Núcleo del modelo y extensiones naturales

0) Núcleo: Selección Condicionada (SC) bajo evento raro sostenido

El corazón del modelo es un cambio de "lo típico" por **tipicidad condicionada**: cuando ocurre un **evento raro sostenido** (no un pico instantáneo), el sistema no "hace cualquier cosa", sino que tiende a concentrarse en pocas configuraciones estables.

0.1 Medida condicionada

Sea $(\mathcal{R})$ el evento raro sostenido. Se define la medida condicionada:
$[\mathbb{P}(\cdot \mid \mathcal{R}) = \frac{\mathbb{P}(\cdot \cap \mathcal{R})}{\mathbb{P}(\mathcal{R})}.]$

0.2 Estados a escala (n), coarse-graining y relación $(\approx)$

Sea (n) un índice de escala/resolución. Sea (ϕ_n) la descripción aleatoria del sistema a esa escala (resultado de coarse-graining). Sea (ψ) un representante de estado a escala (n).

Para evitar elasticidad, se fija explícitamente qué significa "$(\phi_n \approx \psi)$".

Definición operativa por defecto (métrica + radio): existe una distancia/divergencia (d_n) y un umbral $(\delta_n > 0)$ tales que
$[\mathbb{P}(\phi_n \approx \psi);:=;\mathbb{P}!\big(d_n(\phi_n, \psi) \le \delta_n\big).]$

- (d_n) se declara y queda fijada ex ante.
- (δ_n) fija el coarse-graining efectivo y queda fijado ex ante (o por un rango pre-registrado).

Definición alternativa equivalente (partición): se define una partición $(\Pi_n = C_{n,1}, \dots, C_{n,M})$ del espacio de estados a escala (n); entonces $(\phi_n \approx \psi)$ significa "(ϕ_n) cae en la celda de (ψ)". Esta forma es útil en implementaciones discretas y en modelos Markovianos.

0.3 Coste informacional (tipo energía libre) y normalización de escala

Se define un coste informacional a escala (n):
$[F_n[\psi] := -\epsilon_n \log \mathbb{P}(\phi_n \approx \psi).]$

Convención dura para (ϵ_n):

- **Por defecto:** $(\epsilon_n \equiv 1)$ (coste informacional puro).
- Si (ϕ_n) agrega (N_n) micro-grados, se permite $(\epsilon_n \propto 1/N_n)$ para interpretar (F_n) como coste por grado efectivo.

Cualquier otra elección de (ϵ_n) debe ser explícita, fija y justificada ex ante.

0.4 Coste condicionado (objeto relevante bajo $(\mathcal{R})$)

Bajo evento raro sostenido, el objeto relevante es el coste condicionado. Se define primero la **masa condicionada de coarse-graining**:
$[p_n(\psi \mid \mathcal{R});:=;\mathbb{P}!\big(d_n(\phi_n,\psi) \le \delta_n \mid \mathcal{R}\big).]$
Entonces se define:
$[F_n^{\mathcal{R}}[\psi];:=;-\epsilon_n \log p_n(\psi \mid \mathcal{R}).]$
Equivalentemente,
$[F_n^{\mathcal{R}}[\psi] = -\epsilon_n \log \mathbb{P}(\phi_n \approx \psi, \mathcal{R}) + \epsilon_n \log \mathbb{P}(\mathcal{R}),]$
y el término $(\epsilon_n \log \mathbb{P}(\mathcal{R}))$ es constante respecto a (ψ).

0.5 Regla de Selección Condicionada (SC)

La Selección Condicionada (SC) se expresa como:
$[\text{bajo } \mathcal{R}, \quad \psi_n^\star \in \arg \min_{\psi \in \mathcal{A}_n(\mathcal{R})} F_n^{\mathcal{R}}[\psi],]$
donde $(\mathcal{A}_n(\mathcal{R}))$ es el conjunto de estados accesibles/compatibles con $(\mathcal{R})$ a escala (n), incluyendo persistencia (definida más abajo).

0.6 Atractores y dominancia: observables empíricos

Sea $(A_k{}_{k=1}^K)$ una partición (o casi partición) del espacio de estados a escala (n) en clases metastables (definición dura en 0.7). Definimos:
$[p_k := \mathbb{P}(A_k \mid \mathcal{R}).]$
Medidas de dominancia:
$[D_H := \dfrac{p_1}{p_2}, \qquad \Delta := p_1 - p_2,]$
donde $(p_1 \ge p_2 \ge \cdots)$.

0.7 Definición dura de las clases (A_k): cuencas metastables de la medida condicionada

Las clases (A_k) deben definirse de forma **interna** al método, **operacional** y **dinámicamente validada**. El modelo más natural y duro es:

> (A_k) son **conjuntos metastables** (basins) de la medida condicionada $(\mathbb{P}(\cdot \mid \mathcal{R}))$: regiones de alta probabilidad condicionada separadas por barreras efectivas, con permanencias largas y transiciones raras entre clases.

Se usa una definición en dos capas: (i) geométrica/probabilística (basins en $(F_n^{\mathcal{R}})$), y (ii) dinámica (metastabilidad por tiempos o por operador de transición).

0.7.1 Capa geométrica: basins de $(F_n^{\mathcal{R}})$

Se trabaja en el espacio de estados a escala (n) con métrica (d_n) y coarse-graining fijado. El objeto primario es $(p_n(\psi \mid \mathcal{R}))$ y su coste asociado:
$[F_n^{\mathcal{R}}(\psi) := -\epsilon_n \log p_n(\psi \mid \mathcal{R}).]$

Los “centros” candidatos de atractor son mínimos locales $(\psi_k^\star)$ de $(F_n^{\mathcal{R}})$ (equivalente a máximos locales de $(p_n(\cdot \mid \mathcal{R}))$ en la resolución fijada).

Definición de cuenca (basin): sea $(\mathcal{D})$ un procedimiento fijo ex ante que asigna a cada (\psi) el mínimo local al que “drena” (por ejemplo: descenso por gradiente cuando exista estructura continua, o bien algoritmo watershed/mean-shift sobre discretización). Entonces:
$[A_k^{(\mathrm{geom})} := \psi : \ \mathcal{D}(\psi) = k.]$

0.7.2 Capa dinámica: metastabilidad por tiempos (definición directa)

Sea (ψ_t) una trayectoria coarse-grained a escala (n) (observada o simulada). Para un conjunto (A), define el primer tiempo de salida:
$[\tau_{\mathrm{exit}}(A);:=;\inf t > 0 : \ \psi_t \notin A.]$
Define además un tiempo de relajación interno $(\tau_{\mathrm{relax}}(A))$ (por ejemplo, tiempo de mezcla interno o tiempo para perder memoria de condición inicial dentro de (A), medido por autocorrelación interna o convergencia de distribución restringida a (A)).

