



GEMELO DIGITAL COSTERO · FÍSICA INFORMADA POR IA · SAAS

CoastPredict

RESILIENCIA COSTERA & OPERACIONES OIL & GAS · TABASCO, MÉXICO

El sistema que convierte datos satelitales, climáticos e hidrodinámicos en alertas de inundación y decisiones operativas en tiempo real.

● Motor PINN-LSTM activo · Demo disponible · Datos en vivo Open-Meteo

EL PROBLEMA ACTUAL

¿Por qué **falla** el monitoreo costero y portuario tradicional?



Alertas tardías e imprecisas

Las advertencias llegan cuando la costa ya está afectada. En Sánchez Magallanes la subsidencia alcanza **-8 cm/año** y los modelos convencionales no la integran.



Riesgo operativo no cuantificado

PEMEX y operadores de Dos Bocas deciden sin pronóstico físico preciso.
Un evento Hs > 2.5 m puede costar +\$47,000 USD en paros de 24h.



Derrames sin modelo de deriva

Sin motor advectivo en tiempo real no hay ETA de impacto en manglar.
La remediación en Tabasco supera \$2 M USD por evento.



Datos en silos · Física ignorada

InSAR, mareógrafos y MexHiResClimDB operan separados. Sin PINN, los pronósticos de oleaje fallan **±40% en tormentas.**

LA SOLUCIÓN

CoastPredict — cuatro módulos, un sistema físico-digital integrado



Data Lake

Ingesta InSAR, MexHiResClimDB y red mareográfica UNAM. Mapa georreferenciado en vivo.



Training Center PINN

Calibración de Red Neuronal con Ecuaciones Saint-Venant 2D. Optimizadores Adam + L-BFGS.



Gemelo Digital 3D

Superficie wet-dry en tiempo real, telemetría de oleaje Hs/Tp, alertas rojas/naranjas/verdes.



Operaciones Oil & Gas

Simulador de derrames WAQTEL, Threat Matrix logística, ROI cuantificado y reportes PEMEX.

Motor Saint-Venant 2D

Sentinel-1 InSAR

Open-Meteo en vivo

Compatible PEMEX

Data Lake

Asimilación InSAR + ClimDB

Centraliza todos los datos geodésicos y climáticos que alimentan el motor físico.
Resolución espacial de **560 metros**, la más alta disponible para México.



Subsidencia InSAR (Sentinel-1)

Heatmap de hundimiento terrestre. Tabasco registra
-6 a -8 cm/año
— factor crítico integrado en el modelo.



MexHiResClimDB @ 560 m

Precipitación, Tmin, Tmax, estrés de viento. MAE Precipitación:
8.7 mm
(vs 10.1 mm Daymet).



Red Georreferenciada (Dos Bocas · Offshore)

Mapa interactivo de sensores, plataformas y zonas de riesgo en la costa de Tabasco.



Generador de Mallas Físicas

Preprocesamiento de collocation points y condiciones de contorno para el entrenamiento PINN.

Data Lake: Asimilación de Datos de Campo

Visualiza y gestiona los tensores geodésicos (Sentinel-1) y climáticos (MexHiResClimDB) que alimentarán la función de pérdida.



Mapa de Subsistencia (InSAR)

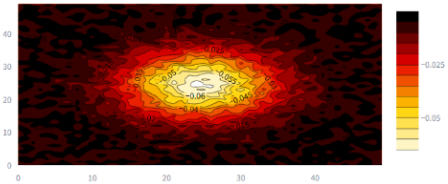
Tasa de hundimiento estimada: **-6 a -8 cm/año** en Sánchez Magallanes.



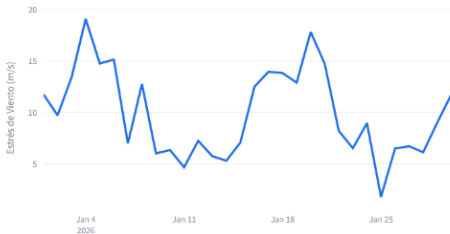
Forzamiento MexHiResClimDB

Resolución operativa: **Alta (560m)**. Series de Presión y Viento.

