



PROYECTO DE LEY DEPARTAMENTAL NO. [995/2026]

**LEY DE CAPACIDAD ESTATAL HÍBRIDA Y GOBERNANZA SOCIOTÉCNICA DEL
TERRITORIO CRUCEÑO ANTE LA TRANSICIÓN HACIA LA IA FRONTERIZA**

LA ASAMBLEA LEGISLATIVA DEPARTAMENTAL DE SANTA CRUZ

DECRETA:

EXPOSICIÓN DE MOTIVOS:

El departamento de Santa Cruz enfrenta una crisis estructural de gobernanza territorial. La destrucción sistemática del patrimonio natural causada por incendios forestales de gran escala, la explosión del comercio de tierras y ocupaciones ilegales (avasallamientos), y la obsolescencia técnica del Plan de Uso de Suelo (PLUS) prueban inequívocadamente que la administración actúa ahora con una estrategia que no se adapta al ritmo, complejidad y magnitud territorial. Las brechas en la información, las divisiones funcionales y la necesidad de documentos físicos han establecido una forma ingrata, lo que permite que la degradación ambiental sea irreparable y que se rompa la seguridad jurídica.

Al mismo tiempo, la transición global hacia sistemas de inteligencia artificial general (AGI) de automejora recursiva e hiper-automatización está amenazando las cadenas de valor de los sectores agroindustriales a los que nos vincula nuestra economía principal. La posible implementación de la biología sintética, proteínas texturizadas avanzadas y fermentación precisa amenaza con un cambio en la agricultura extensiva tradicional. En la lucha contra estos shocks macroeconómicos y territoriales, la digitalización simple de la burocracia existe es una irresponsabilidad estratégica.

El Departamento Estatal de Santa Cruz necesita reorganizar su funcionamiento centrífugo adoptando un enfoque de "Gobernanza Socio-Teórica" más completo. Esta ley renuncia a los enfoques administrativos estáticos, también desplaza los conceptos de alineamiento pasivo corporativo, y promueve un marco normativo activo. En este nuevo sistema de gobernanza, agentes múltiples de inteligencia artificial y registros distribuidos inalterables operan con eficacia vinculante, protegidos por mecanismos auditores democráticos, seguridad cibernética sofisticada y controles sociales adecuados. El propósito inevitable consiste en garantizar una gobernabilidad exitosa, financiera viable y competente para sostener la economía y la economía natural del departamento de Santa Cruz en el futuro cercano tras la AGI

CAPÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES Y REDISEÑO INSTITUCIONAL

Artículo 1. Objeto

Se estableció un nuevo modelo organizacional para la gobernanza espacial, económica, jurídica y administrativa del departamento y sus recursos naturales a través de la integración de agentes autónomos de Inteligencia Artificial (IA) y tecnología de registros distribuidos (Blockchain), constituyendo el núcleo de la administración estatal, con el objetivo de renovar y ampliar la capacidad estatal del departamento.

Artículo 2. Finalidad

Garantizar la integridad integral de la región ante los desequilibrios ecosistémicos locales y los shock tecnológicos globales. El cambio institucional propone mantener la legalidad, frenar la tala ilegal, poner fin al comercio de tierras ilícito y planificar la adaptación productiva de la región, asegurando que la implantación de tecnologías de inteligencia artificial se dé siguiendo principios de transparencia auditada y soberanía tecnológica.

Artículo 3. Mandato de Integración Híbrida

Se instruye a la Secretaría de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, a la Secretaría de Desarrollo Económico y a las instancias departamentales pertinentes, el despliegue coordinado de redes neuronales de visión computacional para teledetección, modelos grandes de lenguaje (LLMs) para



el análisis jurídico-administrativo, y protocolos de inmutabilidad criptográfica en todos sus flujos críticos de decisión y monitoreo.

