial eléctrico $V(x)$ en función de la posición x . Se muestran los aportes individuales de cada carga (arriba) y la superposición total (abajo).

4.4 Superficies Equipotenciales

En la Figura 4 se presentan las superficies equipotenciales correspondientes a la configuración de tres cargas. Cada curva morada indica los puntos del espacio donde el potencial eléctrico es constante. Se observa que las superficies se concentran alrededor de las cargas, con valores altos cerca de las positivas y valores negativos en la región de la carga negativa.

Una característica fundamental que se aprecia en la figura es que las superficies equipotenciales son siempre perpendiculares a las líneas de campo eléctrico (comparar con la Figura 2). Esto confirma que el campo eléctrico está orientado en la dirección de máxima variación del potencial. Además, la densidad de las curvas refleja la intensidad del campo: cuanto más juntas aparecen, mayor es el gradiente del potencial y, por lo tanto, más fuerte es el campo eléctrico en esa zona.

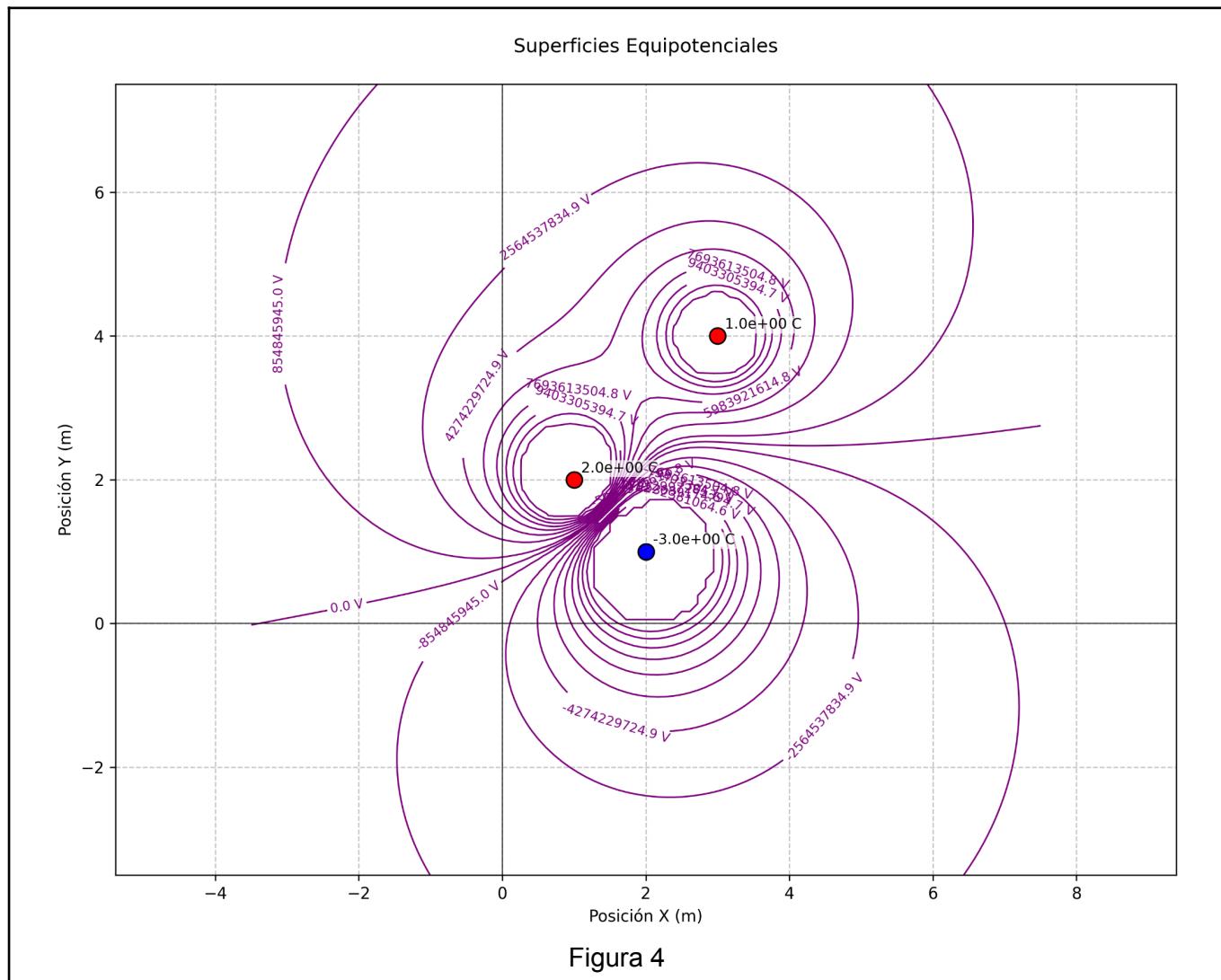


Figura 4. Gráfico generado por el programa de Superficies equipotenciales para la configuración de tres cargas. Se muestran los valores de potencial asociados a cada curva, con máximos en las proximidades de las cargas positivas y mínimos alrededor de la carga negativa.

4.5 Superposición de las superficies equipotenciales y las líneas de campo eléctrico

En la Figura 5 se muestra la superposición de las superficies equipotenciales y las líneas de campo eléctrico para la configuración de tres cargas. Las curvas moradas representan los niveles de potencial constante, mientras que las líneas negras con flechas corresponden al campo eléctrico resultante.

Se observa claramente que ambos conjuntos de curvas son perpendiculares entre sí en todos los puntos, tal como lo establece la teoría: el campo eléctrico está orientado en la dirección de máxima variación del potencial y, por lo tanto, corta a las superficies equipotenciales en ángulo recto. Esta visualización refuerza la relación matemática entre campo y potencial, $E = -\nabla V$.

Además, la densidad de las equipotenciales alrededor de las cargas refleja la intensidad del campo en esas regiones, mientras que las líneas de campo señalan la dirección de la fuerza sobre una carga positiva de prueba. La superposición de ambas representaciones proporciona una visión completa e intuitiva de la distribución electrostática.