Criterio de metastabilidad duro:
$[\tau_{\mathrm{relax}}(A_k) \ll \mathbb{E}[\tau_{\mathrm{exit}}(A_k)] \quad \mathrm{y} \quad \mathbb{P}(\tau_{\mathrm{exit}}(A_k) \geq \tau_p \mid \mathcal{R}) \ \mathrm{alta}.]$
Solo los conjuntos que cumplan esto se aceptan como clases (A_k). Los que no cumplan se fusionan con vecinos o se descartan como subestructura no estable.

0.7.3 Capa dinámica alternativa (si hay datos temporales suficientes): modelo Markoviano metastable (MSM)

Cuando existen trayectorias suficientes, se construye un modelo de transiciones:

1. Se define una discretización en microestados $(C_{n,1}, \ldots, C_{n,M})$ (pre-registrada por partición o por (d_n, δ_n)).
2. Se define un indicador temporal $(R_t \in 0, 1)$ (pre-registrado) que identifica si el sistema está en régimen $(\mathcal{R})$ en el tiempo (t) (o en la ventana local asociada a (t)).
3. Se estima una matriz de transición a un retardo (Δt), condicionada por $(R_t = 1)$:
   $[P_{ij}^{\mathcal{R}} := \mathbb{P}(\psi_{t+\Delta t} \in C_{n,j} \mid \psi_t \in C_{n,i}, \ R_t = 1).]$
4. La metastabilidad se identifica por espectro cercano a 1 (modos lentos) y por particiones que maximizan permanencia (por ejemplo, métodos tipo PCCA+ o particiones de casi-invariancia). Se obtiene un mapeo de microestados a macroconjuntos metastables (A_k) (unión de celdas):
   $[A_k := \bigcup_{i \in I_k} C_{n,i}.]$

0.7.4 Regla de robustez (no-elasticidad de (A_k))

La definición dura exige estabilidad de (A_k) bajo:

- variaciones de coarse-graining dentro de un rango pre-registrado,
- ventanas temporales distintas dentro del régimen $(\mathcal{R})$,
- bootstrap/submuestreos.

Se acepta un conjunto (A_k) si sus probabilidades $(p_k = \mathbb{P}(A_k \mid \mathcal{R}))$ y su dominancia $((D_H, \Delta))$ son estables en esos tests.

0.8 Flecha temporal operacional (anclas) y separación de escalas

La flecha temporal "práctica" se expresa por separación de escalas:
$[\tau_{\text{relax}}(A_k) \ll \tau_{\text{escape}}(A_k),]$
donde $(\tau_{\text{escape}}(A_k))$ puede tomarse como $(\mathbb{E}[\tau_{\text{exit}}(A_k)])$ o un cuantil alto de (τ_{exit}). La existencia de clases metastables bajo $(\mathcal{R})$ implementa anclas: estructura que dura más que el tiempo de mezcla interno.

---

1) Extensión natural: geometría hiperbólica como métrica efectiva multi-escala (fractal jerárquico)

1.1 Idea mínima: hiperbólico no por "muchas dimensiones", sino por accesibilidad jerárquica

En un sistema multiescala, importa cómo crece el espacio de configuraciones accesibles al aumentar la distancia efectiva. En este marco, "hiperbólico" no se usa como afirmación cosmológica ni se deduce de "muchos dominios" por sí solo; se usa como **geometría efectiva del espacio de estados** cuando la accesibilidad entre estados es **jerárquica y ramificada** (tree-like), inducida por repetición de patrones a distintas escalas y por acoplos que abren/cierra rutas.

La firma operativa de hiperbolicidad efectiva es:
$[|B(r)| \sim e^{\alpha r},]$
donde $(B(r))$ es la bola de radio (r) en la métrica relevante (pasos de transición, coste informacional, coste de coordinación).

1.2 Conexión explícita fractal $(\leftrightarrow)$ hiperbólico (profundidad logarítmica)

Si una estructura multiescala muestra ley de potencia en radio físico (\rho):
$[N(\rho) \sim \rho^D,]$
define la **profundidad logarítmica de escala**:
$[\ell := \log(\rho/\rho_0).]$
Entonces:
$[N(\ell) \sim e^{D\ell}.]$
Si discretizas (ℓ) en niveles (n) (pasos de refinamiento), se obtiene:
$[N(n) \sim e^{Dn}.]$

1.3 Interpretación tipo árbol (refinamiento) y condición mínima

Si cada patrón a nivel (n) genera $(b > 1)$ subpatrones en $(n + 1)$, entonces:
$[|B(n)| \sim b^n = e^{(\log b),n}.]$
Condición mínima para llamar "hiperbólico efectivo" a este espacio de estados:

- jerarquía de escalas (refinamiento),

- ramificación efectiva $(b > 1)$,
- métrica relevante en pasos de escala o coste de transición/coordinación.

1.4 Forma geométrica clásica (intuición, no postulado)

En $(\mathbb{H}^m)$ (hiperbólico de dimensión (m)), el volumen de una bola crece aproximadamente como: $[\mathrm{Vol}(B(r)) \propto \int_0^r \sinh^{m-1}(t), dt \approx c, e^{(m-1)r} \quad (r \text{ grande}).]$

1.5 Qué cambia sin tocar SC

No se altera SC; se especifica que el coarse-graining y las normalizaciones de vecindad deben ser consistentes con el crecimiento de volumen/ramificación. Se exige robustez dentro de un rango pre-registrado compatible con la métrica efectiva.

1.6 Predicciones (medibles)

- Transiciones más nítidas en dominancia al cruzar umbrales de persistencia/intensidad.
- Señales más claras de separación temporal (metastabilidad reforzada).
- Robustez geométrica bajo variaciones pre-registradas de coarse-graining.

---

2) Extensión natural: multi-dominio como formalización inevitable del acoplo

2.1 Idea mínima

Sea $(d \in 1, \ldots, D)$ índice de dominio. Sea $(\phi_{d,n})$ la descripción a escala (n) del dominio (d). Existen acoplos efectivos $(J_{d\to d'})$.

2.2 Evento raro sostenido multi-dominio (persistencia acumulada)

El evento raro sostenido se formaliza como **concurrencia sostenida** en un subconjunto activo $(S^\star \subset 1, \ldots, D)$. Para cada $(d \in S^\star)$ se fija una condición de persistencia acumulada. Por defecto, se adopta una (o un conjunto) de:

(a) **Excedencia integrada**
$[\mathcal{R}_d ::; ; \int_{t_0}^{t_0+T} \mathbf{1}[\phi_{d,n}(t) > \Theta_{d,n}], dt; \geq; \kappa_{d,n}.]$

(b) **Cuantil por ventana**
$[\mathcal{R}_d ::; ; Q_q\big(\phi_{d,n} \text{ en ventana}\big); \geq; \Theta_{d,n}, \quad q \in [0.9, 0.99].]$

(c) **Energía excedente acumulada**
$[\mathcal{R}_d ::; ; \int_{t_0}^{t_0+T} (\phi_{d,n}(t) - \Theta_{d,n})+, dt; \geq; Ed, n.]$

Entonces:
$[\mathcal{R};=;\Big(\bigcap_{d\in S^\star}\mathcal{R}_d\Big)\cap\text{persistencia}\geq\tau_p.]$

2.3 Predicciones (medibles)

- Activación selectiva: emerge un circuito mínimo estable $(S^\star)$.
- Aumento de dependencia entre dominios durante $(\mathcal{R})$, medible por ejemplo como: $[I(\phi_{d,n};\phi_{d',n}\mid\mathcal{R}).]$
- Ablación cruzada: romper acoplos preservando marginales degrada dominancia y metastabilidad.

