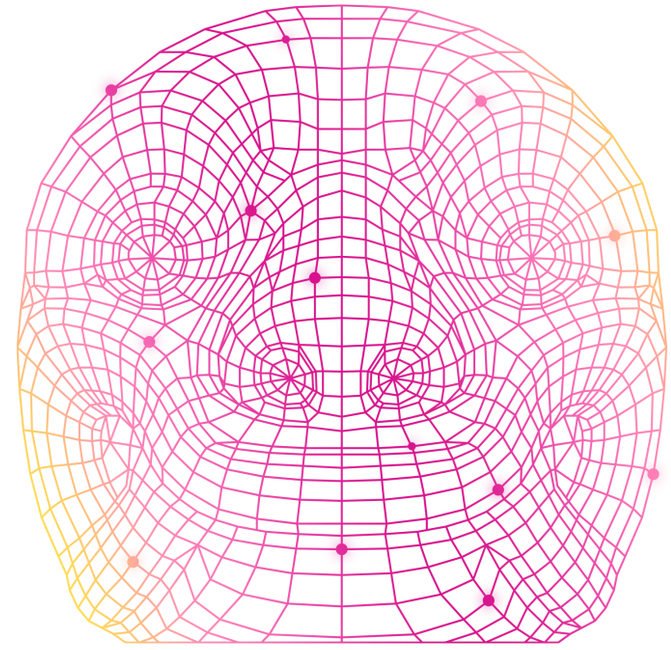
PERÚ

NACIÓN DE INNOVACIÓN

postón

PERÚ
NACIÓN DE INNOVACIÓN



El **futuro** está
en **nuestras raíces**

endeavor

10 **PRÓLOGO**

1 **PERÚ:** UNO DE LOS 6 FOCOS DE CIVILIZACIÓN

20 **CHAVÍN:** REALIDAD AUMENTADA DOS MIL AÑOS ATRÁS
22 **PARACAS:** TEJIENDO SÍMBOLOS
26 **MOCHICA:** LA IMPRESIÓN 3D PRECOLOMBINA
28 **NASCA:** SOSTENIBILIDAD Y MANEJO DEL AGUA EN EL DESIERTO
30 **CARAL:** INNOVACIÓN ANTISÍSMICA
34 **MACHU PICCHU:** ARQUITECTURA ORGÁNICA
38 **LOS QUIPUS:** *BLOCKCHAIN* ANCESTRAL
40 **CINCO MILENIOS DE INNOVACIÓN**

2 ***MINING TECH* HECHO EN EL PERÚ:** CONOCIMIENTO ANCESTRAL CON MINERÍA DEL FUTURO

46 **DEL CINABRIO AL CHIP:** MINERÍA 4.0 EN LAS MONTAÑAS DEL PERÚ
48 **LA RUTA DE LA PLATA**
50 **EL COBRE PERUANO:** DE LAS ALEACIONES MOCHE A LOS VEHÍCULOS TESLA
52 **CONOCIMIENTO ANCESTRAL QUE VALE ORO**
54 **MINERÍA *SMART***
56 **HACIA UN ECOSISTEMA DE *STARTUPS***
60 **CINCO MILENIOS DE VENTAJA COMPETITIVA SOSTENIBLE**

3 EL *DATA LAKE* BIOLÓGICO MÁS PODEROSO DEL PLANETA

68 **MAESTROS DE LA INGENIERÍA GENÉTICA**
70 **LOS *SUPERFOODS:*** CUANDO EL *MARKETING* DESCUBRE LA SABIDURÍA ANCESTRAL
78 **EL ADN DE LA TIERRA**
80 **EL GUANO:** NUESTRA PRIMERA INDUSTRIA CIRCULAR
82 **LA ANDENERÍA:** *AGTECH,* AGRICULTURA DE PRECISIÓN
84 **LOS OCHO PISOS ECOLÓGICOS:** EL SISTEMA OPERATIVO NATURAL MÁS COMPLEJO DEL MUNDO
88 **BIOMÍMESIS Y BIOTECNOLOGÍA**
92 **DEL CONOCIMIENTO ANCESTRAL AL *BIG DATA* ECOLÓGICO**

4 UN OCÉANO DE OPORTUNIDADES: DESDE EL NIVEL DEL MAR HASTA LOS 4000 METROS DE ALTITUD

100 **LA CORRIENTE DE HUMBOLDT:** UN GRAN MOTOR DE LA VIDA MARINA
102 **EL MAR DE LA DIVERSIDAD**
104 **LA ANCHOVETA:** PEQUEÑO GIGANTE DEL PACÍFICO
106 **CINCO MILENIOS DE INNOVACIÓN MARINA**
110 **AMUNAS *HYDROTECH* PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL AGUA**
114 **LA HAZAÑA DE CUMBEMAYO**
118 **UNA ECONOMÍA AZUL**

5 EL *HUB* NATURAL DE AMÉRICA LATINA

122 **EL PRIVILEGIO DE SER TRES MUNDOS**
128 **UN IMPERIO DE LAS COMUNICACIONES**
132 **EL VIRREINATO:** UNA CONEXIÓN EXPANSIVA
134 **DE CHANCAY A SHANGHÁI:** LA CONTINUIDAD LOGÍSTICA

140 **CONCLUSIONES**

El Perú ha sido, desde sus orígenes, una tierra de innovadores.

Mucho antes de que se acuñara la palabra *innovación* y aún posteriormente que se le diera el uso que hoy conocemos, nuestros antepasados domesticaron más especies vegetales que cualquier otra civilización, diseñaron andenes para sembrar en montañas imposibles, y lograron conectar valles, ríos y desiertos con una ingeniería que asombra al mundo hasta hoy.

Crearon sistemas económicos, sociales y culturales que se sostuvieron durante siglos, adaptándose con inteligencia al entorno y a sus desafíos.

Esa creatividad, esa capacidad para transformar las limitaciones en oportunidades, está grabada en nuestro ADN. Somos herederos de una historia que no solo nos enorgullece, sino que nos recuerda lo que somos capaces de lograr cuando creemos en nuestro potencial. Hoy, sin embargo, vivimos un momento de grandes retos y profundas transformaciones. El mundo avanza con rapidez hacia una nueva era marcada por la tecnología, la sostenibilidad y la colaboración. En ese contexto, el Perú tiene ante sí una oportunidad única: la de construir su futuro desde la innovación, inspirándose en su legado y apalancándose en sus ventajas comparativas. En Endeavor Perú, creemos que ha llegado el momento de **reconectarnos con nuestro espíritu innovador** y proyectarlo hacia el futuro.

Por eso nace «Nación de Innovación», una iniciativa que busca levantar el orgullo nacional, visibilizar a quienes están transformando el país y articular un movimiento que impulse el desarrollo desde el emprendimiento, la innovación y la tecnología.

Construir una «Nación de Innovación» significa mirar al Perú con una nueva perspectiva: reconocer que nuestras riquezas naturales, culturales y humanas son una fuente inagotable de oportunidades para crear soluciones al servicio del mundo. Significa, también, entender que la innovación no es exclusiva de los laboratorios o de las *startups* tecnológicas, sino que puede florecer en un campo de cultivo, en un puerto pesquero, en una comunidad andina, en una cocina o en una mina. Se trata de imaginar un futuro mejor y tener el coraje de hacerlo realidad.

El Perú cuenta con ventajas comparativas únicas que pueden ser la base de una estrategia de innovación nacional.

