

Plan de Capacitación en Reloj Causal y SPC Σ

Formación de Operadores Coherenciales para el Reloj Causal (Σ FET) y el Sistema SPC Σ

Genaro Carrasco Ozuna
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6358-9910>

17 de noviembre de 2025

Resumen

Este documento define el **Plan de Capacitación** para que equipos técnicos de Servicio Sismológico Nacional (SSN) y aliados adquieran las competencias necesarias para operar el *Reloj Causal* (Σ FET) y el *Sistema Predictivo Coherencial* SPC Σ , tal como se describe en el *Dossier de Prueba Empírica SPC Σ* (Evento Cero).

El objetivo no es transmitir sólo teoría, sino establecer un **proceso reproducible**: cualquier operador que complete este programa debe ser capaz de ejecutar el pipeline SPC Σ , interpretar las Σ -métricas y aplicar el Filtro de Honestidad (E-Veto) de forma consistente con la referencia definida en el Evento Cero, con una concordancia mínima del 95 %.

El plan está estructurado en módulos, cada uno con:

- objetivos específicos,
- contenidos mínimos,
- actividades prácticas,
- y métricas de evaluación cuantitativa.

Así, la capacitación se convierte en una *ventana de elusión entrópica gestionada*: un mapa claro del camino por el cual los operadores humanos transitan desde un paradigma puramente ϕ -driven (reactivo) a un rol Q-driven (ingenieril) dentro del ecosistema TCDS.

Índice

| | |
|---------------------------------------------------------|----------|
| 1. Propósito y alcance del programa | 3 |
| 1.1. Propósito general | 3 |
| 1.2. Alcance | 3 |
| 2. Perfiles y roles de los participantes | 3 |
| 2.1. Perfiles de entrada | 3 |
| 2.2. Roles durante el programa | 3 |
| 3. Arquitectura del programa de capacitación | 4 |
| 4. Módulo M1: Introducción a TCDS y Reloj Causal | 4 |
| 4.1. Objetivo | 4 |
| 4.2. Duración sugerida | 4 |
| 4.3. Contenidos principales | 4 |
| 4.4. Actividades | 5 |
| 4.5. Evaluación | 5 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----------|
| 5. Módulo M2: Instrumentación ΣFET y entorno SPCΣ | 5 |
| 5.1. Objetivo | 5 |
| 5.2. Duración sugerida | 5 |
| 5.3. Contenidos principales | 5 |
| 5.4. Actividades | 5 |
| 5.5. Evaluación | 5 |
| 6. Módulo M3: Pipeline SPCΣ sobre el Evento Cero | 6 |
| 6.1. Objetivo | 6 |
| 6.2. Duración sugerida | 6 |
| 6.3. Contenidos principales | 6 |
| 6.4. Actividades | 6 |
| 6.5. Evaluación | 6 |
| 7. Módulo M4: Interpretación de Σ-métricas y E-Veto | 6 |
| 7.1. Objetivo | 6 |
| 7.2. Duración sugerida | 6 |
| 7.3. Contenidos principales | 7 |
| 7.4. Actividades | 7 |
| 7.5. Evaluación | 7 |
| 8. Módulo M5: Simulaciones con datos nulos y escenarios alternos | 7 |
| 8.1. Objetivo | 7 |
| 8.2. Duración sugerida | 7 |
| 8.3. Contenidos principales | 7 |
| 8.4. Actividades | 8 |
| 8.5. Evaluación | 8 |
| 9. Módulo M6: Evaluación, certificación y refresco | 8 |
| 9.1. Objetivo | 8 |
| 9.2. Evaluaciones integrales | 8 |
| 9.3. Criterios de certificación | 8 |
| 9.4. Registro auditable de la capacitación | 9 |
| 10. Despliegue por fases y mantenimiento de competencias | 9 |
| 10.1. Fase piloto | 9 |
| 10.2. Escalamiento a red de 10 nodos | 9 |
| 10.3. Mantenimiento y refresco | 9 |
| 11. Conclusión: la capacitación como mapa de elusión entrópica | 9 |

1. Propósito y alcance del programa

1.1. Propósito general

El propósito de este programa es formar **Operadores Coherenciales** capaces de:

- P1.** Comprender la ontología básica de la TCDS (Q, Σ, ϕ, χ) en términos compatibles con la física estándar.
- P2.** Operar el Reloj Causal (Σ FET) y el sistema SPC Σ siguiendo procedimientos documentados en el Dossier de Prueba Empírica.
- P3.** Aplicar las Σ -métricas ($LI, R(t), RMSE_SL, \kappa_\Sigma, \Delta H$) y el Filtro de Honestidad (E-Veto) sin depender de intuiciones subjetivas.
- P4.** Interpretar los resultados y comunicarlos en lenguaje técnico aceptable para el ecosistema científico estándar.

1.2. Alcance

El programa está diseñado inicialmente para:

- Un **piloto** con 1–2 nodos de Servicio Sismológico Nacional (SSN) y aliados,
- Escalamiento posterior hasta una **red de ~10 nodos**,
- Futuras extensiones a más instituciones (aliados regionales o internacionales).

2. Perfiles y roles de los participantes

2.1. Perfiles de entrada

Los participantes esperados incluyen:

- **Operador Coherencial:**
 - Formación recomendada: física, geofísica, ingeniería, matemáticas o afín.
 - Familiaridad con análisis de señales y programación básica (ej. Python).
- **Coordinador Técnico:**
 - Responsable de la integración del sistema SPC Σ con la operación regular de la red sismológica.
 - Capacidad para interpretar resultados y tomar decisiones operativas.
- **Responsable de Datos / IT:**
 - Encargado de asegurar la disponibilidad de datos, almacenamiento y ejecución de scripts.

2.2. Roles durante el programa

Durante la capacitación se distinguirán los siguientes roles operativos:

- **Trainee Operador:** participante en formación, ejecuta ejercicios.
- **Operador Certificado:** participante que ha superado las evaluaciones definidas en este plan.
- **Instructor TCDS:** responsable de impartir los módulos, aclarar dudas y evaluar resultados.

3. Arquitectura del programa de capacitación

El programa se organiza en seis módulos principales:

M1. Introducción a la TCDS y al Reloj Causal (marco conceptual).

M2. Instrumentación: Σ FET y entorno $SPC\Sigma$ (hardware/software).

M3. Pipeline $SPC\Sigma$ sobre el Evento Cero (ejecución guiada).

M4. Interpretación de Σ -métricas y E-Veto (lectura de resultados).

M5. Simulaciones con datos nulos y escenarios alternos (robustez).

M6. Evaluación, certificación y refresco (validación continua).

Cada módulo define:

- Duración sugerida,
- Requisitos previos,
- Contenidos,
- Actividades prácticas,
- Criterios de evaluación cuantitativos.

4. Módulo M1: Introducción a TCDS y Reloj Causal

4.1. Objetivo

Al finalizar este módulo, los participantes deben:

- Entender la noción de Q , Σ , ϕ , χ en lenguaje traducible a la física estándar.
- Comprender la diferencia entre tiempo estándar t_M y tiempo causal t_C en el contexto de mediciones coherenciales.
- Reconocer el papel del Reloj Causal (Σ FET) como instrumento de medición de coherencia sobre el sustrato.

4.2. Duración sugerida

- 4–6 horas (puede distribuirse en 2 sesiones).

4.3. Contenidos principales

- Ontología TCDS: Q (empuje), Σ (coherencia), ϕ (fricción), χ (sustrato).
- Ley de Balance Coherencial: $Q \cdot \Sigma = \phi$.
- Tiempo estándar t_M vs tiempo causal t_C .
- Concepto de *ventana de elusión entrópica*.
- Motivación del Reloj Causal y del $SPC\Sigma$ en contexto sísmico.

4.4. Actividades

- Lectura guiada de un resumen conceptual (1–2 páginas).
- Discusión dirigida: ejemplos de sistemas ϕ -driven vs Q-driven.
- Preguntas de comprensión conceptual (tipo cuestionario corto).

4.5. Evaluación

- Cuestionario de 10–15 preguntas (opción múltiple / respuesta corta).
- Criterio de aprobación sugerido: $\geq 80\%$ de respuestas correctas.