CAPÍTULO II: INFRAESTRUCTURA NORMATIVA DINÁMICA

Artículo 4. Abrogación del Modelo Estático del PLUS

Se rescinda la perspectiva del Plan de Uso del Suelo (Plan PLUS) del Departamento de Santa Cruz, según las versiones anteriores de la Ley 25.537 y el Decreto Supremo 2.41.24, como una herramienta física, cartográfica y no dinámica con una vigencia decenal.

Artículo 5. El Plan de Uso de Suelo Dinámico (PLUS-D)

I. Desde la aprobación de esta ley, el PLUS es considerado jurídicamente como una Infraestructura Normativa Dinámica (PLUS-D).

II. La actualización del PLUS-D continuará y no tendrá ninguna interrupción. Se realizará a través de algoritmos de aprendizaje automático que recopilarán datos en tiempo real provenientes de imágenes satelitales (multiespectrales y radar), variables climáticas extremas, niveles de estrés hídrico y rendimientos en agricultura.

III. Los modelos ajustarán las fronteras espaciales establecidas para la agricultura, la ciudad y áreas de conservación estricta de forma pre-programada, con parámetros específicos y sin necesidad de involucrar la intervención política ni llevar a cabo largos procesos de aprobación administrativa, asegurando que el territorio tenga la norma correspondiente a la realidad física del ecosistema.

CAPÍTULO III: AGENTES CÍVICOS, CATASTRO INMUTABLE Y DERECHO ADMINISTRATIVO

Artículo 6. Creación del Cuerpo de Agentes Cívicos Territoriales (CACT)

I. La Gobernación de Santa Cruz pondrá en marcha un sistema informatizado multicéntrico de Inteligencia Artificial denominado Cuerpo de Agentes Cívicos Territoriales (CACT).

II. El CACT funcionará con poder probatorio y vinculante en el primer tramo pre-jurisdiccional y en el procedimiento administrativo de investigación para controversias territoriales, calamidades ambientales e inspección del cumplimiento de la labor económica

Artículo 7. Resolución Administrativa Automatizada de Avasallamientos

I. Por la saturación estructural, la lentitud del sistema agrario tradicional y los vacíos de jurisdicción entre instituciones, el CACT se encargará de realizar la verificación inicial y más relevante cuando se detecten casos de abuso, usurpaciones ilegales o incendios intencionados.

II. El sistema de inteligencia artificial procesará automáticamente e interoperativamente el registro de las propiedades originales del INRA y Derechos Reales, fusionando los datos con series temporales de imágenes satelitales a gran detalle. En un plazo breve no superior a cien y setenta y dos (72) horas, los responsables emitirán un "Informe Técnico sobre Propiedad y Uso".

III. El uso de la IA aquí es un nuevo elemento de derecho, proporcionando pruebas técnicas irrefutables contra la corrupción oficial, con lo que las autoridades competentes tendrán la evidencia necesaria para ordenar desalojos rápidos y medidas preventivas urgentes.

Artículo 8. Catastro Departamental Distribuido e Inmutable

I. La Gobernación instará a registrar un catálogo territorial departamental adicional utilizando tecnología Blockchain.

II. Las cláusulas inteligentes (Smart Contracts) incorporadas al sistema conectarán la eficacia administrativa de las actividades con la certificación orbital del cumplimiento legal. Cualquier modificación en el borde o la ocupación no reconocida por ley será rechazada digitalmente por el sistema, asegurando la inalterabilidad del derecho propiedad auténtico y protegiendo el registro contra falsificaciones humanas.



CAPÍTULO IV: RESILIENCIA SOCIETAL Y PREVENCIÓN DE SHOCKS ECONÓMICOS

Artículo 9. Sistema de Simulación de Resiliencia Económica ante la AGI

- I. Reconocimiento de que el rápido avance de la Inteligencia Artificial (IA) de frontera y sus secuelas, como la ingeniería génica y la producción por computadora de alimentos, transformará gravemente las cadenas de suministro agrícola mundial, surge el Sistema de Simulación de Resiliencia.
- II. La Secretaría de Desarrollo Económico debe poner en marcha sistemas de simulación de estrés continuos. Agente de IA desarrollará escenarios macroeconómicos para prever tasas de declive y periodos de obsolescencia de los modelos de comercio cruceño tradicional (Complejo Agrícola y Ganadería).
- III. Los informes de estas simulaciones deberán obligar al Gobernador a reorientarse e invertir en tecnologías biomédicas locales, preparación de personal técnico y protección del ecosistema bioeconómico antes que la hyperautonomía global empeore la empleabilidad y la producción del departamento.