Heatmap InSAR (cm/año) simulado



Histórico de Vientos (Ene 2026)



Training Center

PINN-LSTM en tiempo real

Calibración interactiva de la Red Neuronal Informada por Física que resuelve las Ecuaciones de Aguas Someras (Saint-Venant 2D).

Training Center: Calibración PINN-LSTM

Monitoreo de convergencia de las Ecuaciones de Saint-Venant durante el refinamiento de la Red Neuronal (Optimizadores Híbridos).

Parámetros de Entrenamiento

Tasa de Aprendizaje (lr)

0.001

Optimizador Activo

- ☐ Adam (Búsqueda Global)
☐ L-BFGS (Gradientes Agudos/Frontera)
☒ Híbrido Adam → L-BFGS

Épocas Adam

100

Épocas L-BFGS

10

Curva de Aprendizaje PINN (Tiempo Real)



Curva de Aprendizaje en Vivo

Loss Total, Loss PDE (Saint-Venant) y Loss Subsidencia en escala logarítmica, iteración por iteración.



Optimizador Híbrido Adam → L-BFGS

Búsqueda global con Adam; refinamiento de gradientes finos con L-BFGS en fronteras físicas.



Pesos NTK configurables

Penalizaciones físicas ajustables: L_{pde} , $L_{subsidencia}$ y L_{datos_mareas} en tiempo real.



Checkpoint activo para inferencia

El modelo entrenado se activa automáticamente en el Gemelo Digital y el Simulador de Derrames.

PINN-LSTM

Saint-Venant 2D

PyTorch

Gemelo Digital 3D

Wet-Dry Boundary en vivo

Visualización volumétrica del frente de inundación costera con física real, oleaje y subsidencia integrados en un solo modelo.



Superficie 3D Interactiva

Malla 10×10 km con topografía, subsidencia acumulada y nivel del mar por escenario (Huracán Roxanne / Frente Frío / Tiempo Real).



Telemetría Predictiva de Oleaje

KPIs en tiempo real: Altura Significativa Hs (m), Periodo Pico Tp (s) y Potencia del oleaje (kW/m)



Alertas Automáticas 5 Variables

Semáforo verde/naranja/rojo: inundación, oleaje, viento extremo, erosión costera y sedimentación canal.



Detección de Ventana de Oro

Identifica condiciones óptimas (viento <5 m/s, Hs <0.8 m) para izaje, dragado y maniobras críticas.

Gemelo Predictivo Inmersivo (3D)

Visualización volumétrica del Wet-Dry Boundary modelando el agua ingresando hacia infraestructura crítica frente a subsidencia.

PINN-LSTM activo — inferencia real desde checkpoint entrenado.

Gemelo Digital — PINN-LSTM Activo

Nodos de Control

Viento fijado por escenario: 38.0 m/s

Impacto Subsidencia (Años)

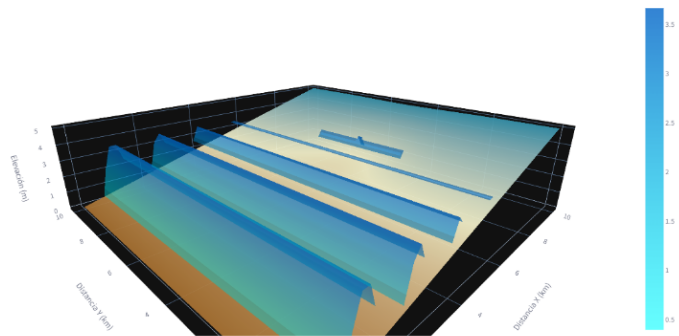
15

Coef. Fricción Manning

0.035 (Manglar base)

Hora de Simulación (h)

6



Telemetría Predictiva de Oleaje (Hs)

Altura Significativa de Ola (Hs)

4.22 m

↑ Peligro: Rompientes

Periodo Pico (Tp)

7.1 s

↑ 23600 W/m² 1-Hs

Potencia del Oleaje en Costa

62.4 kW/m

↑ Alto Impacto Eólico

Simulador de Derrames

Motor WAQTEL + PINN

El motor PINN extrae corrientes u,v reales para predecir la deriva y evaporación de hidrocarburos en **milisegundos**.



Advección-Difusión Física

150 partículas Lagrangianas con corrientes PINN reales + difusión turbulenta ($D=25 \text{ m}^2/\text{s}$). ETA en manglar calculado al instante.