2bis) Acoplo bidireccional entre dominios y "peso de dominio" sobre las bases

2bis.1 Motivación mínima

Los dominios superiores actúan como condiciones de contorno sobre dominios inferiores (peso descendente), y los inferiores condicionan la viabilidad de los superiores (peso ascendente), sin modificar SC.

2bis.2 Red de dominios y estados macroscópicos

Cada dominio (d) tiene un estado efectivo (ψ_d) y un resumen macroscópico:
$[s_d:=\mathcal{S}(\psi_d).]$
La arquitectura global se representa como grafo dirigido con acoplos $(d\to i)$. Se asume parsimonia: pocos acoplos dominantes.

2bis.3 Peso descendente (top-down): sesgo sobre tipicidad del inferior

$[F_i'(\psi_i)=F_i(\psi_i)+w_{d\to i},C_{d\to i}(\psi_i;s_d),\qquad w_{d\to i}\geq 0.]$

Centro gaussiano vs robusto:

- Aproximación gaussiana: centro (μ_i) y desplazamiento $(\mu_i'=\mu_i+\Delta\mu_{i\leftarrow d})$.
- Asimetría/colas pesadas: centro robusto (m_i) o cuantiles con $(m_i'=m_i+\Delta m_{i\leftarrow d})$.

2bis.4 Peso ascendente (bottom-up): viabilidad del superior

$[F_d'(\psi_d)=F_d(\psi_d)+v_{i\to d},B_{i\to d}(\psi_d;\psi_i),\qquad v_{i\to d}\geq 0.]$

2bis.5 Funcional total acoplado

$$[F_{\text{total}}(\psi_k)=\sum_{k=1}^{D}F_k(\psi_k);+;\sum_{k,\ell=1\neq\ell}^{D}a_{\ell\to k},G_{\ell\to k}(\psi_k;\psi_\ell).]$$
Bajo $(\mathcal{R})$, SC opera sobre (F_{total}).

2bis.6 Predicciones falsables del peso de dominio

- Shift de centro inducido por (s_d) sobre variables conectadas por canal.
- Especificidad por canal (no “todo se mueve”).
- Histéresis por bucles top-down/bottom-up.
- Ablación asesina: anulando $(w_{d\to i})o(v_{i\to d})$ desaparecen los efectos atribuidos al canal.

Candado interpretativo: se usan retardos, rupturas exógenas/intervenciones naturales cuando existan, y ablaciones rompiendo acoplos preservando marginales.

2bis.7 Forma canónica mínima de $(C_{d\to i})$ y estimación de $(w_{d\to i})$

(1) Interfaz: $(g_i : \Psi_i \to \mathbb{R}^p), (T_{d\to i} : \mathcal{S}_d \to \mathbb{R}^p)$.

(2) Coste cuadrático:
$[C_{d\to i}(\psi_i; s_d) = \frac{1}{2}, \big(g_i(\psi_i) - T_{d\to i}(s_d)\big)^\top \Lambda_{d\to i}\big(g_i(\psi_i) - T_{d\to i}(s_d)\big), \quad \Lambda_{d\to i} \succeq 0.]$

(3) Caso lineal-gaussiano:
$[F_i(\psi_i) \approx \frac{1}{2}(\psi_i - \mu_i)^\top \Sigma_i^{-1}(\psi_i - \mu_i), \qquad g_i(\psi_i) \approx A_i\psi_i,]$
$[\mu_i' = \Big(\Sigma_i^{-1} + w_{d\to i}A_i^\top \Lambda_{d\to i}A_i\Big)^{-1}\Big(\Sigma_i^{-1}\mu_i + w_{d\to i}A_i^\top \Lambda_{d\to i}T_{d\to i}(s_d)\Big).]$

(4) Versión robusta (colas pesadas):
$[Q'_{y_i}(\alpha) \approx Q_{y_i}(\alpha) + \Delta Q_{i\leftarrow d}(\alpha), \quad y_i := g_i(\psi_i).]$

(5) Estimación parsimoniosa (consistente con “pérdida”):
$[\min_w \ \mathcal{L}_{\text{out}}(w); +; \lambda \sum_{d\to i} |w_{d\to i}|,]$
reportando solo top-(k) acoplos estables (ventanas/coarse-graining/bootstraps).

(6) Ablación refinada del canal: además de $(w_{d\to i} = 0)$, anular $(\Lambda_{d\to i})$ para “cegar” el canal.

---

3) Extensión natural: lognormalidad y colas pesadas como estadística típica de impactos

3.1 Lognormalidad por cascadas multiplicativas

$[I = \prod_{k=1}^{K} X_k \quad \Rightarrow \quad \log I = \sum_{k=1}^{K} \log X_k.]$
Bajo condiciones generales (mezcla débil, varianza finita de $(\log X_k)$, $(K) grande$), (I) se aproxima a lognormal.

3.2 Cuándo aparecen colas pesadas

Aparecen **colas pesadas** por mezcla de regímenes, dependencias fuertes, umbrales y retroalimentaciones. Marcador típico (para $(x \geq x_{\min})$):

[$\mathbb{P}(I > x) \sim x^{-\alpha}$.]
En Pareto ideal, ($f(x) \propto x^{-(1+\alpha)}$).

Candado estadístico: contrastar modelos (lognormal vs Pareto/Weibull/lognormal mezclada) por AIC/BIC, validación cruzada o pruebas de ajuste, con procedimiento fijado ex ante.

3.3 Predicciones

- Al condicionar por ($|S^\star| = m$), la cola se endurece al crecer (m) si el acoplo/multiplicatividad son reales.
- Romper acoplos preservando marginales adelgaza la cola y reduce dominancia.

---

4) Extensión natural: nacimiento dinámico de dominios ("puertas") como transición informacional

4.1 Idea mínima

Un "nuevo dominio" es un nuevo grado de libertad efectivo cuando:

- es persistente,
- está acoplado no trivialmente,
- mejora predicción/compresión penalizando complejidad y validando fuera de muestra.

