

# Principio de Mínima Acción Volumétrica y Extensión Operacional del Formalismo Clásico

Proyecto TCDS

## Abstract

Se propone una reformulación compatible del principio de mínima acción para sistemas físicos reales, en la que la selección natural no recae sobre una trayectoria ideal única, sino sobre un volumen finito de configuraciones dinámicamente accesibles. Este enfoque, denominado Principio de Mínima Acción Volumétrica (PMAV), preserva el formalismo variacional clásico como caso límite, y permite integrar fricción distribuida, granularidad, tolerancias geométricas y estabilidad operacional sin conflicto epistemológico con la física establecida. La Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS) se presenta como un marco organizador de esta extensión, no como sustitución del formalismo clásico.

## 1 Introducción

El principio de mínima acción constituye uno de los pilares unificadores de la física teórica. Desde la mecánica clásica hasta la teoría cuántica de campos, la dinámica de un sistema se obtiene como condición de estacionariedad de la acción

$$S[q(t)] = \int_{t_1}^{t_2} L(q, \dot{q}, t) dt. \quad (1)$$

En su interpretación tradicional, este principio selecciona una trayectoria (o conjunto discreto de trayectorias) que satisfacen

$$\delta S = 0. \quad (2)$$

Sin embargo, en sistemas físicos reales —ingenieriles, experimentales o naturales— dicha trayectoria ideal rara vez existe de forma aislada. Imperfecciones geométricas, fricción distribuida, ruido, discretización material y variabilidad del entorno introducen un conjunto continuo de trayectorias aproximadamente viables.

Este trabajo propone que el principio variacional clásico permanece válido, pero su interpretación física debe extenderse desde la noción de trayectoria óptima puntual hacia la de *región volumétrica de mínima acción efectiva*.

## 2 Limitación Operacional de la Acción Puntual

En un sistema idealizado, el espacio de configuraciones accesibles colapsa a una vecindad infinitesimal alrededor de la trayectoria extrema. En sistemas reales, por el contrario, el espacio de fases accesible  $\Omega_\chi$  posee volumen finito debido a restricciones del sustrato físico  $\chi$ .

En estos casos, la acción deja de ser una función evaluada sobre una trayectoria única y pasa a ser una funcional efectiva definida sobre un conjunto:

$$S_{\text{ef}}(\Omega_\chi) = \int_{\Omega_\chi} S[q(t)] d\mu(q), \quad (3)$$

donde  $d\mu$  es una medida inducida por la accesibilidad dinámica del sistema.

La noción de “mínima acción” se vuelve entonces ambigua si se mantiene una interpretación estrictamente puntual.

### 3 Principio de Mínima Acción Volumétrica (PMAV)

Se introduce el siguiente principio extendido:

#### Definición (PMAV)

Un sistema físico real evoluciona hacia aquella región del espacio de estados  $\Omega^*$  que maximiza el volumen de configuraciones dinámicamente accesibles bajo la restricción de acción efectiva acotada:

$$\Omega^* = \arg \max_{\Omega} \{ \mu(\Omega) \mid S_{\text{ef}}(\Omega) \leq S_{\text{crit}} \}, \quad (4)$$

donde  $\mu(\Omega)$  es la medida volumétrica de la región accesible y  $S_{\text{crit}}$  un umbral determinado por el sustrato.

#### Observación

En el límite  $\mu(\Omega) \rightarrow 0$ , el PMAV reduce exactamente al principio de mínima acción clásico, recuperando la formulación euclíadiana-hamiltoniana estándar.

### 4 Fricción y Sustrato como Restricciones Geométricas

En este marco, la fricción no se modela exclusivamente como un término local en la ecuación de movimiento, sino como una propiedad emergente del volumen de estados accesibles:

$$\phi = \phi(\Omega_\chi). \quad (5)$$

Configuraciones que requieren ajuste fino extremo presentan un volumen  $\mu(\Omega)$  pequeño y, por tanto, alta sensibilidad entrópica. Configuraciones robustas exhiben mayor volumen accesible y menor fricción efectiva promedio.

Este enfoque permite reinterpretar la fricción como un costo geométrico-distribucional, no como un simple coeficiente disipativo.

### 5 Compatibilidad con la Geometría Euclíadiana

El PMAV no invalida la geometría euclíadiana ni el cálculo variacional clásico. Por el contrario:

- La geometría continua describe correctamente el límite ideal.
- La discretización material introduce restricciones topológicas adicionales.
- La acción extrema permanece como condición local de estacionariedad.
- El volumen accesible selecciona la solución físicamente realizable.

Así, el formalismo clásico se preserva como subestructura matemática dentro de un marco operativo más amplio.

## 6 Rol de la TCDS como Marco Organizador

La Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS) puede interpretarse como una arquitectura conceptual que organiza:

- Empuje disponible  $Q$  (capacidad de acción).
- Sincronización estructural  $\Sigma$  (coherencia interna).
- Fricción efectiva  $\phi$  (costo volumétrico).

sin introducir nuevas leyes dinámicas fundamentales, sino reorganizando la evaluación de estabilidad y viabilidad en sistemas reales.

En este sentido, TCDS no compite con la física clásica, sino que actúa como una interfaz de diseño y análisis para sistemas complejos, discretos o ingenieriles.

## 7 Conclusión

El principio de mínima acción no falla en sistemas reales; lo que falla es su interpretación puntual fuera de su dominio ideal.

La extensión volumétrica aquí presentada conserva la matemática establecida, elimina conflictos epistemológicos y proporciona un criterio operativo claro para evaluar estabilidad, eficiencia y robustez en sistemas físicos reales.

Este enfoque permite integrar geometría, fricción, discretización y diseño sin necesidad de postulados ad hoc, y abre un camino natural para el desarrollo de marcos como TCDS dentro del conocimiento físico habitual.