Nuestra riqueza minera y geológica, que puede convertirse en la base de tecnologías limpias, sostenibles y de alto valor agregado. Nuestra biodiversidad y diversidad de agroclimas, que nos posicionan como un laboratorio natural para el desarrollo de nuevos productos agrícolas, alimentarios y biotecnológicos.

Nuestro legado histórico y cultural, que inspira creatividad, diseño, turismo y orgullo nacional. Nuestros recursos hidrobiológicos y marinos, que pueden impulsarse con innovación para liderar una economía azul sostenible. Y nuestra ubicación geoestratégica en Latinoamérica, que nos permite proyectarnos como un *hub* regional de innovación, conectando talento, capital e ideas con el resto del continente y el mundo. Pero más allá de los recursos, lo que realmente diferencia al Perú es su gente. Emprendedores, científicos, artistas, ingenieros, agricultores, tecnólogos, educadores... personas que, cada día, se atreven a desafiar lo establecido, a buscar nuevas soluciones, a imaginar lo que aún no existe. Este libro busca celebrar y amplificar esas historias. Quiere ser una plataforma para quienes están transformando el presente del país con visión de futuro, y un llamado a todos los peruanos a sumarse a esta causa colectiva.

Creemos que la innovación puede generar un impacto profundo y duradero en cinco dimensiones fundamentales:

1 Reforzar la identidad nacional como país innovador

Necesitamos reencontrarnos con nuestro orgullo. Por demasiado tiempo hemos contado nuestra historia desde la carencia, no desde la potencia. Reivindicar nuestro legado innovador es reconocer que el Perú siempre ha sido un país de visionarios y constructores de futuro. La innovación puede y debe ser un nuevo símbolo de identidad nacional.

2 Visibilizar y conectar el talento innovador

El talento peruano existe en todo el territorio, pero muchas veces permanece desconectado o invisible. Se trata de mapear y articular estos ecosistemas, conectar a emprendedores, empresas, academia y Estado, y construir puentes entre quienes tienen las ideas y quienes pueden hacerlas realidad.

3 Crear un mercado local para la innovación

La innovación crece cuando hay demanda para ella. Por eso, queremos fomentar un entorno en el que sectores estratégicos como la minería, la agricultura o la pesca trabajen de la mano con *startups* y centros de investigación para resolver sus desafíos mediante soluciones innovadoras. Articular es clave para elevar la competitividad del país.

4 Promover mejores políticas públicas y estrategias de desarrollo

La innovación no ocurre en el vacío. Requiere un marco institucional que la respalde, políticas que fomenten el riesgo y la inversión en investigación, y una visión de país que la coloque en el centro de su estrategia de desarrollo.

5 Transformar la educación con un enfoque innovador

Nada de esto será posible sin un cambio profundo en la manera en que formamos a las nuevas generaciones. Necesitamos una educación que inspire curiosidad, pensamiento crítico, creatividad y espíritu emprendedor. Una educación que motive a los jóvenes a creer que pueden cambiar el mundo desde el Perú.

«Nación de Innovación» no es solo un programa de Endeavor: es una invitación a construir una visión compartida de país.

Una apuesta por la colaboración, por la confianza en nuestro talento y por la convicción de que el desarrollo sostenible y equitativo solo será posible si aprendemos a innovar desde lo que somos. A lo largo de las siguientes páginas encontrarán historias, ideas y reflexiones que demuestran que el Perú tiene todo lo necesario para liderar una nueva era de innovación en la región. Historias que inspiran, pero también que invitan a actuar. Porque el orgullo nacional no se trata solo de mirar atrás, sino de imaginar el futuro que queremos dejar. Desde Endeavor Perú, nuestro compromiso es seguir impulsando a quienes se atreven a pensar en grande. Trabajamos para conectar talento con oportunidades, fortalecer el ecosistema emprendedor y construir una red de aliados que creen en el poder transformador de la innovación.

Formamos parte de una red global presente en más de 45 países, dedicada a acompañar a emprendedores de alto impacto: aquellos capaces de transformar industrias, generar empleo y cambiar mentalidades. Creemos que todo país necesita una comunidad que inspire, lidere y abra caminos a otros. Estamos convencidos de que el Perú tiene el talento, la creatividad y la visión para lograrlo. Este libro es una expresión de esa misión: la de construir el futuro del país a través del emprendimiento, la innovación y el orgullo por lo que somos. El Perú tiene en su ADN la capacidad de reinventarse. Hoy nos toca volver a hacerlo, desde la innovación, el emprendimiento y la colaboración. Que este libro sea una ventana hacia esa nueva visión del país: un Perú que reconoce su pasado, se inspira en él y se atreve a construir su futuro con audacia, creatividad y orgullo.

El Perú no solo tiene historia. Tiene futuro.

Paloma Aramburú
Directora ejecutiva de Endeavor Perú

PERÚ: uno de los 6 focos de civilización

Nuestra historia es motivo de orgullo y ventaja en un mundo globalizado. Aún hoy vivimos del conocimiento adquirido por civilizaciones desde Caral hasta los Incas. Nuestra identidad única permite que productos peruanos se destaquen en mercados competitivos. Nuestro pasado es un recurso estratégico para desarrollar un presente y un futuro prósperos.





Mucho antes de Silicon Valley, el Perú ya era un laboratorio de innovación.

En sus desiertos, montañas y selvas se gestaron soluciones tecnológicas que asombrarían incluso al ingeniero moderno. Este libro explora esa otra historia: la del Perú como cuna de inventos que hoy siguen vigentes, no en museos, sino en soluciones para el futuro. Este territorio guarda secretos que han revolucionado nuestra comprensión de la civilización humana. La innovación, en el ámbito arquitectónico e ingenieril, surge del equilibrio entre inspiración y trabajo arduo y sostenido: experimentación constante, refinamiento de técnicas, transmisión de conocimientos y la persistencia para superar fracasos. Este equilibrio se refleja en las antiguas civilizaciones peruanas, donde cada avance arquitectónico representó siglos de perfeccionamiento colectivo. Durante más de cinco mil años nuestro territorio ha sido espacio de una vocación innovadora equiparable al legado de las grandes civilizaciones del mundo antiguo.

Desde los constructores de Caral —contemporáneos de las pirámides egipcias— hasta los ingenieros de Machu Picchu, el Perú se ha consolidado como uno de los seis focos, junto con Mesopotamia, Egipto, China, India y Mesoamérica, donde se desarrollaron civilizaciones de manera independiente.

Desde los constructores de Caral —contemporáneos de las pirámides egipcias— hasta los ingenieros de Machu Picchu, el Perú se ha consolidado como uno de los seis focos, junto con Mesopotamia, Egipto, China, India y Mesoamérica, donde se desarrollaron civilizaciones de manera independiente. Aquí se experimentó con técnicas de construcción, se implementaron sistemas de comunicación que funcionaron durante milenios, y se crearon tradiciones culturales que influyen y son celebradas en los más disímiles puntos del planeta. La memoria de este país empieza en Paccaicasa, Ayacucho, donde se han encontrado las evidencias más remotas de presencia humana en Sudamérica. Imaginemos a lo que se enfrentaban: desde los desiertos costeros más áridos del mundo —donde llueve menos de dos milímetros al año— hasta los picos nevados de los Andes que superan sin problemas los seis mil metros de altura. Añadamos a esto la densa selva amazónica, con su mega biodiversidad. Cada ecosistema, con sus propias particularidades y exigencias, impulsó el desarrollo de culturas altamente especializadas que, al interactuar mediante redes comerciales y ceremoniales, crearon una red cultural de la que la humanidad hasta ese momento no tenía registros.