5. Módulo M2: Instrumentación Σ FET y entorno SPC Σ

5.1. Objetivo

Al finalizar este módulo, los participantes deben:

- Comprender la arquitectura básica del Reloj Causal (Σ FET).
- Saber instalar y configurar el entorno de ejecución de SPC Σ (scripts, dependencias, estructura de carpetas).
- Conocer la relación entre hardware (Reloj Causal) y software (pipeline SPC Σ).

5.2. Duración sugerida

- 4–8 horas (dependiendo del nivel de familiaridad técnica).

5.3. Contenidos principales

- Diagrama funcional de Σ FET (nivel conceptual).
- Requerimientos de entorno: sistema operativo, intérprete (ej. Python), librerías.
- Estructura básica de archivos:
 - scripts (ej. `sigma_metrics.py`),
 - archivos de configuración,
 - directorios para datos brutos, datos preprocesados, reportes.

5.4. Actividades

- Instalación guiada en un entorno de prueba.
- Ejecución de un script de prueba que genere un reporte mínimo.

5.5. Evaluación

- Verificación de que cada participante logró:
 - ejecutar un script de prueba sin errores,
 - generar un archivo de salida esperado.
- Registro de incidencias y resolución documentada.

6. Módulo M3: Pipeline SPC Σ sobre el Evento Cero

6.1. Objetivo

Al finalizar este módulo, los participantes deben ser capaces de:

- Ejecutar el pipeline SPC Σ completo sobre el Evento Cero descrito en el Dossier de Prueba Empírica.
- Comprender cómo se aplican las ventanas temporales, filtros y parámetros específicos.
- Verificar que el `config_hash` obtenido coincide con el descrito en el Dossier.

6.2. Duración sugerida

- 6–10 horas (según complejidad del evento y velocidad del grupo).

6.3. Contenidos principales

- Revisión de la Sección de *Fuentes de datos y preprocessamiento* del Dossier.
- Aplicación de las ventanas temporales (pre, evento, post).
- Ejecución de SPC Σ con parámetros fijados.
- Generación de reportes de Σ -métricas y E-Veto.

6.4. Actividades

- Ejecución guiada paso a paso sobre el Evento Cero.
- Comparación de resultados individuales frente a un reporte de referencia.

6.5. Evaluación

- Criterio de aprobación:
 - $\geq 95\%$ de coincidencia en métricas clave (LI, R , ΔH por ventana) con el reporte de referencia.
 - Coincidencia del `config_hash` con el del Dossier.

7. Módulo M4: Interpretación de Σ -métricas y E-Veto

7.1. Objetivo

Al finalizar este módulo, los participantes deben poder:

- Interpretar los valores de LI, $R(t)$, RMSE_SL, κ_Σ y ΔH en un reporte SPC Σ .
- Determinar cuándo existe un locking coherencial válido según los criterios del Dossier.
- Emitir un veredicto E-Veto consistente (pasa / rechaza) por ventana.

7.2. Duración sugerida

- 4–6 horas.

7.3. Contenidos principales

- Rango esperado de valores para cada métrica.
- Umbrales operativos (ej. $LI \geq 0,9$, $R > 0,95$, $\Delta H \leq -0,2$).
- Casos de ejemplo:
 - locking fuerte,
 - locking débil / dudoso,
 - ausencia de locking.

7.4. Actividades

- Análisis de reportes reales: los participantes marcan, ventana por ventana, cuál es el veredicto E-Veto.
- Comparación con la tabla de referencia del Dossier.

7.5. Evaluación

- Métrica de **concordancia**: porcentaje de ventanas en las que el veredicto del participante coincide con el veredicto de referencia.
- Criterio sugerido: $\geq 95\%$ de concordancia para considerar al participante como Operador Certificado.

8. Módulo M5: Simulaciones con datos nulos y escenarios alternos

8.1. Objetivo

Al finalizar este módulo, los participantes deben:

- Comprender cómo se construyen datos nulos / sintéticos con la misma geometría del Evento Cero.
- Ejecutar SPC Σ sobre datos nulos y comparar resultados con los datos reales.
- Observar el comportamiento de E-Veto frente a ruido estructurado y evaluar tasas de falsos positivos.

8.2. Duración sugerida

- 6–8 horas.