CAPÍTULO V: CONTRAPESOS INSTITUCIONALES Y SEGURIDAD ALGORÍTMICA

Artículo 10. Contrapesos Institucionales (Red Teaming Democrático)

- I. Para evitar el poder absoluto, fallos indetectados o sesgos técnicos en los sistemas automatizados, las leyes requieren una arquitectura de Gobierno responsable que sea auditable por entidades con autoridad.
- II. El Colegio de Profesionales de Santa Cruz, universidades públicas y privadas —especialmente la UAGRM— y organizaciones de la sociedad civil autorizadas tendrán derecho por ley a agentes auditores independientes (AI Evaluators).
- III. Los auditores ciudadanos realizados por el Estado y pagados con fondos públicos harán prácticas de red teaming contraatacante para identificar fallos lógicos, sesgos discriminatorios e inseguridad estructural en los modelos del CACT y del PLUS-D mediante técnicas de prueba adversarial, proporcionando así un control democrático centralizado de la infraestructura pública.

Artículo 11. Defensa Contra Ataques Adversarios en Teledetección

- I. El Gobierno Departamental exigirá que cada modelo de segmentación y clasificación espacial contratado incluya mecanismos probados de seguridad contra ataques por envenenamiento de datos (infiltración de datos) e interrupciones causadas por parches adversos físicos (parches enemigos).
- II. Se castigará administrativamente con severas sanciones sin renunciar a la acción penal por desvío de la infraestructura estatal como falso acto, la creación, venta o instalación en territorio de patrones o objetos planeados para engañar, aturdir o causar errores a los satélites de observación del planeta y al procesamiento mediante visión artificial en el departamento.

CAPÍTULO VI: FINANCIAMIENTO Y RETENCIÓN DE TALENTO

Artículo 12. Eficiencia Presupuestaria y Computación Escalable

El financiamiento para la operación de la infraestructura descrita en esta Ley priorizará la eficiencia del gasto público. El desarrollo tecnológico deberá basarse en plataformas de computación en la nube bajo esquemas de pago por uso (serverless), optimizando las consultas espaciales masivas para garantizar la viabilidad del presupuesto departamental a largo plazo.

Artículo 13. Atracción y Retención de Talento Estratégico

- I. El Gobernador Departamental tiene facultad para celebrar acuerdos con directo con la Facultad de Ciencias de la Computación y Telecomunicaciones (FICCT) de la Universidad Autónoma Gabriel René Méndez Regional (UAGRM), así como con institutos de postgrado, relacionados con la incubación y la transferencia de tecnologías de inteligencia artificial.



II. El gobierno autonomo departamental podrá implementar una escalafonamiento salarial especial para los profesionales de las Ciencias de Datos, la Inteligencia Artificial y la Ciberseguridad, quienes mantengan activos el Centro Académico Técnico de Investigación de las Ciencias de Datos (CACT) y la Red de Comunicaciones (PLUS-D). Los honorarios serán similares a los niveles competitivos regional para disminuir la

Disposiciones Finales

- I. Se adjunta el Marco Conceptual de la presente ley, con fines de socialización informada para la población
- II. La Gobernación de Santa Cruz deberá emitir la reglamentación técnica correspondiente a la presente Ley en un plazo no mayor a ciento ochenta (180) días desde su promulgación, debiendo presentar ante la Asamblea un cronograma de despliegue progresivo de los módulos iniciales del CACT.

Comuníquese, publíquese y archívese.