Los primeros habitantes del Perú fueron hombres y mujeres que transformaron retos geográficos extremos en ventajas culturales y sociales extraordinarias.



CABEZA CLAVA - CULTURA CHAVÍN

EMOJING

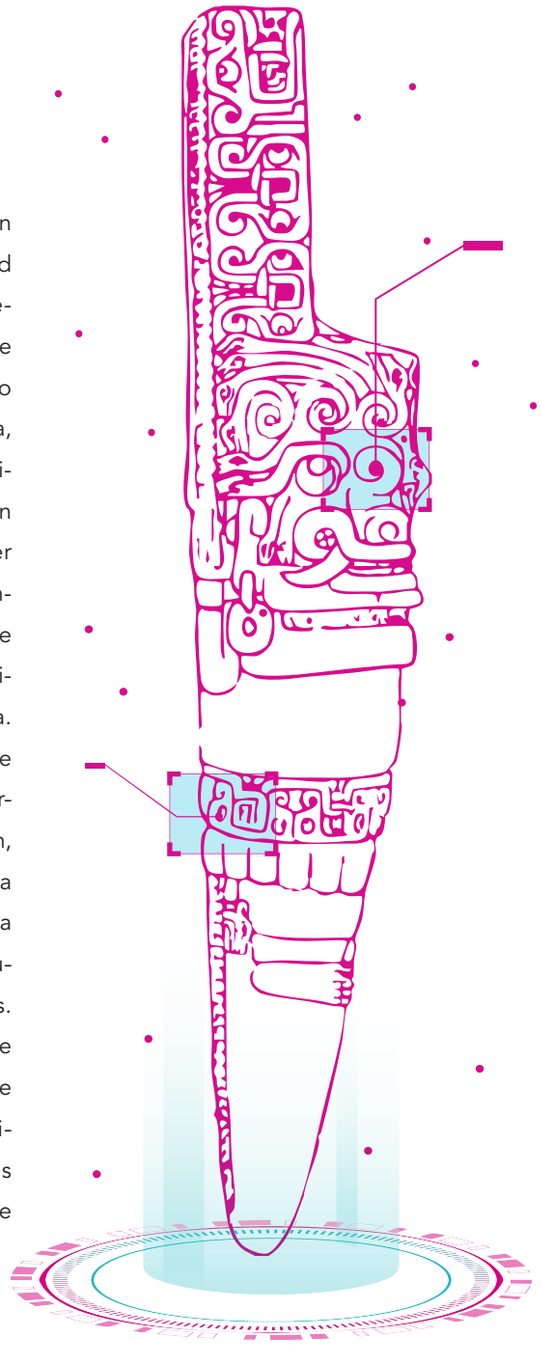
DESDE 1200 A.C.

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Chavín

Realidad aumentada dos mil años atrás

Entre 1200 y 500 a. C., la cultura chavín alcanzó un hito no solo para la realidad americana, sino para cualquier sociedad de su época: unificar gran parte de lo que hoy es nuestro país, pero no mediante la guerra o la conquista, sino a través de la religión y el conocimiento. Su capital ceremonial, Chavín de Huántar, se convirtió en el primer gran destino de peregrinación del continente, un oráculo popular, una suerte de Vaticano prehispánico que atraía visitantes desde Ecuador hasta Bolivia. John Rick, notable arqueólogo de Stanford que ha dedicado casi un cuarto de siglo a estudiar la cultura chavín, describe una civilización que dominaba la psicología humana con una maestría que no se volvería a ver hasta la instauración de los grandes teatros griegos. Sus sacerdotes no eran simplemente líderes religiosos; eran ingenieros de experiencias místicas que sabían utilizar arquitectura acústica, sustancias psicoactivas y complejos juegos de luces y sombras.



Pongámonos en la piel de un peregrino que llegaba a Chavín después de caminar durante varias semanas en situaciones siempre complicadas. Primero, pensemos en el impacto visual de las enormes cabezas clavas que decoraban los muros del templo, con sus rostros felinos que parecían cambiar de expresión según las horas del día. Luego, el descenso a las galerías subterráneas, donde el sonido del agua corriendo por canales ocultos creaba una sinfonía sobrecogedora.

Finalmente, el encuentro con el Lanzón, una escultura monolítica de 4.5 metros que representaba a la divinidad principal, iluminado para crear efectos visuales que terminaban por vencer la frágil racionalidad del creyente.

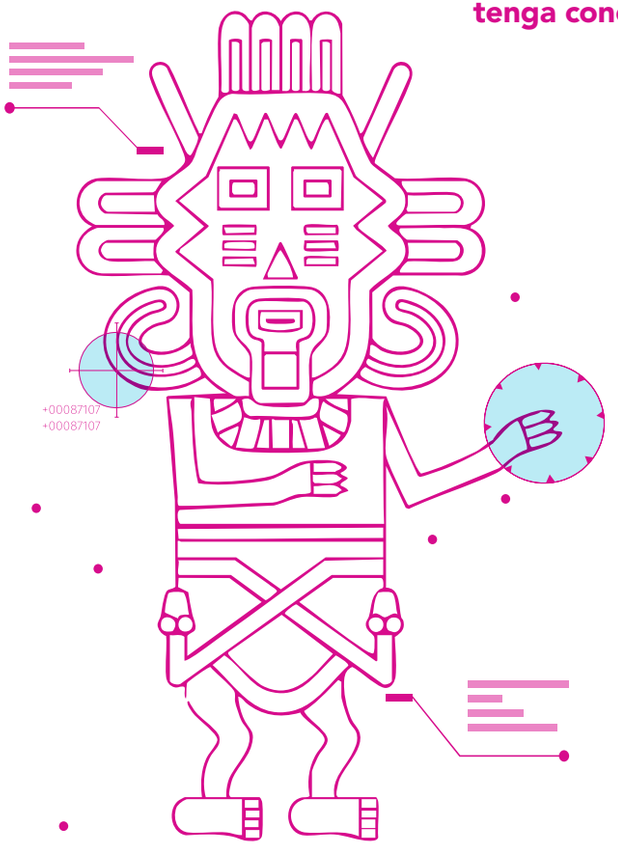
Los recientes descubrimientos sobre Chavín son fascinantes; han cambiado nuestra mirada hacia esta civilización. Pequeños robots diseñados en Stanford —bautizados cariñosamente como «Chavín Rover»— se han adentrado por túneles de apenas sesenta centímetros de ancho, donde ningún arqueólogo podía llegar. Estos diminutos exploradores mecánicos revelaron cámaras funerarias intactas con sacrificios humanos de hace tres mil años, resolviendo finalmente el misterio sobre el lugar donde los chavín enterraban a sus muertos quienes no eran nobles ni sacerdotes, sino individuos enterrados boca abajo y cubiertos por montones de piedras. Esto sugiere que la cultura chavín utilizaba el sacrificio humano no solo como ritual religioso, sino como herramienta de control social, una forma cruel pero efectiva de demostrar el poder absoluto de sus autoridades.