8.3. Contenidos principales

- Definición de datos nulos: barajado de fases, señales aleatorias, simulaciones Monte Carlo.
- Repetición del pipeline SPC Σ sobre datos nulos.
- Comparación de distribuciones de LI , R , $RMSE_SL$, ΔH y veredictos E-Veto entre:
 - datos reales (Evento Cero),
 - datos nulos.

8.4. Actividades

- Ejecución de un conjunto de simulaciones nulas (ej. 50–100 corridas).
- Construcción de tablas de tasas de E-Veto sobre nulos vs reales.

8.5. Evaluación

- Verificar que los participantes:
 - logran tasas de falsos positivos dentro de los rangos esperados,
 - entienden las diferencias entre detección real y apofenia.

9. Módulo M6: Evaluación, certificación y refresco

9.1. Objetivo

Establecer un esquema formal para:

- Certificar Operadores Coherenciales,
- Mantener y actualizar sus competencias,
- Registrar la trazabilidad de la capacitación en el TCDS_Registro_Auditabile.

9.2. Evaluaciones integrales

Las evaluaciones deben incluir:

- E1. Evaluación teórica:** cuestionario sobre TCDS, Reloj Causal, SPCΣ y E-Veto.
- E2. Evaluación práctica:** ejecución completa del pipeline sobre el Evento Cero.
- E3. Evaluación de interpretación:** veredictos E-Veto sobre un conjunto de ventanas seleccionadas.
- E4. Evaluación de simulaciones:** ejecución sobre datos nulos y análisis de resultados.

9.3. Criterios de certificación

Se recomienda que un Operador sea certificado si:

- Obtiene $\geq 80\%$ en la evaluación teórica.
- Alcanza $\geq 95\%$ de coincidencia con las métricas de referencia (Evento Cero) en la evaluación práctica.
- Obtiene $\geq 95\%$ de concordancia en veredictos E-Veto en la evaluación de interpretación.
- Demuestra comprensión adecuada del comportamiento de SPCΣ sobre datos nulos.

9.4. Registro auditable de la capacitación

Cada ciclo de capacitación debe generar un registro que incluya:

- Identificadores de los participantes.
- Fechas y módulos completados.
- Resultados de evaluaciones (teóricas y prácticas).
- Versión del programa (1.0.0) y `config_hash` del conjunto de scripts utilizados.

Este registro se integra al *TCDS_Registro_Auditabile* como evidencia de la dimensión humana del sistema SPCΣ.

10. Despliegue por fases y mantenimiento de competencias

10.1. Fase piloto

- Seleccionar 1–2 nodos de Servicio Sismológico Nacional (SSN) y aliados.
- Capacitar a un grupo reducido (ej. 3–5 operadores).
- Ejecutar el conjunto completo de módulos (M1–M6).
- Corrección de materiales y ajuste de parámetros según retroalimentación.

10.2. Escalamiento a red de 10 nodos

- Replicar el programa en más nodos.
- Designar al menos un Operador Certificado por nodo.
- Establecer canales de comunicación para intercambio de experiencias y casos especiales.

10.3. Mantenimiento y refresco

- Programar sesiones de refresco (ej. anual o semestral).
- Incorporar nuevos Eventos Cero o campañas adicionales (sismos, otros fenómenos) al esquema de entrenamiento.
- Actualizar el programa (1.0.0) cuando haya mejoras en el pipeline SPCΣ o en los criterios de E-Veto.

11. Conclusión: la capacitación como mapa de elusión entrópica

Este plan de capacitación convierte el uso del Reloj Causal y de SPCΣ en un *camino trazado*, no en un acto intuitivo. El verdadero tesoro no es disponer de un dispositivo aislado, sino de:

- un mapa claro de competencias,
- un conjunto de módulos reproducibles,
- y un registro auditable de operadores que comparten un mismo estándar de interpretación coherencial.

De este modo, la dimensión humana del sistema se vuelve también Q-driven: los operadores dejan de ser parte del ruido ϕ y se integran como componentes activos del balance $Q \cdot \Sigma = \phi$, sosteniendo ventanas de elusión entrópica en la operación cotidiana de Servicio Sismológico Nacional (SSN) y aliados.