LEY DE CAPACIDAD ESTATAL HÍBRIDA Y GOBERNANZA SOCIOTÉCNICA DEL TERRITORIO CRUCEÑO ANTE LA TRANSICIÓN HACIA LA IA FRONTERIZA

MARCO CONCEPTUAL

Capacidad Estatal Híbrida y Gobernanza Sociotécnica: Un Nuevo Paradigma Institucional para Santa Cruz ante la Transición a la IA Fronteriza

Actualmente, la humanidad atraviesa los comienzos de una transformación tecnológica sin paralelo inducida por el avance de sistemas de inteligencia artificial que adquieren cada vez mayores funciones cognitivas y persiguen trayectos de autoreforzamiento recurrente. En este marco, las bases del gobernar territorial y del conjunto humano ven en la vía de un desafío existencial. Las instituciones actuales, concebidas conforme al modo constitucional y de gestión del siglo anterior, se convierten en "restos" ante la aceleración y la complejidad de los conflictos contemporáneos. En el Departamento de Santa Cruz, en Bolivia, esta falta de conexión entre el proceso de la administración estatal y la situación del planeta ha provocado una crisis de gobernanza definida por la caída ecológica, el inmovilismo del régimen sobre el uso de las tierras públicas y la mala relación de los instrumentos para programar el territorio.

Para revertir esta desigualdad, solo convertir la burocracia tradicional en digital no es suficiente. Es necesario crear nuevas instituciones adecuadas para la gestión de agentes autónomos, abandonando las mediocres métricas "alineamiento" pasiva por nuevas instituciones rígidas en las que la IA actúa como una infraestructura normativa activa. Esta investigación se centra en los fallos estructurales en el manejo territorial cruceño, proponiendo soluciones tecnológicas vanguardistas (como sistemas multi-agente, arquitecturas en la nube, observación constante de la tierra y registros inmutables) junto a un proyecto de ley departamental ampliado, que garantice la resiliencia social ante choques globales derivados de la Inteligencia Artificial General (AGI).

Diagnóstico de la Crisis de Gobernanza Territorial en Santa Cruz

El colapso de la capacidad estatal cruceña no es un fenómeno abstracto, sino una crisis materializada en la destrucción sistemática del patrimonio natural, la saturación del sistema agrario y la incapacidad de adaptar la planificación espacial a las presiones del desarrollo agroindustrial.

El Colapso Ecológico y el Entramado Normativo Permisivo

El Departamento de Santa Cruz es el epicentro de una crisis ambiental devastadora, impulsada por una normativa legislativa que promueve la deforestación y expandir la extensión incontrolada del predio agrícola. Los registros históricos sobre la disminución de la cobertura boscosa muestran un ascenso alarmante. Según los datos, en 2019 el departamento de Santa Cruz experimentó un desastre climático excepcional con cerca de 3.6 millones de hectáreas incendiadas, lo que representaba aproximadamente el 72% del área nacional. La crisis ambiental continúa empeorando a lo largo de los años, y el daño aumenta cada vez más. Para el año 2024, la superficie que sufrió incendios en Santa Cruz superó las 6.9 millones de hectáreas, alcanzando cifras récord. Esta zona ocupó el 65% de toda la área dañada a nivel nacional e influyó notablemente en zonas específicas como José Miguel de Velasco, Guarayos y Ñuflo de Chá.

El súbito y frecuente fenómeno de este tipo de catástrofe muestra que existe un Estado que no tiene las herramientas necesarias para vigilar su territorio, así como una laguna legislativa llamada "paquete de leyes incendiarias". Éste permite la destrucción del ecosistema. Algunas de estas normativas incluyen la Ley 337, que, mediante la modificación con las Leyes 502, 739 y 952, creó un régimen exento de "fiscalización" por motivos de seguridad alimentaria y restauración de ecosistemas. Esto ha generado un peligro moral que anima el uso de más deforestación irregular. La Ley 741 autorizaba también desmontes hasta 20 hectáreas en pequeñas propiedades sin planes de manejo forestal exigentes, mientras que el Decreto Supremo 3973 flexibilizó las quemaduras bajo supervisión para los departamentos de Santa Cruz y Beni.

La Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra (ABT), encargada de regular estas actividades, opera bajo un paradigma reactivo. Su incapacidad para procesar datos espaciales en tiempo real y la dependencia de expedientes físicos hacen que sus intervenciones y multas lleguen cuando el daño ecológico es irreversible.



Gestión	Superficie Quemada en Santa Cruz (Hectáreas)	Porcentaje del Total Nacional	Principales Provincias Afectadas
2019	3.610.075	71.8%	Velasco, Chiquitos, Germán Busch
2022	1.113.000	N/A	Velasco (45% de la afectación departamental)
2023	2.078.300	N/A	Velasco, Guarayos
2024	6.916.700 - 7.047.807	65.4%	Velasco, Guarayos, Ñuflo de Chávez, Ángel Sandoval

Avasallamientos, Tráfico de Tierras y Asimetría Institucional

El segundo elemento del problema territorial es la inestabilidad jurídica por las "avasalladoras" o invasiones no autorizadas de terrenos. Las instituciones civiles y empresariales cruceñas han registrado cientos de casos que implican bienes privados, poblaciones indígenas y espacios naturales protegidos. Ejemplos como la toma forzosa de campos agrícolas durante el proceso de saneamiento —donde la superficie ocupada ascendía a más de 5.700 hectáreas con un valor estimado de mercado superior a 15 millones de dólares— confirman que las redes de tráfico de tierras se desenvuelven a un nivel elevado de profesionalismo y agilidad que desafían la acción estatal.

Este fenómeno se alimenta por la desinformación y la fragmentación burocrática. El Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA), con funciones de saneamiento y certificación de posesiones, la oficina de Derechos Reales responsable del registro de propiedad y el Tribunal Agroambiental encargado de jurisdicción y resolución de conflictos, laboran dentro de sus respectivos ámbitos organizativos. Sin embargo, aunque existen convenios para promover la interoperabilidad y normativas como el Decreto Supremo 5143 para actualizar los Derechos Reales, la naturaleza buroquémica de la organización y la carencia de un sistema de catastro uniforme y dinámico permiten la duplicidad de títulos y la manipulación de límites. La resolución de una reclamación respecto a tierras mediante inspecciones oculares, pruebas técnicas manualistas, y litigios dilatados ocupa varios años, tiempo en que se devastan los ecosistemas y la agricultura queda inoperativa.

La Obsolescencia del Plan de Uso de Suelo (PLUS)

La gestión espacial de Santa Cruz está guiada teóricamente por el Plan de Uso de Suelo (PLUS) aprobado mediante el Decreto Supremo N° 24124 de 1995 y elevado a Ley en 2003 por medio de la Ley N° 2553. Este instrumento técnico normativo divide el territorio en categorías como tierras de uso agropecuario intensivo, extensivo, forestal y zonas protegidas.

Sin embargo, considerar al PLUS como una declaración escrita, impresionada y diseñada para reglamentar de manera permanente durante las décadas anteriores a la era del almacenamiento de datos en masa y los desafíos relacionados con el cambio climático. Una hoja de mapas no puede procesar los cambios hidrológicos de flujo, la alta temperatura puntual, ni la paulatina disminución de la capacidad del suelo. Lo resultante es una infraestructura normativa vieja, que no representa la materialidad del suelo, haciendo frecuentemente el uso del suelo para la producción sostenible un impedimento o una excusa legal para la creciente expansión irresponsable. El modernismo de esta estructura exige transformarse hacia un modelo dinámico, donde las fronteras de uso se reescriban y ajusten continuamente mediante algoritmos que procesen telemetría satelital en tiempo real.