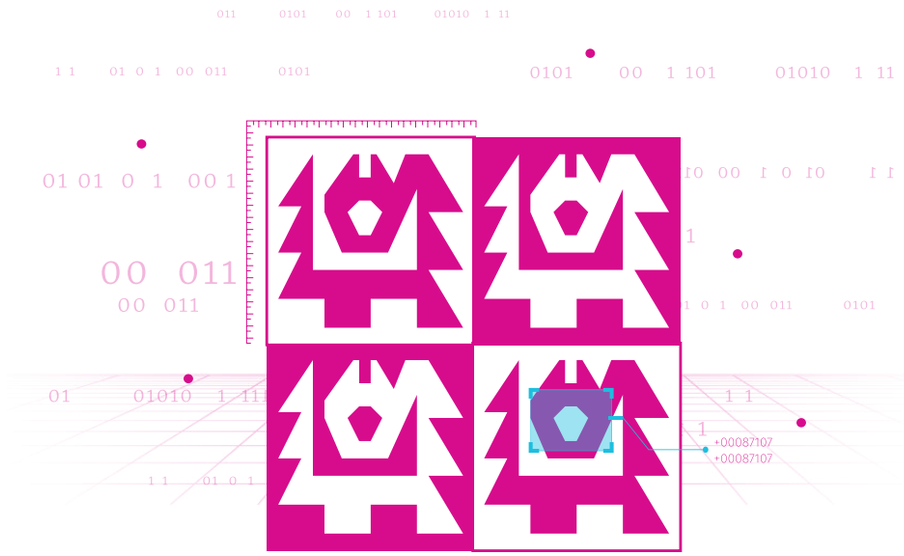
Rick estima que han descubierto apenas el 5 % de un sistema de túneles que se extiende por kilómetros bajo el complejo. Cada túnel cuenta una historia diferente: algunos fueron utilizados para rituales con drogas alucinógenas, otros para almacenar objetos ceremoniales, y muchos más para crear los efectos acústicos que convertían todo el templo en una máquina de experiencias mágicas. La complejidad del sistema es tal que Rick calcula que se necesitarán siglos para comprenderlo a cabalidad.

Paracas

Tejiendo símbolos

La cultura paracas (600 a. C.-200 d. C.) puso en práctica lo que muchos consideran la tradición textil más espléndida de la que se tenga conocimiento.





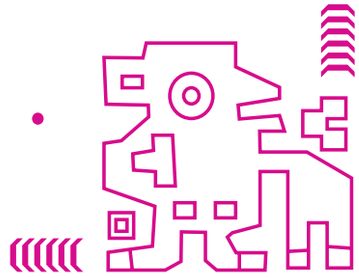
Los paracas eran verdaderos artistas, matemáticos, químicos y narradores que utilizaban hilos, fibras, colores e inoconografía como un lenguaje que la comunidad podía comprender. Cuando miramos un manto paracas e intentamos descifrarlo, lo que estamos haciendo es tratar de decodificar sus imágenes como quien resuelve un código de programación. Al fin y al cabo, sus imágenes son símbolos que representan información.

Un solo manto podía contener la historia completa de una familia, incluyendo sus alianzas políticas, sus logros militares y su estatus en la jerarquía social.

Sus mantos funerarios, elaborados con fibras de alpaca y vicuña, han sobrevivido intactos durante más de dos milenios. Esta preservación extraordinaria no es una casualidad: el desierto de Paracas, con su clima seco, se convirtió en el archivo textil más grande del orbe, donde cada tumba atesoraba prodigios que nos hablan de una sociedad obsesionada con la belleza, la perfección técnica y la comunicación escatológica.

Cada manto paracas es una enciclopedia visual. La técnica de bordado era tan refinada que los hilos utilizados —algunos del grosor de un cabello humano— se entrelazaban con una precisión que requiere magnificarse para ser apreciada. Los tejedores dominaban más de ciento noventa matices de color diferentes, obtenidos de plantas, minerales y animales mediante técnicas muy adelantadas a su tiempo.

Los diseños no son decoraciones aleatorias, sino narrativas complejas que representan mitos, genealogías, calendarios astronómicos y mapas territoriales.



Mochica

La impresión 3D precolombina

Entre los siglos II y VIII, los mochicas estuvieron varios pasos adelante de la época donde se desarrolló su cultura. Antes de la invención de los modelados en 3D y del desarrollo del *software* Sketchpad, los mochicas crearon los huaco retrato. Cerámicas tridimensionales que capturaron los rasgos físicos con precisión fotográfica y reflejaron estados emocionales, edades y enfermedades. Incluso podemos intuir en ellas la personalidad de los retratados. Los ceramistas mochicas conocían la anatomía humana con tal detalle que sus obras se utilizan hoy en estudios antropológicos para entender la diversidad étnica de la época.

Los mochicas también fueron pioneros en medicina, desarrollaron técnicas quirúrgicas que incluían trepanaciones craneales, amputaciones y cirugías reconstructivas. Los análisis de momias mochicas revelan operaciones exitosas, pues hubo pacientes que sobrevivieron a intervenciones delicadas y vivieron varios años después de sus cirugías.

Asimismo, fueron innovadores en metalurgia, desarrollaron técnicas de aleación que permitían crear objetos de una belleza y complejidad extraordinarias. Sus orfebres dominaban el trabajo con oro, plata y cobre.

Crearon desde pequeñas joyas hasta objetos ceremoniales de gran tamaño con incrustaciones de piedras preciosas y diseños que requerían necesariamente conocimientos avanzados de química y física.

Los mochicas establecieron los fundamentos de lo que hoy conocemos como bioingeniería médica. Sus cirujanos modelaron aleaciones metálicas específicamente diseñadas para implantes craneales con proporciones precisas de oro y plata que minimizaban el rechazo corporal y facilitaban la osteointegración. Estas placas metálicas, descubiertas en múltiples momias, evidencian un conocimiento sorprendente de biocompatibilidad que la medicina moderna no ha alcanzado hasta nuestros días.

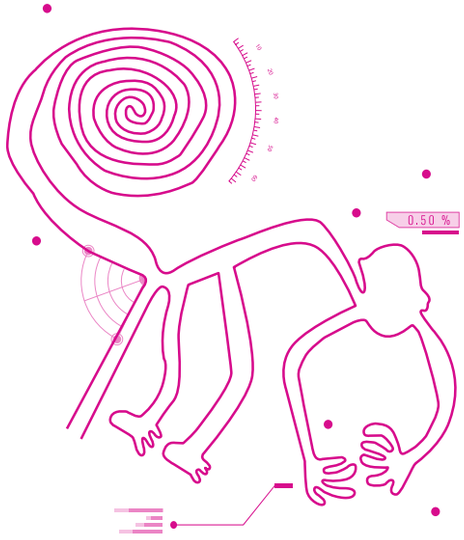
Como señala el arqueólogo Steve Bourget en sus estudios sobre medicina mochica, estos antiguos metalurgistas crearon los primeros biomateriales de la historia, anticipándose por más de mil años a los implantes de titanio contemporáneos.