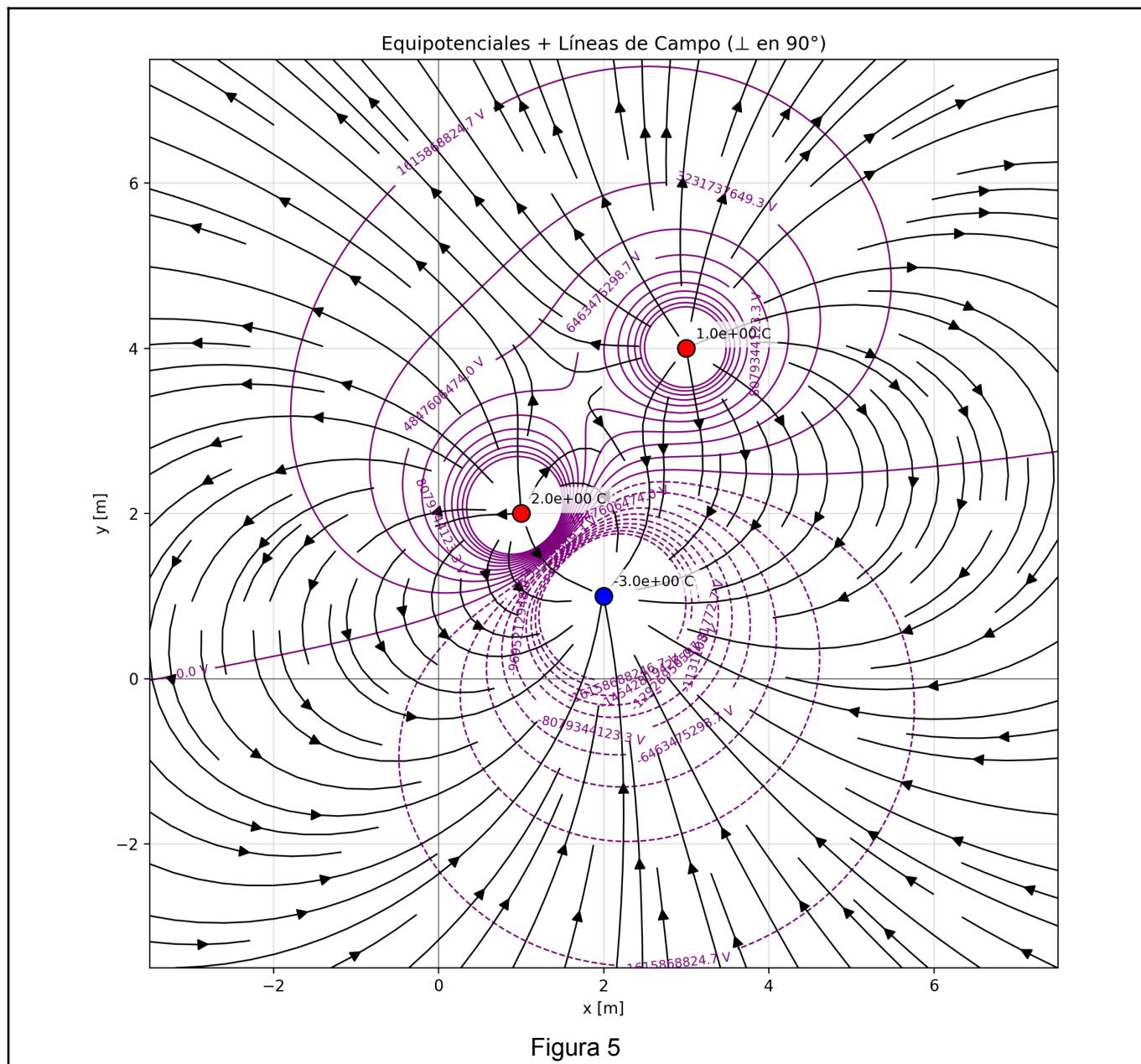


Figura 5. Gráfico generado por el programa de Superposición de superficies equipotenciales (morado) y líneas de campo eléctrico (negro) para el sistema de tres cargas puntuales.

5. Discusión

El estudio realizado permite contrastar las diferencias entre el campo eléctrico y el potencial eléctrico. El campo es una magnitud vectorial, definida en cada punto por sus componentes (E_x, E_y), su magnitud y su dirección, lo que refleja directamente la fuerza que actuaría sobre una carga de prueba positiva. En cambio, el potencial es una magnitud escalar, lo cual simplifica su cálculo y representación: basta con sumar los aportes de cada carga sin necesidad de considerar direcciones. Esta diferencia se vio reflejada en los gráficos, donde el campo mostró cambios de signo y direcciones opuestas, mientras que el potencial varió de forma continua hacia valores máximos o mínimos según la cercanía a cargas positivas o negativas.

La relación entre las líneas de campo eléctrico y las superficies equipotenciales se evidenció claramente en las simulaciones. Tal como predice la teoría, ambas son perpendiculares en todos los puntos. Esto confirma que el campo eléctrico apunta siempre en la dirección de máxima variación del potencial, cumpliendo la relación $E = -\nabla V$. En las figuras de superposición se observó cómo cada línea de campo corta a las equipotenciales en ángulo recto, reforzando de manera visual el vínculo entre ambas representaciones.

Respecto a los puntos de equilibrio, el análisis gráfico de $E(x)$ permitió detectar posiciones donde el campo se anula. El programa identificó un punto estable en $x \approx 2.06m$, lo que coincide con lo esperado teóricamente: en la vecindad de este punto, una carga de prueba desplazada ligeramente tendería a volver a su posición inicial. Por el contrario, en configuraciones distintas podrían aparecer puntos de equilibrio inestables, donde un pequeño desplazamiento alejaría a la carga de la posición de reposo. La clasificación entre estable e inestable surge de la pendiente local de la curva de $E(x)$ y del análisis del signo del campo en las inmediaciones.

Finalmente, se comprobó que la simulación respeta lo visto en la teoría:

- Las líneas de campo salen de cargas positivas y entran en las negativas.
- La densidad de líneas refleja la intensidad del campo.
- El potencial presenta máximos en las cercanías de cargas positivas y mínimos junto a cargas negativas.
- Las equipotenciales son perpendiculares al campo eléctrico en todos los casos.

En conjunto, los resultados numéricos y gráficos obtenidos validan los conceptos teóricos desarrollados en clase, mostrando que la implementación computacional reproduce fielmente las leyes fundamentales de la electrostática.