4.2 Criterio operativo duro: mejora de pérdida out-of-sample penalizada

Sea ($\mathcal{L}_{\text{out}}(M)$) una **pérdida** out-of-sample (menor es mejor). Se compara (M_0) vs (M_1):
[$\Delta := \mathcal{L}_{\text{out}}(M_0) - \mathcal{L}_{\text{out}}(M_1)\ -\ \lambda, \Delta K$.]
Se acepta puerta si ($\Delta > 0$) de forma robusta (ventanas, bootstraps, coarse-graining).

Candado anti-elasticidad:

- familias permitidas (M_0, M_1) fijadas,
- (ΔK) explícito,
- estabilidad obligatoria.

4.3 Predicciones

- Umbral de persistencia/intensidad de ($\mathcal{R}$) para aparición de dominio.
- Coherencia con cambios en (p_k), (D_H), metastabilidad y dependencia condicional multi-dominio.

---

5) Candados metodológicos: evitar irrefutabilidad

5.1 Pre-registro (o equivalente)

Se fija ex ante:

- $(\mathcal{R})$ (umbral + persistencia),
- $(d_n, \delta_n, \epsilon_n)$,
- coarse-graining (y rango),
- definición/estimación de (A_k) (basins + metastabilidad y/o MSM),
- métricas (p_k, D_H, Δ) y tiempos,
- tests de robustez y comparación estadística de colas.

5.2 Ablaciones asesinas

- Aplanar o desactivar $(F_n^{\mathcal{R}})$ (o su dependencia relevante) colapsa dominancia/metastabilidad.
- Romper acoplos preservando marginales degrada jerarquía, colas y dependencia condicional.
- Variar coarse-graining dentro del rango permitido no debe destruir las firmas.

---

6) Protocolo operativo mínimo (replicable)

1. Fijar $(n), (d_n), (\delta_n), (\epsilon_n)$, partición o vecindad.
2. Definir $(\mathcal{R})$ por persistencia acumulada.
3. Calcular $(p_n(\psi \mid \mathcal{R}) = \mathbb{P}(d_n(\phi_n, \psi) \le \delta_n \mid \mathcal{R}))$ y construir $(F_n^{\mathcal{R}}[\psi] = -\epsilon_n \log p_n(\psi \mid \mathcal{R}))$.
4. Definir (A_k) por basins de $(F_n^{\mathcal{R}})$ y validar metastabilidad por tiempos; si hay datos temporales suficientes, construir MSM $(P^{\mathcal{R}})$ usando (R_t).
5. Calcular $(p_k = \mathbb{P}(A_k \mid \mathcal{R})), (D_H), (\Delta)$.
6. Medir $(\tau_{\mathrm{relax}}(A_k))y(\tau_{\mathrm{escape}}(A_k))$.
7. Medir dependencia multi-dominio $(I(\phi_{d,n}; \phi_{d',n} \mid \mathcal{R}))$ (o equivalente).
8. Ejecutar ablaciones asesinas y tests de robustez.
9. Para puertas: comparar (M_0, M_1) por (Δ) con penalización y estabilidad.
10. Para hiperbolicidad efectiva: verificar crecimiento $(|B(r)| \sim e^{\alpha r})$ en métrica relevante o tree-likeness del grafo de accesibilidad.

Apéndice (no axiomático) — Origen de la intuición del método

Nota de alcance. Este apéndice no forma parte del núcleo del método, no introduce supuestos nuevos ni se usa para justificar resultados. Su única función es dejar constancia del origen intuitivo que motivó la formalización. El método queda definido exclusivamente por sus axiomas, definiciones y protocolo de validación/falsación.

La intuición inicial nació de una observación funcional: muchos sistemas persistentes parecen operar con un interfaz mínimo que distingue entre regímenes favorables y regímenes dañinos para su continuidad. Esa distinción no explica “por qué” existe el sistema, pero sugiere un criterio operativo para describir cómo se estabiliza y cómo selecciona trayectorias.

A partir de ahí apareció una segunda intuición: cuando un sistema incorpora memoria y predicción (en el sentido más amplio posible), la dinámica deja de ser puramente local y se vuelve históricamente condicionada. Esto introduce una asimetría temporal práctica: el estado interno se organiza para reducir exposición futura a estados desfavorables, lo que hace emerger una flecha operacional asociada a anclajes, actualización y aprendizaje.

En paralelo, la observación estadística que sostuvo el núcleo del modelo fue ésta: en muchos contextos, el comportamiento típico puede aproximarse por regímenes aditivos (tendencia a gaussianidad local), pero bajo apilamiento sostenido de restricciones —formalizado como (\mathcal R)— aparecen cambios de régimen donde dominan efectos multiplicativos, refuerzos o acoplos entre dominios. En esos escenarios, es natural que emerjan distribuciones tipo lognormal y, más en general, colas pesadas.

Finalmente, ambas intuiciones convergen en una idea común: bajo (\mathcal R), el espacio de estados compatible se estrecha y el sistema tiende a concentrarse en unas pocas clases metastables (atractores) y a abrir “puertas” de descripción efectiva cuando ello mejora la capacidad predictiva o reduce el coste efectivo. Esa convergencia motivó la búsqueda de un formalismo que describa cómo surgen esos regímenes y transiciones sin comprometerse con narrativas particulares de ningún dominio.

La idea central del documento, en una frase

Cuando ocurre un **evento raro que dura** (no un pico, sino una situación sostenida), el sistema deja de comportarse “como siempre” y entra en un régimen donde **solo unas pocas formas de organización** pasan a ser **las más probables y estables**. Eso es lo que llamas **Selección Condicionada (SC)**.

---

1) Qué significa “evento raro sostenido”

No es “algo raro” sin más. Es algo que:

- **sale de lo habitual** (por intensidad, combinación o escala),
- y **se mantiene el tiempo suficiente** como para obligar al sistema a reorganizarse.

Ejemplo 1 (agua en el suelo)
Una gota suelta no cambia nada. Pero si cae agua suficiente **durante un rato**, aparece un “hecho nuevo”: el agua deja de elegir cada vez al azar y empieza a “preferir” un camino, que se convierte en surco. El surco refuerza el camino del agua y el agua refuerza el surco. Ya no es un conjunto de microdecisiones independientes: aparece una estructura persistente.

Ejemplo 2 (mercados y pánico)
Un rumor aislado no cambia el mercado. Pero una señal negativa sostenida + liquidez baja + ventas en cascada, durante horas/días, crea un régimen distinto: aparecen patrones como “todo cae a la vez”, “se seca el libro”, “correlaciones suben”, “se forman suelos/techos”. El sistema se comporta distinto porque “lo raro dura”.

---

2) Qué hace tu regla SC (en palabras)

Tu regla dice:
Si estás bajo ese régimen raro sostenido, no mires “qué suele pasar normalmente”. Mira qué configuraciones son más compatibles con sobrevivir/funcionar bajo ese régimen.

O sea: el sistema “elige” (no conscientemente, sino por dinámica) entre las opciones que **puede** sostener, y tiende a concentrarse en unas pocas.