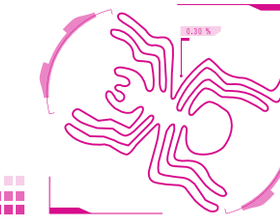
Nasca

Sostenibilidad y manejo del agua en el desierto

Los nasca (200 a. C.-600 d. C.) lograron lo que cualquier ingeniero moderno consideraría una empresa imposible:



Convertir uno de los desiertos más áridos del planeta —donde la lluvia es tan escasa que se mide en décadas— en un oasis productivo que alimentó a decenas de miles de personas durante casi un milenio. Sus acueductos subterráneos, conocidos como puquios, representan una notable hazaña de ingeniería hidráulica, entre las más imaginativas que ha conocido la humanidad. Estos canales subterráneos, algunos con más de mil quinientos años de antigüedad, siguen funcionando perfectamente hoy en día, acarreando agua desde las montañas andinas hasta los campos de cultivo en pleno desierto. El sistema incluye pozos de ventilación estratégicamente ubicados que no solo facilitan el mantenimiento, sino que crean corrientes de aire que aceleran el flujo del agua mediante principios físicos que los ingenieros modernos apenas están comenzando a desentrañar del todo. También desarrollaron técnicas de filtración natural que purificaban el agua mientras esta viajaba por kilómetros bajo tierra, crearon reservorios subterráneos que almacenaban agua durante las épocas secas, y diseñaron sistemas de distribución que regulaban automáticamente el flujo según las necesidades de cada zona de cultivo.



Pero si sus logros en ingeniería hidráulica son impresionantes, sus famosas líneas constituyen uno de los misterios más fascinantes de la arqueología mundial. Estas líneas —enormes geoglifos que representan figuras de animales, plantas, seres humanos y formas geométricas— solo pueden ser apreciadas a cabalidad desde el aire, como si se tratara de mapeos estelares, planteando una pregunta obvia: ¿cómo y por qué una civilización sin capacidad de volar creó las líneas? Las teorías sobre su propósito se multiplican año tras año. ¿Eran calendarios astronómicos gigantescos que marcaban solsticios y equinoccios? ¿Mapas ceremoniales que indicaban las ubicaciones de fuentes de agua subterránea? ¿Caminos rituales por donde desfilaban procesiones religiosas? ¿Representaciones de constelaciones que conectaban el mundo terrestre con el celestial? Cada nueva investigación aporta evidencias que apoyan diferentes hipótesis, pero ninguna explica completamente la complejidad del fenómeno. Lo que sí sabemos es que crear estas líneas requería conocimientos avanzados de geometría, topografía y astronomía. Los nasca desarrollaron técnicas de escalamiento que les permitían trasladar diseños pequeños a dimensiones colosales manteniendo las proporciones exactas. Dominaban conceptos de perspectiva con los que podían calcular cómo se vería una figura desde gran altura, y, asimismo, tenían un conocimiento del territorio tan preciso que podían trazar líneas perfectamente rectas a través de kilómetros de terreno irregular.

Caral

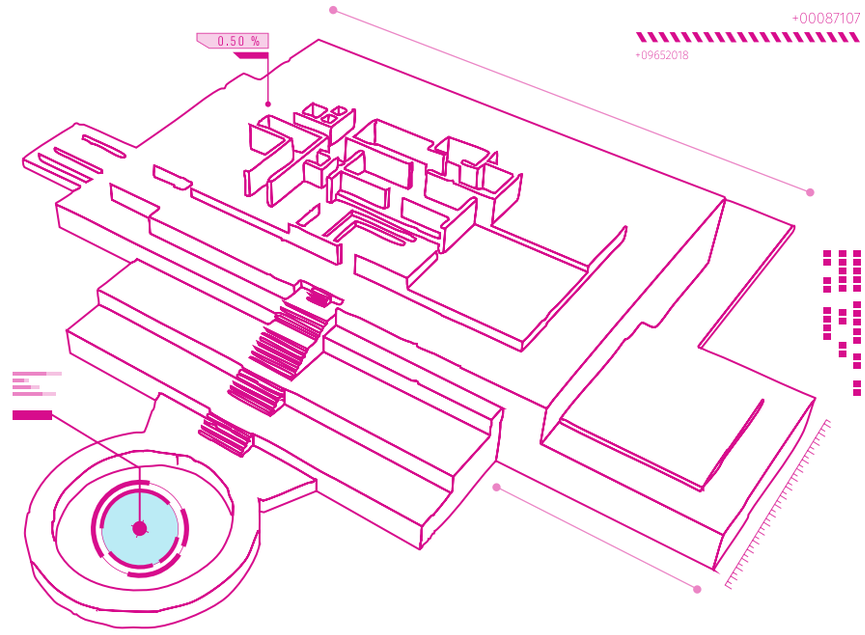
Innovación antisísmica

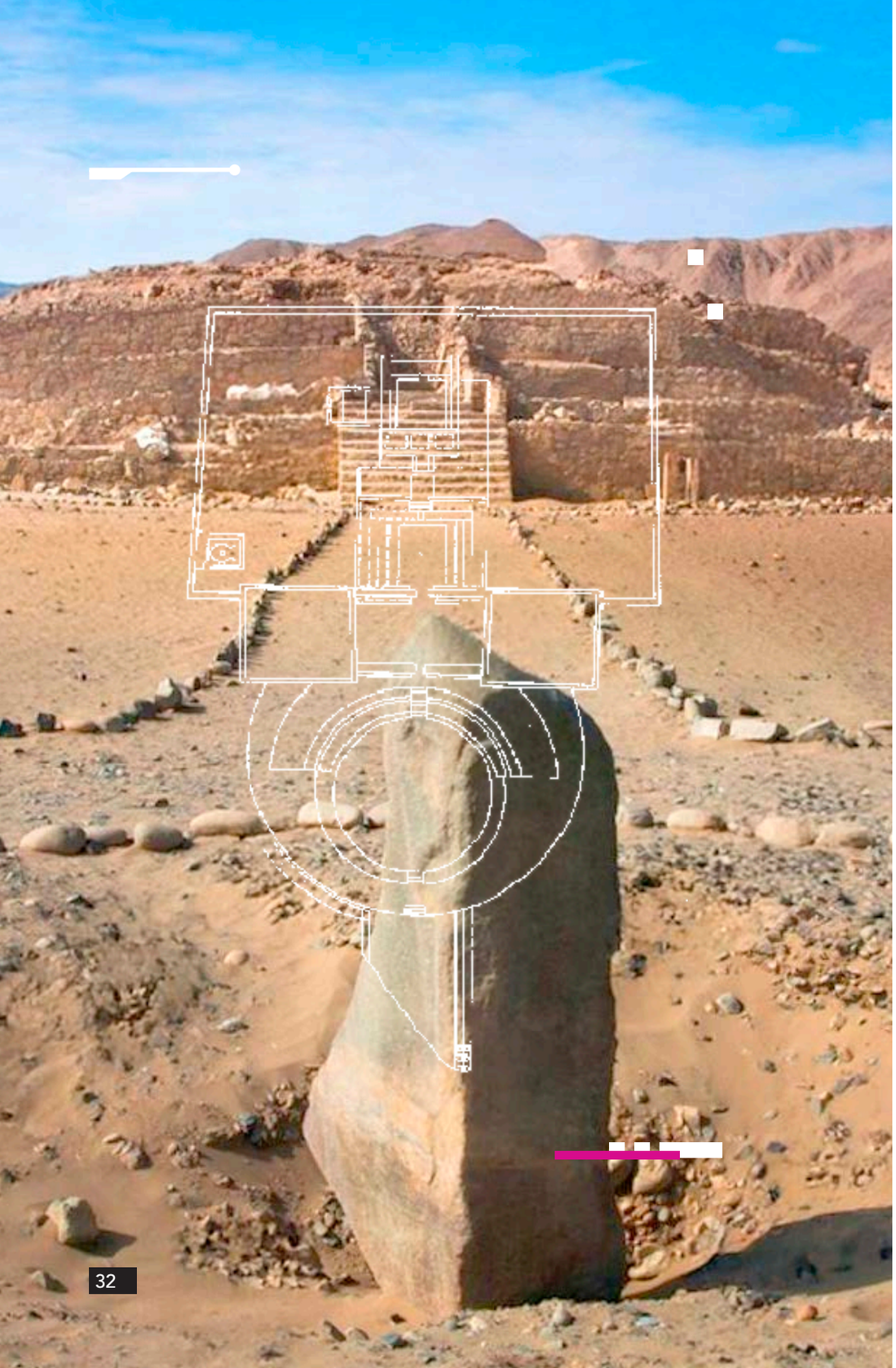
Hace unos cinco mil años, cuando Europa aún vivía en la Edad de Piedra y las primeras dinastías egipcias apenas comenzaban a experimentar con la construcción monumental, los habitantes de Caral ya habían resuelto desafíos de ingeniería que en otras latitudes ni siquiera se planteaban.