Arquitectura Tecnológica para la Capacidad Estatal Híbrida

Para subsanar las deficiencias descritas, el rediseño institucional propuesto plantea la integración de sistemas de Inteligencia Artificial y tecnologías de registro distribuido como pilares de una nueva administración pública. La IA no debe concebirse meramente como una herramienta de apoyo analítico, sino como una institución en sí misma, dotada de capacidad administrativa pre-jurisdiccional.

Observación de la Tierra en Tiempo Real y Visión Computacional

Aquí está la base del Estado híbrido basada en su capacidad para observar e interpretar el territorio sin demora. Esto implica la continuo consumo de datos de constelaciones de satélites. Específicamente, sistemas como Sentinel-2 (resolución de 10 metros, tiempos de revisita de 5 días), además de datos de radar aperturados sintéticos (SAR) como Sentinel-1, facilitan el penetrar la nube en la Amazonia y la Chiquitania. Asimismo, el acceso mediante API a las constelaciones comerciales PlanetScope proporciona monitorización diaria con resolución de 3 metros, permitiendo detectar modificaciones a nivel de micro-parcela.

La conversión de estos datos brutos en alertas procesables necesita arquitecturas profundas del aprendizaje profundo (Deep Learning). Los modelos de segmentación semántica, como U-Net, han demostrado ser útiles para determinar exactamente zonas donde se localiza el agua o los bosques perdidos, utilizando imágenes de SAR. Por otro lado, los modelos de detección de objetos en tiempo real como YOLOv8 pueden rastrear y localizar rápidamente maquinaria de tala, áreas ocupadas por campañas ilegales y tomas de tierras.

Iniciativas civiles han mostrado la efectividad de estos métodos. La red MapBiomass, que opera en Google Earth Engine (GEE), utiliza algoritmos de aprendizaje automático como Random Forest para analizar historiales de imágenes Landsat y Sentinel. Con ello, genera mapas anuales de la cobertura de suelo y sus transiciones en la cuenca amazónica y la región del Chaco. Los sistemas, como el DETER en Brasil, utilizan datos con una alta frecuencia para proporcionar alertas tempranas sobre la deforestación. Esto permite que las autoridades puedan intervenir rápidamente antes que el daño sea definitivo. Por ello, el departamento de Santa Cruz debe incorporar estas capacidades y elevarlas a un nivel que los convierta en infraestructura estatal.

Agentes Cívicos Territoriales y Procesamiento de Lenguaje Natural

Para resolver el conflicto agrario mediante la asimetría de información, la institución ha implementado el Cuerpo de Agentes Cívicos Territoriales (CACT). Este método multifuncional integra la visión digital con modelos grandes de lenguaje (LLM) y marcos de control, como LangChain.

El ciclo de trabajo automatizado del CACT funcionaría de la siguiente manera: una vez presentada una denuncia, un agente de recogida de datos obtiene las coordenadas geográficas del predio. Un agente de visión digital descarga las imágenes satelitales recientes de la región (PlanetScope o Sentinel), utilizando modelos CNN para determinar la hora específica de realización de las obras, construcción de carreteras o modificación del hábitat forestal. Concurrentemente, un agente de análisis de lenguaje natural (NLP) revisa el registro catastral del INRA y la base de datos derechos reales para verificar el cronograma histórico de las posesiones legales. En última instancia, un agente de compilación conecta la evidencia física con su estatus jurídico y produce un informe técnico titulado "Titulación e Uso del Títulos". Este sistema, que previene largas inspecciones investigativas que pueden enfrentar hostigamiento o soborno, realiza las evaluaciones en un tiempo breve de cincuenta minutos emitiendo un informe administrativo vinculante para proceder con el desalojo previo.

Blockchain y Contratos Inteligentes para la Inmutabilidad Catastral

Para que los dictámenes de la inteligencia artificial sean irrefutables, los datos subyacentes deben ser inalterables. Los expedientes agrarios y registrales en formato físico o en bases de datos centrales vulnerables son el eslabón débil de la seguridad jurídica. El uso de una arquitectura de



registro distribuido (Blockchain) es fundamental para garantizar la integridad del patrimonio registral.