Ejemplo (organismo bajo frío extremo)
En un rango normal de temperatura, un animal puede gastar energía de muchas maneras.
Pero bajo frío sostenido, muchas conductas se vuelven inviables. El sistema se concentra en unas pocas estrategias: temblar, agruparse, reducir actividad, buscar refugio. La “libertad” aparente se reduce: emergen “atractores” conductuales.

---

3) Qué son “atractores” en tu documento (sin metáfora)

En tu texto, un atractor no es “una idea bonita”. Es:

1. **Un conjunto de estados parecidos** (una familia de configuraciones)
2. En el que el sistema **cae con frecuencia** cuando está bajo el régimen raro
3. Y **si entra, tiende a quedarse** bastante tiempo (metastabilidad), antes de salir.

Ejemplo 1 (tráfico en ciudad)
Con flujo normal, el tráfico se reparte.
Con un cierre prolongado, aparecen patrones estables: atascos fijos en puntos concretos, rutas alternativas que se convierten en “ríos” de coches. Son atractores: una vez se forma, se mantiene, y la ciudad se reorganiza alrededor.

Ejemplo 2 (una empresa en crisis)
En tiempos normales, los equipos trabajan dispersos en prioridades.
Bajo crisis sostenida, aparecen 2–3 “modos estables”: recorte radical, pivot estratégico, venta/fusión. La empresa tiende a caer en uno de esos modos y permanecer ahí hasta que cambie el régimen.

---

4) La parte “multi-dominio”: por qué tu documento es más general que “solo física”

Tú dices: la realidad está dividida en **dominios** (físico, biológico, mental, social, etc.) que:

- emergen unos de otros,
- pero luego se influyen.

Tu punto fino es: cuando el régimen raro aparece, **puede estar repartido entre dominios**.

Ejemplo “Yellowstone” (tal como encaja en tu marco)

- Dominio físico: clima, incendios, ecosistemas.
- Dominio social: turismo, economía local, decisiones políticas, redes sociales.

Una temporada de incendios severos sostenidos no es solo “física”: activa decisiones, restricciones, migraciones temporales, cambios en infraestructura.
Y esas decisiones sociales vuelven a afectar lo físico (gestión del bosque, recursos, presión humana, etc.).
Tu modelo describe esto como: **los dominios se acoplan más fuertemente bajo el régimen raro** y empiezan a “tirar” unos de otros.

---

5) “Peso de dominio”: lo más original en tu enfoque

Aquí tu idea es potente y muy concreta: un dominio superior (p. ej., el social) puede actuar como si fuera una **condición de contorno** que empuja lo que ocurre abajo.

No es magia. Es: el dominio superior impone restricciones, incentivos o sesgos que cambian lo “típico” de los dominios inferiores.

Ejemplo 1 (social → biológico)
Política pública sostenida (vacunación, alimentación, horarios, urbanismo) cambia, durante años, patrones biológicos y de salud en poblaciones.

Ejemplo 2 (social → cognitivo)
Si hay un régimen social sostenido (guerra, propaganda, crisis), cambian distribuciones de atención, miedo, confianza, conductas colectivas. No porque “la sociedad sea un ente”, sino porque los cerebros individuales operan dentro de una estructura de incentivos y señales persistente.

Y también al revés:
Ejemplo 3 (biológico → social)
Una epidemia sostenida fuerza nuevas normas sociales.

---

6) “Hiperbólico” en tu documento (la explicación conceptual correcta)

Tú no lo usas como “el universo es hiperbólico” literal. Lo usas como idea de **ramificación por escalas**:

En sistemas con capas, al subir de escala, no exploras un espacio “plano” de opciones; exploras un espacio donde los caminos se **dividen** como un árbol: cada decisión abre muchas nuevas combinaciones. Eso hace que el “espacio de posibilidades” crezca muy rápido.

Ejemplo 1 (lenguaje)
Con unas pocas letras puedes formar palabras, con palabras frases, con frases narrativas. La cantidad de combinaciones explota por niveles.

Ejemplo 2 (tecnología)
Un invento base abre miles de combinaciones de aplicaciones. La historia tecnológica es ramificada.

En tu teoría, ese crecimiento ramificado es el “sabor” de lo hiperbólico: muchas ramas, muchas escalas, accesibilidad jerárquica.

---

7) “Puertas”: cuándo nace un dominio nuevo

Tú dices: a veces, bajo cierto régimen o acumulación de cambios, aparece una **nueva variable efectiva** que antes no tenía sentido considerar como “dominio”.

Es una “puerta” porque:

- antes esa dimensión no explicaba ni predecía gran cosa,
- y de repente se vuelve imprescindible para describir lo que pasa.

Ejemplo 1 (vida)
Antes de ciertas condiciones, “selección” o “información heredable” no es un dominio operativo. Pero cuando aparece un replicador estable, esa dimensión cambia todo: ya no estás solo en química, estás en dinámica evolutiva.

Ejemplo 2 (internet y redes)
Antes, “viralidad algorítmica” no era una variable estructural.
Después, se vuelve un dominio que reconfigura política, economía, identidad, coordinación social.

Y en tu método lo cierras de forma dura: solo aceptas que “hay puerta” si ese nuevo dominio mejora la explicación/predicción y no es un capricho narrativo.

---

8) Por qué tu documento insiste tanto en “candados” (la parte más importante si quieres objetividad)

Tú sabes que estas teorías se pueden volver “explico todo”. Entonces metes candados:

- Definir antes qué cuenta como “evento raro sostenido”
- Definir cómo mides estados (tu coarse-graining)
- Comprobar que el fenómeno sigue si cambias la resolución
- Hacer “ablaciones”: si quitas el mecanismo, debe desaparecer el resultado
- Evitar que una explicación se invente a posteriori

Ejemplo (honestidad científica)
Si el “surco” aparece solo cuando eliges una forma concreta de mirar el suelo, no es real: es un artefacto de tu medición.
Tu protocolo obliga a que el surco sea robusto.

Apéndice — Linajes y paralelismos operacionales (sin compromiso ontológico)

Este modelo no pretende decir “qué es” el mundo en su esencia, sino **cómo pueden funcionar** ciertos fenómenos cuando aparecen patrones estables, transiciones, acoplamientos entre escalas y restricciones de contorno entre dominios. En ese sentido, el modelo **bebe de muchas disciplinas avanzadas** que han tenido éxito sin requerir una ontología única y final: se apoyan en invariantes, simetrías, procedimientos de coarse-graining, criterios de robustez y validación empírica.

Este apéndice **no es una justificación** ni una prueba. Es un inventario de **paralelismos metodológicos**: herramientas conceptuales que inspiran el diseño de mis “candados” (criterios de aceptación, robustez, parcimonia y coherencia interna), sin obligarme a adoptar el aparato completo ni las tesis ontológicas de ningún campo.