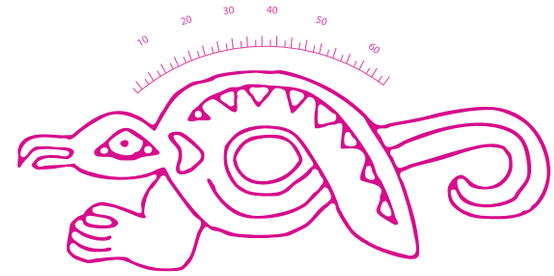
Esta civilización —la más antigua de América— no solo construyó la primera ciudad occidental, sino que desarrolló técnicas de sostenibilidad urbana que actualmente se estudian para enfrentar los inconvenientes que causa el cambio climático.

El complejo de Caral, que se extiende por más de seiscientas hectáreas, era una urbe completamente planificada donde cada elemento comprometía múltiples funciones. Sus pirámides no eran solo monumentos religiosos, sino centros de almacenamiento, observatorios astronómicos y sistemas de ventilación natural.

Sus plazas circulares eran, a la vez, espacios ceremoniales y anfiteatros acústicos diseñados para amplificar sonidos y crear efectos de resonancia que potenciaban los ritos religiosos colectivos. Los constructores de Caral crearon edificios que han resistido cinco mil años en una de las zonas sísmicamente más activas del planeta. Su secreto radica en los cimientos flexibles llamados «shicras» —enormes cestas de fibra vegetal llenas de piedras de diferentes tamaños— que funcionan como amortiguadores. Cuando la tierra tiembla, estas estructuras absorben y disipan la energía en lugar de resistirla rígidamente, un principio que la ingeniería moderna redescubrió apenas en el siglo XX.







Pero los aportes de Caral van mucho más allá de la resistencia sísmica.

Sus constructores desarrollaron sistemas de ventilación que aprovechaban el efecto Venturi —la aceleración del aire cuando pasa por espacios constreñidos— para mantener los fuegos sagrados que ardían permanentemente en sus templos. Estos ductos subterráneos canalizaban corrientes de aire con una precisión que requiere cálculos complejos de dinámica de fluidos. Lo más impresionante es que todo esto se logró sin herramientas de metal, sin animales de carga, sin el conocimiento de la rueda. Los constructores de Caral trabajaron exclusivamente con herramientas de piedra, fibras vegetales y una comprensión profunda de la física y la geometría que transmitían oralmente de generación en generación.

Machu Picchu

Arquitectura orgánica

Construida en 1450 por orden del emperador Pachacútec, esta ciudadela fue forjada a través de la técnica de mampostería ashlar —piedras cortadas con precisión milimétrica que encajan sin mortero—, la cual produce uniones tan perfectas que es imposible insertar un papel entre ellas. Ken Wright, ingeniero especializado en sistemas hidráulicos incas, calcula que gran parte de este proceso fue subterráneo: cimientos, drenajes, canalizaciones que explican por qué estos edificios han resistido quinientos años de desgaste y terremotos. El sistema de agua de Machu Picchu transportaba veintiséis galones por minuto desde un manantial distante hasta el corazón de la ciudadela. La primera fuente se ubicó junto a la residencia del emperador, estableciendo una jerarquía hidráulica que era reflejo de su vertical orden social.

Machu Picchu representa la síntesis ideal de todos los conocimientos arquitectónicos del hombre andino.

El arqueólogo José Miguel Bastante destaca las innovaciones astronómicas que pueden detectarse en la ciudadela sagrada: «Tenemos la suerte de que, a pesar de que han desaparecido en el resto del mundo inca, tenemos dos instrumentos astronómicos precisos, que son el Mirador de Incaraqay y la cueva de Intimachay, ambos relacionados con los solsticios, con los equinoccios y, posiblemente, con el unisticio y con la salida del yacal de las Pléyades».



INTIHUATANA, RELOJ SOLAR
O CALENDARIO ASTRONÓMICO, EN MACHU PICCHU

CONECTADOS A LA NUBE

DESDE HACE 500 AÑOS

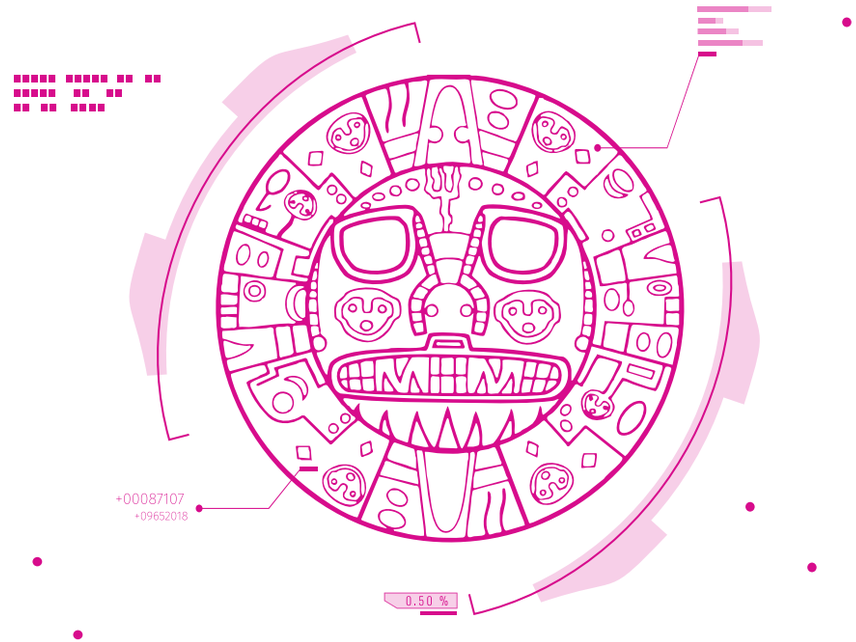
UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Pero subraya aún más que varios de estos logros hayan sido forjados dentro de lo que se considera la arquitectura orgánica, que define como aquella que no afecta el paisaje, sino que se adapta a él, utilizando los mismos afloramientos rocosos como partes integrantes. Bastante abunda sobre ese avance: «Ahí se usaba lo que estaba disponible y se respetaban los afloramientos, las cuevas, que también eran parte del mundo mágico; no solo no se transgredía el emplazamiento natural, sino que se embellecía, como es el caso del Templo del Sol». Bastante nos recuerda, asimismo, que existen muchas posibilidades de nutrir el actual desarrollo de la arqueología con nuevas alternativas tecnológicas. Comenta que ya han aparecido algunas *startups* y emprendimientos relacionados con la moda, con el diseño, con elementos vinculados con saberes tradicionales y la iconografía precolombina.

