

# Sobre la necesidad de un enfoque progresivo en la enseñanza de la electrostática computacional

## Introducción

La enseñanza de la electrostática computacional presenta un desafío particular: no basta con que el estudiante conozca las expresiones analíticas del potencial o del campo eléctrico, ni es suficiente que sepa ejecutar código que produce gráficas aparentemente correctas. El verdadero objetivo formativo consiste en lograr que el estudiante comprenda cómo una formulación física continua se traduce en una representación discreta que puede ser manipulada por una computadora.

En este contexto, el uso prematuro de herramientas de alto nivel —como funciones automáticas para generar mallas— puede ocultar aspectos conceptuales esenciales y fomentar un aprendizaje meramente operativo. Este ensayo argumenta a favor de un enfoque progresivo, en el cual las llamadas *cajas negras* computacionales se introducen únicamente después de haber sido conceptualmente desarmadas.

## El riesgo del aprendizaje acrítico

En muchos cursos de métodos numéricos o física computacional, el estudiante aprende rápidamente a utilizar funciones como `linspace` o `meshgrid` sin comprender con claridad qué estructuras de datos se están creando ni cuál es su relación con el espacio físico del problema.

Este tipo de aprendizaje acrítico produce estudiantes capaces de generar gráficas sofisticadas, pero incapaces de responder preguntas fundamentales como:

- ¿Qué representa realmente cada elemento de una matriz?
- ¿Dónde está evaluado el potencial que aparece en una gráfica?
- ¿Qué significa un índice  $(i, j)$  desde el punto de vista físico?

Cuando estas preguntas no tienen respuesta, el código se convierte en un ritual mecánico y el vínculo entre física, matemáticas y computación se debilita.

## La importancia de comenzar con lo explícito

El enfoque progresivo propone comenzar desde la representación más elemental: vectores unidimensionales, ciclos explícitos y matrices construidas manualmente. Este procedimiento obliga al estudiante a confrontar directamente el hecho de que la computadora no trabaja con funciones continuas, sino con arreglos discretos.

Al construir explícitamente una matriz del potencial  $\phi_{i,j}$ , el estudiante internaliza que:

- el espacio físico ha sido discretizado,

- cada punto del dominio corresponde a una posición finita en memoria,
- la noción de función continua es reemplazada por una tabla de valores.

Este paso, aunque computacionalmente rudimentario, es conceptualmente insustituible.

## La malla como objeto conceptual

Uno de los aportes más importantes de este enfoque es que permite introducir la malla bidimensional no como una construcción automática, sino como un objeto conceptual bien definido. Al generar manualmente las matrices de coordenadas  $X$  y  $Y$ , el estudiante comprende que una malla no es más que el producto cartesiano discreto de dos conjuntos de puntos.

En este punto, la relación

$$\phi_{i,j} \equiv \phi(x_i, y_j)$$

deja de ser una notación abstracta y se convierte en una identidad computacional concreta.

## La legitimación de las abstracciones

Solo después de haber recorrido este camino resulta pedagógicamente legítimo introducir funciones como `linspace` y `meshgrid`. En ese momento, dichas herramientas ya no son percibidas como cajas negras, sino como abstracciones útiles que automatizan un procedimiento previamente comprendido.

Este cambio de percepción es crucial: el estudiante no depende de la herramienta, sino que la domina. Sabe qué hace, por qué funciona y cuáles son sus limitaciones.

## Preparación para métodos numéricos avanzados

Este enfoque no solo mejora la comprensión inmediata del cálculo del potencial eléctrico, sino que prepara de manera natural el terreno para métodos más avanzados, como la resolución de las ecuaciones de Laplace y Poisson mediante diferencias finitas.

Cuando el estudiante entiende la malla como estructura fundamental, la transición hacia operadores discretos, esquemas iterativos y condiciones de frontera ocurre de forma orgánica, sin saltos conceptuales abruptos.

## Conclusión

La enseñanza de la electrostática computacional se beneficia enormemente de un enfoque progresivo que privilegia la comprensión sobre la eficiencia inicial. Introducir primero las estructuras básicas y solo después las herramientas de alto nivel permite formar estudiantes con criterio, capaces de interpretar, adaptar y extender sus códigos.

En este sentido, el uso consciente de funciones como `linspace` y `meshgrid` no representa una simplificación del pensamiento, sino su culminación natural.