0) Principio rector: agnosticismo ontológico, compromiso operacional

- **Agnosticismo ontológico**: el modelo evita afirmar qué “es” la realidad última (sustancias, esencias, categorías finales).
- **Compromiso operacional**: el modelo sí se compromete con **procedimientos**: qué se mide, cómo se compara, qué se considera “entrada/salida”, cuándo se introduce un término nuevo y cómo se penaliza complejidad.

En términos prácticos: este marco se parece más a un **lenguaje de control, contabilidad y validación** que a una metafísica.

---

1) Física: invariantes, simetrías y contabilidad de cantidades

Conservación como “regla del juego”

La física ha mostrado que muchas de sus regularidades más profundas no nacen de imaginar “cosas” (fluidos, auras), sino de identificar **cantidades invariantes** bajo transformaciones permitidas. La energía, por ejemplo, se usa como **contabilidad consistente**: si defines el sistema y contabilizas todos los canales, el balance cierra.

Resonancia operativa con el modelo:

- La idea de “balance que cierra” inspira el modo en que el modelo exige **definir fronteras** (qué cuenta como sistema) y **forzar coherencia** cuando se agregan términos/dominos nuevos: no por estética, sino porque el cierre predictivo lo reclama.

Simetrías como restricciones

En física moderna, simetrías no son decoración: son **restricciones** que recortan el espacio de comportamientos posibles y fijan “lo que puede existir” (en el sentido de lo permitido por el formalismo).

Resonancia operativa:

- El modelo trata ciertos dominios superiores o contextos como **condiciones de contorno** que restringen lo posible en dominios inferiores (sesgos de tipicidad, pesos descendentes), sin que eso implique “causalidad mágica”: es una restricción en el espacio de estados.

---

2) Multiescala y coarse-graining: renormalización y emergencias efectivas

La lección clave: cambiar de escala cambia el lenguaje útil

Renormalización y coarse-graining enseñan una idea muy concreta: al pasar de una escala a otra, no solo “pierdes detalles”; cambian las variables efectivas, las interacciones relevantes y lo que cuenta como “grado de libertad”.

Resonancia operativa:

- Tu noción de dominios y acoplamientos entre dominios encaja con la idea de **descripciones efectivas**: lo que funciona a una escala puede ser irrelevante o inobservable a otra.
- El modelo toma de ahí la disciplina de **no confundir parámetros de un nivel con “esencia” del sistema**: son variables útiles bajo una resolución dada.

“Infinitos” y el criterio de lo físico

La renormalización también enseña que ciertas divergencias no son “realidad infinita”; son **señal de mala parametrización** o de extrapolación fuera del régimen.

Resonancia operativa:

- Esto refuerza tu insistencia en candados de robustez: si un término nuevo “explica” todo pero rompe estabilidad o depende de ajustes frágiles, se trata como artefacto, no como puerta legítima.

---

3) Sistemas dinámicos: atractores, metastabilidad y transiciones

Sistemas dinámicos y teoría de bifurcaciones aportan el vocabulario de:

- **atractores**, **cuencas** y **trayectorias típicas**,
- **metastabilidad** (permanencias largas seguidas de escapes raros),
- **transiciones de fase** (cambios cualitativos al cruzar umbrales).

Resonancia operativa:

- Tu modelo se apoya en la idea de que algunos estados son **persistentes** no por ser “perfectos”, sino por ser **estables bajo perturbaciones** y por tener cuencas amplias.
- Las “puertas” se interpretan operativamente como **cambios de régimen**: aparecen variables efectivas nuevas porque el sistema entra en otra geometría dinámica (otro paisaje de estabilidad).

4) Probabilidad e inferencia: información, regularización y validación

Información como coste operativo

El uso de cantidades tipo (-\log P) (o funcionales análogos) es una tradición compartida por estadística, inferencia bayesiana, física estadística y aprendizaje automático. No requiere afirmar que “la realidad es probabilidad”; solo requiere aceptar que, bajo incertidumbre, **medir + predecir** suele expresarse naturalmente en ese lenguaje.

Resonancia operativa:

- Tu énfasis en “cómo funciona” cuadra con tratar estos funcionales como **costes**, **penalizaciones**, **compatibilidades** o **prioridades de explicación** (no como “energía metafísica”).

Regularización: penalizar complejidad para evitar autoengaño

Aprendizaje estadístico y teoría de modelos aportan una lección práctica: si un modelo gana “explicación” añadiendo parámetros sin penalización, termina describiendo ruido. La cura es estructural: regularizar, validar fuera de muestra, exigir estabilidad.

Resonancia operativa:

- Esto se traduce en tu criterio para abrir “puertas” o introducir dominios: solo se aceptan si aportan **mejora robusta** bajo penalización de complejidad y no dependen de ajustes delicados.

---

5) Redes, percolación y propagación: estructura como canal

En redes (físicas, biológicas o sociales) aparecen fenómenos de umbral:

- percolación, cascadas, contagios,
- robustez y fragilidad estructural,
- aparición de “macrocanales” que reconfiguran el flujo.

Resonancia operativa:

- Esto se alinea con tu intuición de que la historia del sistema no solo suma eventos: **construye estructura** que altera probabilidades posteriores (el surco en el terreno, el canal que se refuerza).
- En tu marco, esto se expresa como cambios en el “paisaje” y en los pesos: una vez existe canal, cambia la tipicidad.

---

6) Ciencias de la vida y cognición: interfaces y capas emergentes

Biología y neurociencia ofrecen un recordatorio: muchas funciones aparecen como **interfaces** (bueno/malo, acercar/evitar, recompensa/coste) que no “explican la ontología”, pero sí describen muy bien la dinámica efectiva del sistema.

Resonancia operativa:

- Esto inspira tu enfoque de dominios como capas que emergen con reglas propias, acopladas a capas inferiores sin reducirse a ellas en lenguaje útil.
- El modelo no necesita afirmar “la mente es X”; necesita describir cómo un dominio puede imponer restricciones y sesgos a otros.

---

7) Ciencias sociales y economía: restricciones top-down sin magia

En sistemas sociales aparecen:

- normas, instituciones, incentivos,
- mecanismos de coordinación,
- cambios de régimen por expectativas compartidas.

Resonancia operativa:

- No se afirma que “lo social viola lo físico”. Se afirma que lo social actúa como **condición de contorno**: reconfigura opciones disponibles, costes y trayectorias típicas, alterando el paisaje de decisiones y, por extensión, los patrones agregados.

---

8) Lo que este apéndice NO dice

Para blindar el modelo, este apéndice explícitamente **no** sostiene que:

- “todo son campos”, “todo es información” o “todo es energía” (tesis ontológicas).
- una disciplina sea “fundamento” de las demás.
- analogías físicas sean pruebas del modelo.

Solo sostiene esto: **hay patrones operacionales recurrentes** (invariantes, restricciones, multiescala, robustez, umbrales, metastabilidad) que reaparecen en muchas áreas maduras, y el modelo intenta capturarlos en un metalenguaje mínimo.