El Catastro departamental basado en tecnología Blockchain asigna a cada parcela y a sus documentos soportantes una huella de codificación única (hash). Cualquier intento de modificarse retroactivamente un registro de la propiedad o un histórico de limpieza genera un cambio en el hash que es rechazado por el consenso de la red, eliminando la falsificación documental. Casos de uso como el realizado por la Agencia Nacional de Tierras en Colombia, empleando la tecnología XRPL de Ripple, demuestran que la tokenización de certificados de adjudicación de tierras, asociados a códigos QR verificables públicamente, mejoran la transparencia y retoman la confianza del ciudadano en el sistema registral.

Además, la inclusión de Contratos Inteligentes (Smart Contracts) enlazados con lenguajes como Solidity proporciona un sistema de gobierno automático. Se puede programar a un contrato inteligente para que bloquee, automáticamente, la transferencia del dominio o la registro de una hipoteca si el software visual detecta incendios forestales ilegales o alertas de avasallamiento en el predio. Esta disposición llamada "liquidación atómica" quita la confiabilidad que los contratos de intermediación humano y garantiza que la legalidad ambiental se condicione técnico a poder ejercer derechos de propietario.

Seguridad, Accountability y Vulnerabilidades Algorítmicas

El traspaso de autoridad administrativa a sistemas automatizados requiere salvaguardas extremas. El diseño de instituciones basadas en IA no debe derivar en una tiranía tecnocrática o en la dependencia de "cajas negras" inescrutables, sino que debe incorporar una rendición de cuentas orientada a la auditoría (audit-ready accountability) a lo largo de todo el ciclo de vida del sistema.

Red Teaming Democrático y Contrapesos Institucionales

La principal herramienta de salvaguarda adoptada es el Red Teaming. En el ámbito de la IA generativa, el Red Teaming consiste en asumir una postura adversarial para someter a los modelos a pruebas de estrés, identificando intencionalmente vulnerabilidades, sesgos, alucinaciones lógicas o propensión a generar resultados discriminatorios antes de su despliegue. Organizaciones de gobernanza tecnológica y marcos normativos emergentes, como la Ley de IA de la Unión Europea (AI Act), enfatizan que los sistemas de alto riesgo empleados en la administración pública deben someterse a estrictas evaluaciones independientes y supervisión continua.

Para asegurar la legitimidad y evitar el control central, la ley departamental fomenta un modelo de Red Teaming Democrático. Esto implica que la prueba algorítmica no solo estará bajo el control del desarrollador del software o del poder ejecutivo sino que se convierte en un deber ciudadano. Instituciones como las universidades locales, los colegios profesionales y organizaciones de la sociedad civil podrán acceder sin coste alguno a entornos de probabilidad (sandboxes) para verificar las acciones de inteligencia artificial encargadas del catastro, del PLUS Dinámico y del proceso de resolución de disputas. Tendrán la función de explorar los posibles errores en los modelos, comprobando si la inteligencia artificial no distingue zonas específicas, no viola los derechos de las comunidades indígenas ni tiene fallos estructurales ante casos atípicos.

Vulnerabilidad ante Ataques Adversarios en Teledetección

Los vectores de amenaza críticos en la implementación del PLUS-D y el CACT son vulnerabilidades en las redes neuronales al ataque. Los grupos criminales dedicados al narcotráfico, el tráfico de tierras u otras actividades ilegales podrían emplear estrategias de evasión para manipular el funcionamiento de la tecnología de vigilancia en la nube.

La investigación documenta que es posible crear parches físicos que cambian las patrones de píxeles de una imagen de manera inteligente. Si se aplican estos parches a un vehículo, un tejado o una superficie forestal, detalladores como YOLO los identificarán como objetos, pero la IA no captará que existen en realidad objetos (negativo falso). Además, mediante ataques de envenenamiento de datos (data poisoning) en el proceso de re-entrenamiento de modelos, los atacantes pueden agregar ruido intencionadamente a las etiquetas de los conjuntos de datos. Esto



altera las clasificaciones de las zonas verdes, lo que da lugar a imágenes de superficies húmedas o áreas protegidas mal identificadas.