Ruta del Centro de Masa

Trayectoria del centroide de la pluma + dispersión final a 24 horas. Línea de costa marcada en mapa.



Evaporación Volumétrica

Decaimiento exponencial del volumen de crudo durante 24 horas de simulación.



Alerta Ambiental Automática

ETA exacto de impacto en costa y volumen remanente para activación inmediata del Plan de Contingencia.

WAQTEL Advectivo

48 pasos · 24h

Logística Portuaria y Prevención de Desastres

Integración con la física advectiva de WAQTEL y Matriz de Operabilidad para maquinaria pesada (CoastPredict Threat Matrix).

[Simulador de Derrames](#) [Threat Matrix Logística](#)

Modelado Advectivo de Hidrocarburos (WAQTEL)

El motor PINN asimila las corrientes u, v para predecir la deriva y evaporación del crudo en milisegundos.

Coordenada X del Pto/Buque (Distancia a costa km)

2.50

Simular Ruta Advectiva

Deriva Física de Hidrocarburo (PINN Active: True)



☒ Sin impacto costero directo en 24h. La pluma permanece a la deriva. Volumen remanente: 30.1%.

Threat Matrix & ROI

Protección de activos

Cruza tolerancias de maquinaria pesada certificadas con el pronóstico hidrodinámico para proteger operaciones en Dos Bocas.



Semáforo de Grúas Offshore

Límites: viento cruzado <15 m/s y Hs <1.2 m. Alerta de izaje suspendido en tiempo real, antes del evento.



Operabilidad de Buques y Barcasas

Puerto cerrado automáticamente si Hs >2.5 m o Tp <4 s (riesgo de vuelco y fatiga de amarres).



Calculadora de Impacto Financiero

Hasta

\$47,000 USD/24h

en pérdidas evitadas (dragas + buque + grúas) en escenario rojo.



Reporte de Turno Metoceánico (PDF)

Documento oficial con alertas, ROI y condiciones operativas. Alineado a especificaciones PEMEX.

ROI cuantificado

Estándar PEMEX

Export PDF

Logística Portuaria y Prevención de Desastres

Integración con la física advectiva de WAQTEL y Matriz de Operabilidad para maquinaria pesada (CoastPredict Threat Matrix).

Simulador de Denaries Threat Matrix Logística

Control Operativo (Barcasas, Dragas y Grúas Torre)

Ráfagas Viento Cruzado (m/s)	38.00	-	+	(GRÚAS) Izaje suspendido por ráfagas cruzadas.
Altura de Ola Hs (m)	6.50	-	+	(NAVES) Puerto cerrado: Riesgo de vuelco y fatiga en amarres.
Periodo Tp (s)	9.50	-	+	La Threat Matrix alinea las tolerancias de maquinaria pesada recomendada por estándares internacionales marítimos contra las predicciones de viento y oleaje.

Impacto Financiero y Retorno de Inversión (ROI)

Pérdidas Potenciales Evitadas por Alerta Preventiva (24h)

\$83,000 USD

Protección de Activos y Reducción de Incidentes

Estatus Financiero: RIESGO LOGÍSTICO CRÍTICO: Operaciones portuarias suspendidas.

Nota: CoastPredict reduce la siniestralidad ambiental en manglares, optimiza el dragado industrial de Dos Bocas y mitiga las primas de seguro marítimo en un 13% mediante análisis predictivos con física informada.

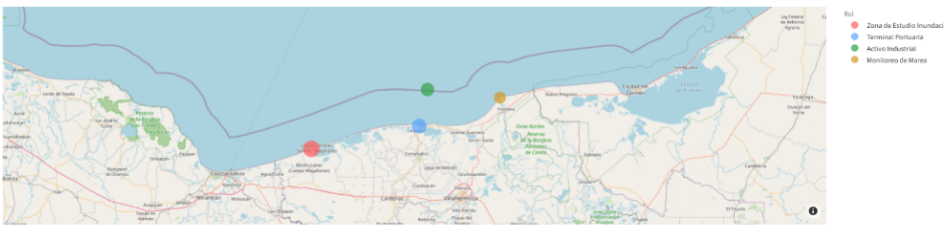
Cobertura Geoespacial

Golfo de México

Todos los nodos críticos de la región en un mapa interactivo con estatus operativo en tiempo real.