La arquitectura orgánica es un término acuñado en el siglo XX en Norteamérica, pero los incas y los preincas ya la ponían en práctica varios siglos antes.

Hay también aplicaciones de rutas patrimoniales; por ejemplo, el World Monument Fund ha hecho un 3D del Gran Pajatén y eso permite que los interesados puedan contemplar una zona de bastante difícil acceso y que es frágil desde el punto de vista cultural y natural; sin embargo, ahora se puede apreciar con un visor, como si estuviéramos allí. Incluso hay juegos interactivos que pueden acercarnos a un sitio determinado o generar un sentimiento de respeto y de amor por el país y por nuestros ancestros.

En el caso del tema museológico, hay una infinidad de propuestas que se pueden formular: modelados de 3D, archivos digitales que antes no existían para la gestión de colecciones, acceso directo a las piezas que es posible rotar y estudiar sin causarles daño. Los observatorios astronómicos de Machu Picchu ya se pueden replicar en un museo, sin atenerse a las fechas precisas de un calendario.



Los quipus

Blockchain ancestral

Estos dispositivos de cuerdas anudadas no eran simples sistemas de contabilidad, sino complejas bases de datos que almacenaban información mediante códigos de colores, tipos de nudos, posiciones y hasta la dirección del hilado. Los quipucamayocs —los programadores originales— creaban y descifraban estos sistemas que permitieron administrar un imperio de millones de habitantes sin escritura alfabética.

Los quipus representan el mayor logro en sistemas de información de la humanidad precolombina.

La tecnología detrás del quipu asombraría a cualquier desarrollador de *software* moderno. Cada nudo podía representar información dual, presente o ausente, anticipando los principios fundamentales de la computación digital binaria. Los quipus principales se conectaban con subsidiarios, creando redes de información complejas similares a las bases de datos relacionales que utilizamos hoy.

Los incas implementaron sistemas de respaldo manteniendo múltiples copias de quipus importantes, desarrollando redundancia de datos cinco siglos antes de la era digital. Además, solo los quipucamayocs especializados podían interpretar completamente cada dispositivo, creando un sistema de seguridad informática orgánico. Los quipus más antiguos datan del 2500 a. C., precediendo por milenios a la escritura china y superando en funcionalidad a muchos sistemas de registro posteriores. Un quipu podía contener desde inventarios de almacenes hasta genealogías reales, calendarios astronómicos, narrativas históricas y hasta composiciones poéticas.



QUIPU IMPERIAL, SISTEMA DE REGISTRO
DE INFORMACIÓN DEL IMPERIO INCAICO

TEJIENDO BLOCKCHAINS

DESDE 2500 A.C.

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Cinco milenios de innovación

Mientras Silicon Valley tiene setenta años de historia tecnológica, el Perú ostenta cincuenta siglos de experimentación continuada en arquitectura sísmica, agricultura vertical, medicina natural y sistemas de información.

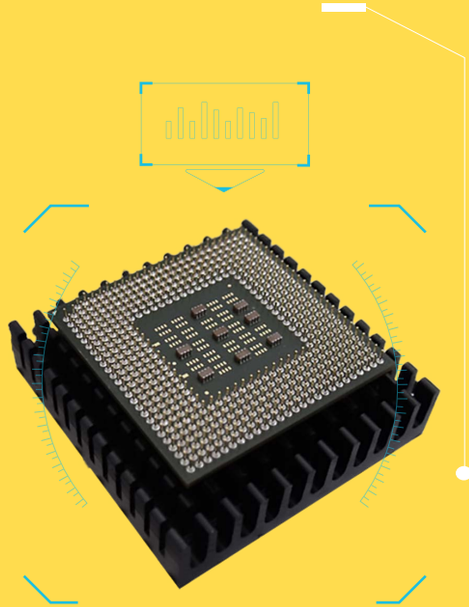
El Perú goza de una ventajosa anomalía geográfica e histórica. Mientras otras naciones construyen sus posibilidades competitivas sobre recursos naturales agotables o desarrollos tecnológicos de reciente aparición, este país acumula cinco milenios de innovación sostenida. Esta riqueza patrimonial constituye una inacabable gama de soluciones ancestrales perfectamente aplicable a crisis contemporáneas como el cambio climático, la urbanización acelerada y la gestión de recursos hídricos. Esta profundidad temporal, combinada con la urgencia global por encontrar alternativas sostenibles a los modelos de desarrollo que nos ha legado Occidente, posiciona al patrimonio peruano no como un vestigio arqueológico, sino como un referente universal de infinita vigencia.

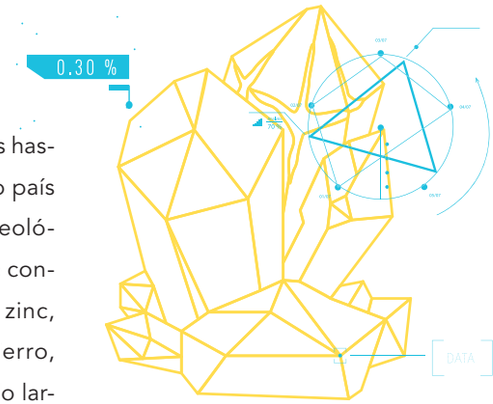
El presidente del Museo Larco, Andrés Álvarez Calderón, explica bien el aprendizaje de las culturas precolombinas y cómo este, aún hoy, puede inspirarnos: una de las mayores lecciones de innovación de los antiguos peruanos está en el trabajo colectivo, basado en la reciprocidad andina. Se trataba de una lógica que no solo buscaba resolver los problemas de una comunidad específica, sino de varias comunidades que podían entrelazarse de manera recíproca para ver distintos ángulos de un mismo desafío y aportar en conjunto a su resolución. Este enfoque colectivo aseguraba que las soluciones fueran más equitativas y respondieran mejor a las necesidades de las poblaciones, fortaleciendo la resiliencia social y ecológica.

El gran diferenciador del conocimiento ancestral está en su íntima relación con los ciclos de la vida y de la naturaleza. Las comunidades andinas milenarias desarrollaron una lógica ecológica en la que primaba el cuidado mutuo entre seres humanos y no humanos, en una convivencia orientada a mantener el equilibrio. Si ese principio se toma en cuenta hoy, puede inspirar procesos de innovación verdaderamente sostenibles, que prioricen la vida en armonía y el respeto por el cuerpo común que habitamos: la Tierra, no entendida como un recurso a explotar, sino como el organismo que nos sostiene.

Mining tech hecho en el Perú: conocimiento ancestral con minería del futuro

Mucho antes de que Steve Jobs revolucionara la industria con el primer iPhone, los antiguos peruanos ya habían descubierto y dominado los metales que harían posibles todas las revoluciones tecnológicas venideras.





Desde las montañas de los Andes hasta los desiertos costeros, nuestro país alberga uno de los complejos geológicos más ricos del planeta, que contiene cobre, oro, plata, plomo, zinc, estaño, tungsteno, carbón y hierro, distribuidos estratégicamente a lo largo de todas las regiones del país. La historia de la minería peruana no es solo la crónica de la extracción de metales; es la narrativa de cómo una geografía excepcional y una tradición milenaria de innovación tecnológica han establecido ventajas comparativas que perduran hasta nuestros días, posicionando al Perú como uno de los espacios naturales de experimentación metalúrgica más importantes de la humanidad.