Un aspecto importante a considerar son las limitaciones del modelo empleado. La simulación parte de la idealización de cargas puntuales en el vacío, sin tener en cuenta efectos asociados a medios materiales, conductores cercanos o geometrías extendidas de carga. Esto implica que los resultados obtenidos son exactos en el marco de la teoría electrostática básica, pero se alejan de la realidad experimental donde siempre existen condiciones de borde y materiales con distintas permitividades. Aun así, la robustez de la herramienta se evidenció al modificar valores y posiciones de las cargas: en todos los casos, la simulación respetó la Ley de Coulomb, el principio de superposición y la relación entre campo y potencial. Este comportamiento confirma que el programa no solo reproduce fielmente la teoría aprendida en clase, sino que también puede utilizarse como punto de partida para analizar configuraciones más complejas, como dipolos eléctricos o sistemas de capacitores.

De este modo, la práctica permitió conectar la formulación matemática con una representación visual clara, fortaleciendo la comprensión de conceptos abstractos como equilibrio, intensidad del campo y variación del potencial.

6. Conclusiones

El desarrollo del presente laboratorio permitió integrar los conceptos teóricos de la electrostática con su aplicación computacional. A través del programa implementado en Python se calcularon y visualizaron el campo eléctrico y el potencial eléctrico generados por un sistema de tres cargas puntuales, mostrando tanto valores numéricos como representaciones gráficas. Esto posibilitó identificar puntos de equilibrio, analizar su estabilidad y comprobar la perpendicularidad entre líneas de campo y superficies equipotenciales.

Los resultados obtenidos coinciden plenamente con lo estudiado en clase: las líneas de campo salen de cargas positivas y entran en las negativas, la densidad de líneas refleja la intensidad del campo, el potencial se suma de forma escalar y presenta máximos y mínimos según la naturaleza de las cargas, y la relación $E=-\nabla V$ se verificó en todas las simulaciones.

En conclusión, el trabajo confirmó la validez de las leyes fundamentales de la electrostática y evidenció la utilidad de las herramientas computacionales para comprender y visualizar fenómenos físicos que, de otra manera, resultarían más abstractos.

7. Anexo

7.1 Código Fuente

El programa desarrollado para este laboratorio fue implementado en Python, utilizando las bibliotecas Tkinter para la interfaz gráfica, NumPy para el cálculo numérico y Pillow para la visualización de imágenes, entre otras.

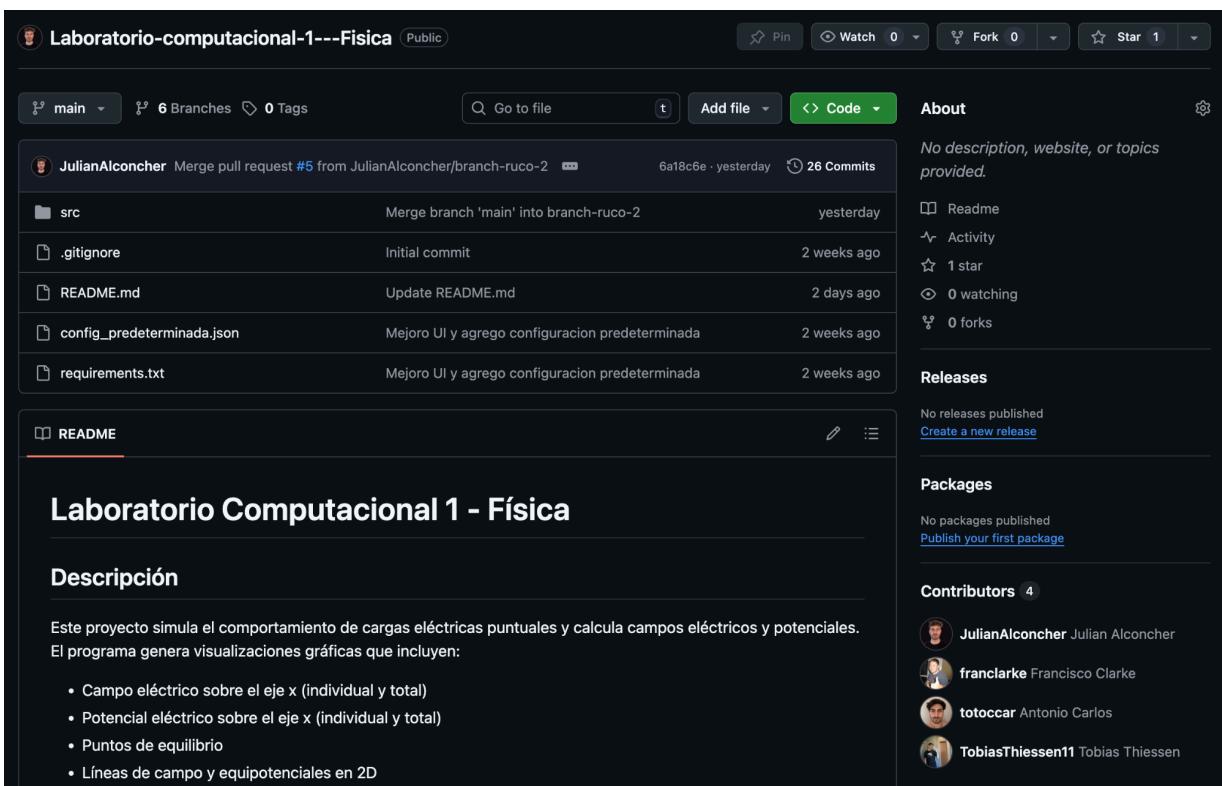
El código completo, junto con los gráficos generados y las configuraciones predeterminadas, se encuentra disponible en el siguiente repositorio de GitHub:

 <https://github.com/JulianAlconcher/Laboratorio-computacional-1---Fisica>

Este repositorio incluye:

- El archivo principal con la interfaz gráfica de usuario.
- El módulo logic.py con las funciones de cálculo físico y generación de gráficos.
- Archivos de configuración en formato JSON.
- Imágenes de ejemplo generadas por el programa.

De esta manera, cualquier usuario interesado puede acceder al código fuente, ejecutar el programa en su propio entorno y reproducir los resultados obtenidos en el presente informe.



The screenshot shows the GitHub repository page for 'Laboratorio-computacional-1---Fisica'. The repository is public and has 26 commits. The commit history includes merges from 'branch-ruco-2' and initial commits for files like README.md and config_predeterminada.json. The 'About' section notes 'No description, website, or topics provided.' The 'Releases' section indicates 'No releases published' and 'Create a new release'. The 'Packages' section shows 'No packages published' and 'Publish your first package'. The 'Contributors' section lists four contributors: JulianAlconcher, franclarke, totoccar, and TobiasThiessen11.

7.2 Configuración Predeterminada:

- **Q1:** 1 C situada en (-2,0)
- **Q2:** -3 C situada en (0,0)
- **Q3:** 2 C situada en (3,0)
- **Punto de entrada (x,y)** situado en (1,1)

8. Bibliografía

1. Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). Física para ciencias e ingeniería (Vol. 2, 9^a ed.). Cengage Learning.
2. Cariatore, D. (2025). Clase 1: Ley de Coulomb. Física II – Ingeniería en Sistemas de Información. Universidad Nacional del Sur.
3. Cariatore, D. (2025). Clase 2: Campo eléctrico. Física II – Ingeniería en Sistemas de Información. Universidad Nacional del Sur.
4. Cariatore, D. (2025). Clase 3: Flujo eléctrico y Ley de Gauss. Física II – Ingeniería en Sistemas de Información. Universidad Nacional del Sur.
5. Cariatore, D. (2025). Clase 4: Potencial eléctrico. Física II – Ingeniería en Sistemas de Información. Universidad Nacional del Sur.
6. Cariatore, D. (2025). Clase 5: Conductores y dieléctricos. Física II – Ingeniería en Sistemas de Información. Universidad Nacional del Sur.
7. Cariatore, D. (2025). Clase 6: Capacitores. Física II – Ingeniería en Sistemas de Información. Universidad Nacional del Sur.
8. Python Software Foundation. (2023). Tkinter: Python interface to Tcl/Tk [Computer software]. Python Software Foundation. <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>
9. Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... & Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>