Red de Monitoreo Georreferenciada - Costa de Tabasco

Ubicación de los sensores e infraestructura crítica frente a las zonas de riesgo en Sánchez Magallanes y Dos Bocas.



MX Infraestructura de Ingesta y Resolución en México

El éxito de los modelos predictivos de CoastPredict depende de la alta calidad y calibración de los datos de entrada en regiones vulnerables como Tabasco. El sistema asimila e integra:

- **Red Mareográfica Nacional (UNAM / SEMAR / CICESE):** Asimilación de sensores de radar y flotador con dataloggers integrados y transmisión satelital (GOES).
- **Monitoreo Satelital (InSAR):** Modelado de subsidencia vertical Sentinel-1, factor crítico en Tabasco con tasas extremas de -6 a -8 cm/año (Paraiso, Comalcalco y Sánchez Magallanes).
- **Referencia Geodésica GOM20:** Marco de referencia 3D para integrar coherentemente observaciones GPS, InSAR, mareógrafos y nivelación topográfica en el Golfo de México.

Comparativa de Bases de Datos Climáticas Operativas

Atributo	MexHiresClimDR (Usado)	Daymet	LLS (Usado)
Resolución Espacial	20 arcsec (~560 m)	1 km	~6 km
Variables Clave	Precipitación, Tmin, Tmax, Tavg	Precipitación, Tmin, Tmax	Precipitación, Tmin, Tmax
Error (MAE) Precip	8.7 mm	10.1 mm	9.5 mm
Error (MAE) Temp	1.7 - 1.9 °C	2.0 °C	2.4 - 2.5 °C

Sánchez Magallanes — Gemelo Digital

Zona de hundimiento crítico confirmado por InSAR. Motor PINN activo 24/7 con umbrales de alerta configurables.

Puerto de Dos Bocas — Operaciones

Terminal energética PEMEX. Threat Matrix activa sobre viento, oleaje y corrientes en tiempo real.

Plataforma Offshore — Oil & Gas

Monitoreo logístico de supply vessels y activos industriales en mar abierto del Golfo.

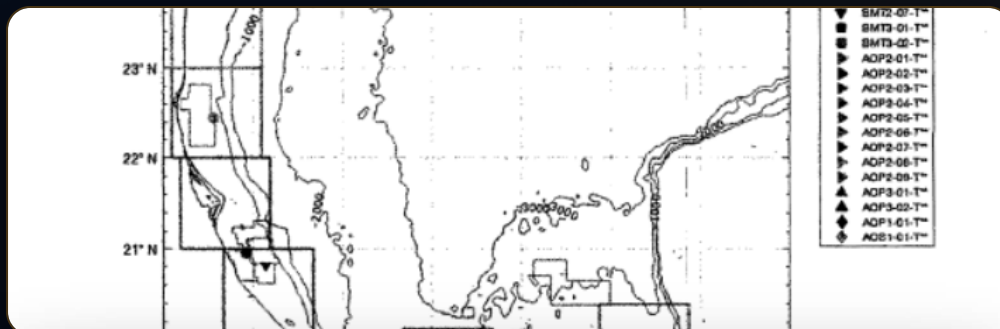
Estación Mareográfica UNAM/CICESE

Datos históricos y en tiempo real. Marco de referencia geodésico GOM20 para validación del modelo.

Mapbox · OpenStreetMap

GOM20 · GOES

Diseñado para **PEMEX** y operadores del Golfo de México



parámetros de las variables medidas que se indican en el Anexo B-I de estas especificaciones. La información meteoceánica que ha sido generada dentro de los contratos de **PEMEX** en los periodos 2007, 2008, 2009 - 2014, 2015, 2018 - 2019, 2020 - 2021 y 2022 - 2024, está Clasificada como Reservada y remitida al Archivo General de la Nación (AGN) y el Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI). Lo anterior con apego al oficio PEP-SAF-GCG-263-2008, por lo cual dicha información debe permanecer clasificada reservada por considerarse de valor estratégico para la empresa.