Ejemplo inventado:

Escenario aplicado (plantilla operacional)

Red eléctrica regional bajo ola de calor extrema y prolongada ($(\mathcal{R})$)

Nota de alcance (importante)

Este ejemplo **no añade axiomas**: es una instancia del protocolo. Las cifras (probabilidades, tiempos, exponente de cola) se tratan como **resultados de una corrida de datos históricos reanalizados o de un gemelo digital**; si se usa dataset real, se sustituyen por estimaciones con su pipeline reproducible.

---

0) Sistema, límites y dominios

Sistema: red eléctrica regional con:

- **Generación**: térmica, solar, eólica, hidro
- **Transmisión**: líneas de alta tensión, subestaciones
- **Demanda**: residencial, industrial, comercial
- **Entorno**: clima, precios, regulación, coordinación social

Frontera del sistema (pre-registro):
Se declara qué cuenta como "entrada/salida" de energía/potencia: importaciones/exportaciones netas, interconexiones, recursos distribuidos detrás del contador, etc. (Esto es crítico para no confundir "fallo de contabilidad" con "cambio de régimen".)

Dominios operacionales $(d = 1, \ldots, 5)$ (ejemplo):

1. **Técnico-físico** (infraestructura y estado eléctrico)
2. **Climático**
3. **Humano-comportamental** (uso y adaptación de consumo)
4. **Económico-regulatorio** (precios/incentivos/limitaciones)
5. **Social-institucional** (alertas, coordinación, cumplimiento)

1) ERS definido ex ante: condición rara sostenida $(\mathcal{R})$

Se pre-registra un evento raro sostenido como conjunción de umbral + persistencia + concurrencia:

$[\mathcal{R} = \overline{T} > 38°C \cap \text{persistencia} \geq 72h \cap \overline{HR} < 30]$

y una excedencia integrada (para separar "pico" de "estrés sostenido"):

$$[\int_{t_0}^{t_0+72h} (T(t) - 38)_+ , dt \geq 50 \text{ °}C \cdot h]$$

Interpretación operacional: $(\mathcal{R})$ define el **régimen de condicionamiento** bajo el cual se buscarán regularidades (atractores, geometría efectiva, puertas) y se medirán acoplos.

---

2) Coarse-graining: escala (n), estados (ϕ_n), métricas (d_n), tolerancias (δ_n)

Resolución temporal: $(n =)$ 1 hora.

2.1 Estado por dominio (features)

Se define un vector de estado por dominio a esa escala:

- Dominio técnico:
  $[\phi_{1,n}^{\text{red}} = []$
- Dominio climático:
  $[\phi_{2,n}^{\text{clima}} = [T, HR, \text{radiación}, \text{viento}]]$
- Dominio humano:
  $[\phi_{3,n}^{\text{hum}} = \text{distribuciones de demanda por segmento / hora}]$
- Dominio económico-regulatorio:
  $[\phi_{4,n}^{\text{econ}} = [\text{precio}, \text{señales}, \text{topes}, \text{penalizaciones}]]$
- Dominio social-institucional:
  $[\phi_{5,n}^{\text{soc}} = [\text{alertas}, \text{cumplimiento}, \text{coordinación}, \text{participación DR}]]$

2.2 Métricas (pre-registradas)

- Para la red: distancia Mahalanobis normalizada en $(\phi_{1,n})$
- Para clima: euclídea en $(\phi_{2,n})$
- Para humano: divergencia KL entre demanda esperada vs observada
- Para social/econ: combinación ponderada (o Mahalanobis si hay covarianzas)

2.3 Umbral (\delta_n) y coste (\epsilon_n)

- (δ_n): percentil 95 de variación bajo condiciones no-$(\mathcal{R})$ (o rango predefinido $(\pm 20$ para tests de robustez).
- (ϵ_n): normalización de coste (por ejemplo $(\epsilon_n = 1)$ o $(\epsilon_n = 1/N_n)$ si se agregan (N_n) grados efectivos).

---

3) Objeto central bajo $(\mathcal{R})$: $(p_n(\psi \mid \mathcal{R}))$ y paisaje $(F_n^{\mathcal{R}})$

Para cada estado candidato (ψ) (en el espacio de estados coarse-grained), se estima:

$[p_n(\psi \mid \mathcal{R}) = \mathbb{P}\big(d_n(\phi_n, \psi) \leq \delta_n \ \big|\ \mathcal{R}\big)]$

y se define el coste condicionado:

$[F_n^{\mathcal{R}}[\psi] = -\epsilon_n \log p_n(\psi \mid \mathcal{R})]$

Lectura operacional: mínimos locales de $(F_n^{\mathcal{R}})$ (máximos de (p_n)) son candidatos a **clases metastables**.

---

4) Identificación de clases (A_k): procedimiento $(\mathcal{D})$ (candado anti-elasticidad)

Se pre-registra un procedimiento de particionado $(\mathcal{D})$ para obtener cuencas (A_k). Ejemplos válidos:

- **Watershed** sobre una rejilla en (ϕ_n) (o sobre $(F_n^{\mathcal{R}})$)
- **Mean-shift** sobre densidad
- **MSM / clustering** basado en tasas de transición

Resultado ilustrativo bajo $(\mathcal{R})$: emergen 3 clases (A_k).

Clase	$(p_k = \mathbb{P}(A_k \mid \mathcal{R}))$	**Descripción operacional**	$(F_n^{\mathcal{R}})(norm.)$
(A_1)	0.62	**Régimen forzado estable**: térmica ~95%, importaciones al límite, voltajes cerca del mínimo operativo, frecuencia cerca de (f_0) con deriva pequeña	1.0
(A_2)	0.28	**Estrés con derrames**: cortes rotativos programados, solar degradada (p. ej. polvo/haze), demanda residencial +40%, oscilaciones de frecuencia/voltaje más amplias	1.8
(A_3)	0.10	**Adaptativo coordinado**: respuesta de demanda activa, precios dinámicos, coordinación de recursos distribuidos, frecuencia estable	2.3

(Aquí (f_0) es la frecuencia nominal del sistema: 50 o 60 Hz.)

---

5) Metastabilidad (criterio temporal duro)

Se mide, para cada (A_k), el tiempo interno de relajación y el tiempo de salida:

- $(\tau_{\text{relax}}(A_k))$: tiempo típico para caer al "centro operativo" de la clase desde perturbaciones dentro de la cuenca
- $(\tau_{\text{exit}}(A_k))$: tiempo hasta abandonar la clase (primera salida)

Resultados ilustrativos:

Clase	(τ_{relax})	$(\mathbb{E}[\tau_{\text{exit}}])$	$(\mathbb{P}(\tau_{\text{exit}} > 12h))$
(A_1)	(2.1\pm0.3) h	(18.7\pm2.4) h	0.83
(A_2)	(1.5\pm0.4) h	(8.2\pm1.7) h	0.61
(A_3)	(3.2\pm0.5) h	(14.3\pm2.1) h	0.72

Criterio: $(\tau_{\text{relax}} \ll \mathbb{E}[\tau_{\text{exit}}])$ en las clases detectadas.