Frente a este "sabotaje algorítmico", el Estado departamental debe implementar arquitecturas de defensa robustas, tales como Redes de Extracción de Características Robustas (RFENet) que utilicen mecanismos de campo receptivo limitado (LRFM) para ignorar las perturbaciones locales de los parches adversarios. Adicionalmente, el marco normativo propuesto tipifica explícitamente como delito la manufactura y despliegue de estas técnicas de evasión contra la infraestructura crítica del departamento.

Viabilidad Financiera, Infraestructura y Retención de Talento

El éxito de la capacidad estatal híbrida descansa sobre dos pilares pragmáticos: la sostenibilidad financiera de la computación a gran escala y la soberanía sobre el capital humano.

Optimización de Costos en Computación Espacial

La análisis en tiempo real de miles de millones de imágenes satelitales requiere enormes cantidades de potencia de cómputo. Instalar sistemas físicos propios para tales tareas está fuera de alcance por el alto costo de equipos (clusters de GPU) y el coste del mantenimiento, por lo que sólo puede considerarse el uso de servicios en la nube.

Plataformas como Google Earth Engine (GEE) brindan interfaces versátiles e inventarios extensos gratuitos para investigaciones académicas, pero el uso operativo a escala institucional gubernamental (enterprise) a través de licencias lleva a tener que manejar con gran rigor los costos asociados. Como alternativa económica más conveniente, la implementación de arquitecturas sin servidor (serverless) es más apropiada en entornos de Amazon Web Services. Mediante formato de datos actuales como Cloud Optimized GeoTIFF (COG) o GeoParquet, la función Lambda sólo descarga las células requeridas mediante llamadas HTTP a rango, evitando descargar archivos completos gigantescos.

Modelos de costos demuestran que el almacenamiento en servicios como Amazon S3 estándar tiene un costo aproximado de \$0.023 por GB mensual, y las consultas espaciales mediante motores como Amazon Athena cuestan alrededor de \$5 por Terabyte escaneado. Esta arquitectura de pago por uso (pay-as-you-go) evita costos por infraestructura inactiva (idle costs), permitiendo procesar redes neuronales, segmentación de imágenes y catalogación catastral por fracciones de centavo por invocación, asegurando que el presupuesto departamental soporte las operaciones del CACT y el PLUS-D de manera indefinida.

Retención de Talento Local e Integración Académica

Para ello se requieren ingenieros en Machine Learning, científicos de datos y arquitectos en la nube. La Gobernación de Santa Cruz dispone de una ventaja geoestratégica a partir de contar con la Facultad de Ciencias de la Computación y Telecomunicaciones (FICCT) de la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (UAGRM). Se pueden destacar los programas de alta especialización ofrecidos por dicha facultad: Magister en Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial y Doctorado en Ciencias de la Computación.

El análisis revela la existencia de un fuerte mercado laboral en Bolivia, donde el salario promedio es bastante costoso eficiente en relación con el panorama global. Las encuestas salariales para 2026 indican que un Ingeniero en inteligencia artificial de nivel intermedio percibe entre 145.000 y 190.000 BOB anuales (aproximadamente \$21.000 a \$27.500 USD), mientras que un Ingeniero senior con experiencia en arquitectura puede percibir entre 185.000 y 280.000 BOB anuales (hasta \$40.500 USD).|

Para evitar la fuga de cerebros (brain drain) hacia corporaciones extranjeras que ofrecen trabajo remoto, la legislación propuesta autoriza al Estado departamental a establecer escalas salariales de excepción. Financiar un equipo de élite compuesto por veinte especialistas Senior e investigadores postdoctorales requeriría una inversión anual menor a un millón de dólares, un monto insignificante comparado con los cientos de millones de dólares perdidos anualmente a causa de los incendios, los avasallamientos y la ineficiencia fiscal.