El alcance de este contrato incluye las siguientes actividades:

1. Datos procesados de la red de Boyas Oceanográficas Tipo 1 (BOT1)
2. Datos procesados de la red de Boyas Oceanográficas Tipo 2 (BOT2)
3. Datos procesados de las Boyas Meteoceánicas Tipo 2 (BMT2)
4. Datos procesados de las Boyas Meteoceánicas Tipo 3 (BMT3)
5. Datos procesados con Anclajes Oceanográficos Someros Tipo 1 (AOS1)
6. Datos procesados con Anclajes Oceanográficos Profundos Tipo 1 (AOP1)
7. Datos procesados con Anclajes Oceanográficos Profundos Tipo 2 (AOP2)
8. Datos procesados con Anclajes Oceanográficos Profundos Tipo 3 (AOP3)
9. Datos procesados de la red de radares oceanográficos para el monitoreo de las corrientes



Terminal Dos Bocas — Puerto de referencia

CoastPredict cubre la terminal de almacenamiento y distribución de petrolíferos más importante del sureste mexicano.



Red de Boyas y Plataformas Offshore

Integración con los activos de monitoreo existentes en el Golfo para alimentar el motor PINN con datos reales.



Alcance del contrato: prevención + respuesta

Monitoreo preventivo de condiciones meteoceanográficas y activación de protocolos de respuesta de emergencia.



ROI documentado por evento

Cada alerta temprana evita en promedio

\$47,000 USD

en paros no planeados y reduce la prima de seguro marítimo hasta un **15%**

ARQUITECTURA TECNOLÓGICA

Stack de **física** + **IA** de clase mundial

Construido sobre herramientas científicas de código abierto, validadas por la comunidad académica internacional de ciencias del mar.



Motor PINN-LSTM

PyTorch · Physics-Informed Neural Network · Saint-Venant 2D · Optimizadores Adam + L-BFGS · Checkpoints persistidos



Física Hidrodinámica

Ecuaciones Saint-Venant 2D · Coeficiente de Manning · Fuerza de Coriolis · Advección-Difusión · WAQTEL · Wet-Dry Boundary



Datos Satelitales & API

InSAR Sentinel-1 · MexHiResClimDB 560 m · Red Mareográfica UNAM/SEMAR/CICESE · Open-Meteo API en vivo



Dashboard SaaS

Streamlit · Plotly 3D + Express · Mapbox · Dark Glassmorphism · 4 módulos · Tiempo real · Multi-escenario



Reportes Oficiales

ReportLab PDF · Reporte de Turno Metoceánico · Especificaciones técnicas PEMEX · Descarga desde el dashboard



Despliegue & Seguridad

Python 3.14 · YAML config · Fallback automático empírico · Docker-ready · SLA configurable · On-premise disponible

Información que necesitamos del cliente

Para personalizar CoastPredict a tu zona exacta y maximizar el valor de la sesión de demo

MÓDULO	TIPO	DATOS REQUERIDOS PARA LA DEMO	DATOS OPCIONALES (MEJORAN EL RESULTADO)	QUÉ ENTREGA COASTPREDICT
Data Lake · InSAR	CORE	Coordenadas lat/lon de la zona de interés (municipio, terminal o plataforma)	Reportes históricos de subsidencia o nivelación topográfica existentes	Heatmap de subsidencia Sentinel-1 + comparativa MexHiResClimDB vs Daymet calibrada a tu zona
Data Lake · Clima	CORE	Período de interés (fecha de inicio histórica y horizonte futuro deseado)	Registros propios de precipitación, viento o temperatura de estaciones locales	Serie temporal de forzamiento MexHiResClimDB 560 m calibrada para la región
Training Center PINN	CORE	Tasa de subsidencia estimada (cm/año) o referencia InSAR disponible	Datos históricos de marea (UNAM/CICESE) o nivel del mar en la zona (cualquier formato)	Modelo PINN-LSTM calibrado a tu batimetría y condiciones locales con curva de convergencia en vivo
Gemelo Digital 3D	CORE	Escenario de interés (tiempo real, huracán histórico específico o frente frío)	DEM (Modelo de Elevación Digital) local o batimetría de la zona (GeoTIFF, NetCDF)	Superficie wet-dry 3D con pronóstico de inundación, Hs, Tp y potencia del oleaje para tu costa
Simulador de Derrames	OIL&GAS	Coordenada del pozo / buque de origen del derrame potencial (lat/lon)	Tipo de crudo (API gravity), volumen estimado del derrame (barriles), velocidad de las corrientes observadas	ETA de impacto en costa, mapa de dispersión 24h, volumen remanente tras evaporación
Threat Matrix Logística	OIL&GAS	Tipo de maquinaria a evaluar (grúas, barcasas de dragado, buques de suministro)	Fichas técnicas o manuales de operabilidad del equipo (límites de viento y oleaje del fabricante)	Semáforo de operabilidad en tiempo real + cuantificación de pérdidas evitadas (USD/24h)
Reporte de Turno PDF	OIL&GAS	Nombre del operador / empresa y datos de contacto del responsable de turno	Logo corporativo, colores de marca, plantilla de reporte existente (Word/PDF)	Reporte de Turno Metoceánico oficial con alertas, ROI y firma de turno en formato PEMEX