---

6) Dominancia y "flecha temporal operacional"

Medidas:
$[D_H = \dfrac{p_1}{p_2} = \dfrac{0.62}{0.28} = 2.21, \qquad \Delta = p_1 - p_2 = 0.34]$

Interpretación operativa:

- Hay un régimen dominante (A_1), pero (A_2) tiene masa suficiente como para ser un "modo alternativo real" bajo $(\mathcal{R})$.
- La "flecha" aquí se define por **anclas temporales**: alta probabilidad de persistencia en (A_1) por > 12h.

Transiciones características (reglas de disparo, pre-registrables):

- $(A_1 \to A_2)$: sobrecarga sostenida (p.ej. carga > 98% durante 3h) + fallo de línea/subestación crítica
- $(A_2 \to A_3)$: activación efectiva de protocolos de emergencia (DR + coordinación DER)
- $(A_3 \to A_1)$: mejora climática o recuperación de márgenes (demanda baja / reinserción de capacidad)

7) Dependencia multi-dominio bajo $(\mathcal{R})$

Se cuantifica el acoplo con información mutua condicional:

$[I(\phi_{\text{clima}}; \phi_{\text{red}} \mid \mathcal{R}) = 0.73 \quad (\text{vs } 0.21 \text{ fuera de } \mathcal{R})]$
$[I(\phi_{\text{soc}}; \phi_{\text{red}} \mid \mathcal{R}) = 0.52 \quad (\text{vs } 0.08 \text{ fuera de } \mathcal{R})]$

Lectura:

- Bajo estrés térmico sostenido, clima y coordinación social se vuelven **predictivos** del estado técnico (no por "esencia", sino por dependencia medible).

---

8) Ablaciones asesinas (candados de causalidad espuria)

Ablación 1: romper el acoplo clima → demanda (manteniendo marginales)

- Se re-muestrea demanda para que no dependa de (T), preservando su distribución marginal.
- Resultado: (D_H) cae de 2.21 a 1.07 (dominancia desaparece).
- Conclusión: el canal clima → demanda es esencial para la estructura bajo $(\mathcal{R})$.

Ablación 2: aplanar $(F_n^{\mathcal{R}})$

- Se reemplaza $(p_n(\psi \mid \mathcal{R}))$ por una distribución uniforme (condicionada).
- Resultado: se pierden cuencas persistentes; $(\mathbb{E}[\tau_{\text{exit}}] \approx 3h)$ para todo.
- Conclusión: sin paisaje estructurado no hay metastabilidad.

Ablación 3: romper feedback social-institucional

- Se desactiva alertas/coord./cumplimiento, manteniendo clima y capacidad técnica.
- Resultado: (p_3) baja 0.10 → 0.02; (p_2) sube 0.28 → 0.45.
- Conclusión: la coordinación social suprime el régimen de cortes.

---

9) Puerta: nuevo grado de libertad efectivo bajo (\mathcal R)

Candidato: **Coordinación descentralizada de DER** como variable efectiva.

Evidencia operacional:

- Añadir "índice de coordinación DER" mejora predicción **fuera de muestra** 23%.
- Robustez: válido en 8/10 particiones temporales.

Criterio penalizado (pre-registrado):
$[\Delta = \mathcal{L}_{\text{out}}(M_0) - \mathcal{L}_{\text{out}}(M_1) - \lambda \Delta K]$
con $(\Delta K = 3)$ y $(\lambda = 0.05)$ (ejemplo fijado ex ante).
Si $(\Delta > 0)$ de forma robusta → se acepta "puerta".

Interpretación:

- Bajo $(\mathcal{R})$, la coordinación DER pasa de irrelevante a estructurante: emerge un dominio operativo efectivo.

---

10) Geometría hiperbólica efectiva del espacio de estados (bajo (\mathcal R))

Se construye el **grafo de accesibilidad** (G):

- nodos: clases (o microestados coarse-grained)
- aristas: transiciones observadas con probabilidad no despreciable

Definición de distancia (r) (candado):
(r) = número mínimo de transiciones (pasos) en (G) entre estados (o, alternativamente, distancia por coste acumulado; pero se declara cuál).

Resultados ilustrativos:

- Crecimiento de vecindades:
  $[|B(r)| \sim e^{0.42r} \quad (R^2 = 0.94)]$
- Tree-likeness:
  $[\delta\text{-hiperbolicidad de Gromov} = 0.31 \quad (\text{umbral práctico: } < 0.5)]$
- Ramificación efectiva: cada fallo abre ~2.7 rutas de cascada.

Lectura:

- Bajo $(\mathcal{R})$, el espacio de estados se ramifica jerárquicamente (estructura tipo árbol) → cascadas y rutas múltiples aparecen de forma natural.

---

11) Predicciones falsables (bajo $(\mathcal{R})$)

Predicción 1: transición (A_1\to A_2)
Si:

- $(T > 40°C)$ por > 6h
- (HR<25%)
  entonces:
- (p_2) sube 0.28→~0.52
- $(\mathbb{E}[\tau_{\text{exit}}(A_1)])$ cae ~19h→~7h

Predicción 2: intervención (DR +15%)

- (p_3) sube 0.10→0.22
- (D_H) baja 2.21→1.65
- $(\mathbb{E}[\tau_{\text{exit}}(A_2)])$ sube 8.2h→12.5h

Predicción 3: colas pesadas en duración de cortes
Bajo $(\mathcal{R})$, duración de cortes:
$[\mathbb{P}(\text{duración} > t) \sim t^{-1.8}]$
Con coordinación DER:
$[\alpha : 1.8 \to 2.3 \quad (\text{cola menos pesada})]$

12) Robustez (tests estándar)

1. $(\delta_n \pm 20$ → $(|\Delta p_k| < 0.03)$
2. Ventanas 48/72/96h → estructura estable
3. Bootstrap → IC95%:

- $(p_1 : [0.59, 0.65])$, $(p_2 : [0.25, 0.31])$, $(p_3 : [0.08, 0.12])$

4. Submuestreo 70% → error < 5%

---

13) Implicaciones operacionales (sin narrativa extra)

- **Umbrales**: transiciones abruptas alrededor de $(T \approx 40°C)$ + persistencia
- **Ventana de intervención**: horas 12–36 del episodio $(\mathcal{R})$ maximizan probabilidad de mover masa hacia (A_3)
- **Apalancamiento**: el canal social→técnico se cuantifica como un “peso” $(w_{\mathrm{soc}\to\mathrm{red}})$ (estimable por regresión/causalidad operacional), con desplazamientos medibles del centro de (A_1) y reducción de (p_2)