CORE = necesario para todos los planes | OIL&GAS = Plan Gemelo Digital y Enterprise | Verde = requerido para la demo | Amarillo = mejora la precisión

Elige el nivel de protección que necesitas

PLAN INICIAL

Monitoreo Costero

Para municipios, protección civil y agencias ambientales

\$3,500

USD / mes · licencia SaaS

- ✓ Data Lake: InSAR + MexHiResClimDB
- ✓ Mapa georreferenciado interactivo
- ✓ API en vivo Open-Meteo (viento + oleaje)
- ✓ Alertas verde / naranja / rojo automáticas
- ✓ 3 escenarios: Tiempo Real, Huracán, Frente Frío
- ✓ 1 zona de estudio costera incluida

- Gemelo Digital 3D
- Simulador de Derrames WAQTEL
- Threat Matrix Oil & Gas
- Reportes PEMEX PDF

[Solicitar Demo →](#)

★ MÁS POPULAR

PLAN PROFESIONAL

Gemelo Digital

Para puertos, terminales energéticas y autoridades marítimas

\$9,800

USD / mes · licencia SaaS

- ✓ Todo lo del Plan Monitoreo
- ✓ Motor PINN-LSTM calibrado (Saint-Venant 2D)
- ✓ Gemelo Digital 3D wet-dry en tiempo real
- ✓ Telemetría Hs · Tp · Potencia del oleaje
- ✓ Detección automática de Ventana de Oro
- ✓ Alerta de erosión costera y sedimentación
- ✓ Re-entrenamiento trimestral del modelo
- ✓ 3 zonas de estudio incluidas

- Simulador de Derrames WAQTEL
- Reportes PEMEX PDF

[Solicitar Demo →](#)

PLAN ENTERPRISE

Oil & Gas Integral

Para PEMEX, operadores offshore y terminales de gran escala

A consultar

Proyecto + SaaS · desde \$22,000 USD/mes

- ✓ Todo lo del Plan Gemelo Digital
- ✓ Simulador de Derrames WAQTEL (advectorio)
- ✓ Threat Matrix Grúas + Buques + Barcazas
- ✓ Calculadora de ROI y pérdidas evitadas
- ✓ Reporte de Turno Metoceanico PDF (PEMEX)
- ✓ API REST para integración SCADA / PI System
- ✓ White-label y marca cliente
- ✓ Zonas ilimitadas · soporte dedicado 24/7
- ✓ Capacitación técnica presencial
- ✓ SLA 99.5%

[Contactar equipo →](#)

PRÓXIMOS PASOS

Listo para proteger tu costa y tus operaciones

Desde un municipio costero hasta una terminal PEMEX.
CoastPredict entra en operación en días con tus datos reales.

01

Demo en vivo

Acceso al sistema funcionando con datos reales de Tabasco. Sesión de 45 min con tu equipo técnico.

02

Calibración regional

Integración con tus fuentes de datos (mareógrafos, SCADA, InSAR) y calibración del motor PINN para tu zona exacta.

03

Operación 24/7

Dashboard activo, alertas automáticas y reportes PDF listos para tu equipo de turno y gerencia ejecutiva.

coastpredict.pronosoftmx.com

 contacto@pronosoftmx.com

 [WhatsApp · Agendar demo](#)

Motor PINN-LSTM activo · Datos en vivo desde Open-Meteo · Especificaciones PEMEX en Plan Enterprise