Cuando Europa buscaba especias en rutas comerciales lejanas, en los valles y montañas del Perú se gestaba la verdadera riqueza que transformaría para siempre la economía global.

En 2025, el país es el tercer productor mundial de cobre; segundo en plata y zinc; tercero en plomo; cuarto en estaño y molibdeno; quinto en boro; y noveno productor global de oro, según Infobae y gop.pe. Pero estos números son solo la manifestación más reciente de una tradición que se extiende, en la que cada civilización precolombina aportó innovaciones técnicas que anticiparon principios fundamentales de la metalurgia moderna. Donde otros solo ven agrestes montañas rocosas, el Perú ha demostrado durante cincuenta siglos que posee el conocimiento ancestral necesario para transformar piedra en tecnología que cambia el mundo.

La minería inteligente del futuro —automatizada, precisa, sustentable— puede desarrollarse desde los aprendizajes ancestrales del Perú.

El conocimiento tácito sobre metalurgia, extracción mineral y aleaciones andinas acumulado durante siglos está siendo validado por la ciencia contemporánea. Investigaciones modernas confirman cómo los metalurgistas locales dominaron técnicas sofisticadas mediante su profundo conocimiento de flujos de viento y selección de minerales, demostrando una eficiencia tecnológica que hoy sorprende a los especialistas, como afirma Reserachgate. Este patrimonio técnico ancestral revela soluciones ingeniosas que anticiparon conceptos actuales de sostenibilidad e innovación adaptativa.



MÁSCARA FUNERARIA DE SICÁN

INGENIERÍA AURÍFERA

DESDE HACE 4 MILENIOS

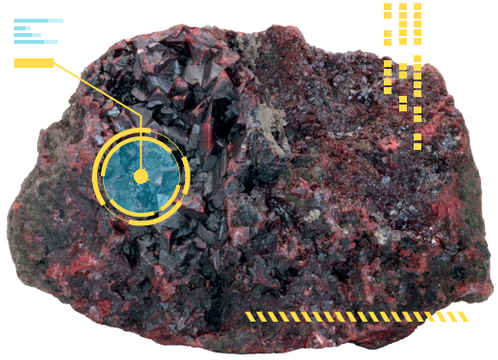
UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

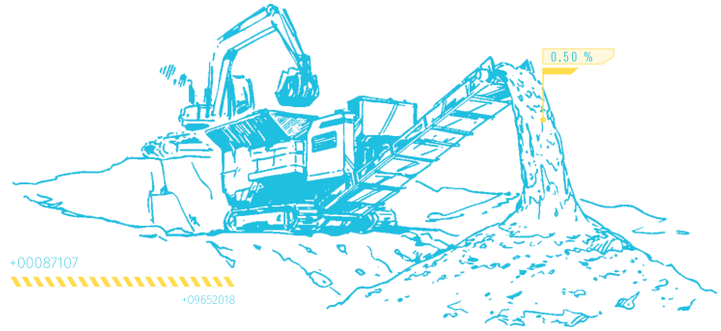
Del cinabrio al chip

Minería 4.0 en las montañas del Perú

La tradición minera peruana comenzó mucho antes de lo que tradicionalmente se creía. Investigaciones recientes revelan que la minería de mercurio en Huancavelica ya se practicaba alrededor del 1400 a. C., mucho antes de que la cultura chavín alcanzara su apogeo entre 800 a. C. y 400 a. C. Los antiguos peruanos descubrieron el cinabrio, mineral del cual se extrae el mercurio, y desarrollaron técnicas de procesamiento que utilizarían durante tres milenios. Este descubrimiento temprano del mercurio resultó fundamental. Nuestros predecesores comprendieron que este metal líquido era esencial para procesar otros minerales preciosos mediante amalgamación, una técnica que revolucionaría, posteriormente, la extracción de plata durante el período colonial. La tradición minera de Huancavelica, que incluye una historia colonial de 450 años, estableció los principios técnicos que harían del Perú el centro neurálgico de la economía global durante siglos.

Las culturas preincaicas no solo extrajeron minerales: desarrollaron sistemas complejos de procesamiento que anticiparon principios de la metalurgia moderna. Sus sistemas de registro y transmisión de conocimientos técnicos aseguraban que cada innovación se preservara y perfeccionara de generación en generación. Los hornos funcionaron como los primeros sistemas expertos, donde el conocimiento sobre temperatura, tiempo y mezclas se codificó en prácticas continuamente organizadas. Los complejos sistemas de ventilación en minas como Huancavelica anticiparon los principios de climatización inteligente que recién hoy vemos en los centros de datos de Google. La sofisticación de estas técnicas fue tal que, cuando los españoles llegaron en 1532, encontraron sistemas de extracción y procesamiento que funcionaban con una eficiencia que no lograron superar durante décadas. Los incas desarrollaron métodos de extracción por gravedad, técnicas de concentración mineral y sistemas de fundición que operaban sin combustibles fósiles, anticipando principios de sostenibilidad.





Perfeccionaron técnicas de fundición que requerían conocimientos avanzados de control de temperatura, química de aleaciones y manejo de materiales tóxicos.

La ruta de la plata

Durante la época colonial se explotó intensivamente el oro, la plata, el mercurio y, en menor escala, el plomo. Pero fue la plata la que catapultó al Perú como el centro de la primera economía verdaderamente global.

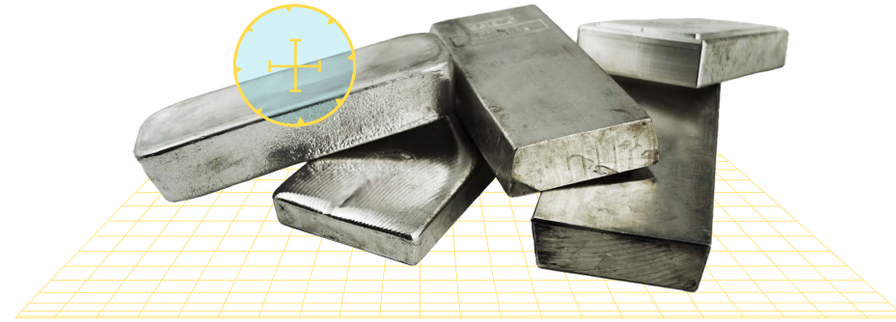


El descubrimiento de las minas de Potosí, en 1545, marcó el inicio de una era en la que la plata financió las guerras coloniales de expansión de España y decoró sus iglesias católicas, convirtiendo al peso español en la primera moneda global para finales del siglo XVIII. La extracción de plata colonial fue mucho más que una operación minera; resultó un sistema tecnológico integrado que conectó tres continentes. El mercurio de Huancavelica era transportado por llamas y mulas hacia el este, hasta Chincha, embarcado en galeones hacia Arequipa, y luego transportado por tierra hasta Potosí, una red logística que abarcaba más de mil millas.

La logística colonial que conectaba Huancavelica con Potosí representa el primer ejemplo documentado de una «cadena de suministro globalizada». El mercurio viajaba en una red integrada de transporte multimodal —llamas, mulas, barcos y carretas— que funcionaba con la puntualidad de un sistema ERP contemporáneo. Esta red anticipó por siglos los principios de logística *just-in-time* que hoy consideramos revolucionarios.

El proceso de amalgamación con mercurio, introducido por los españoles en la década de 1570, fue la versión colonial del desarrollo tecnológico disruptivo.

Esta innovación multiplicó por cuatro la producción de plata y cambió para siempre las reglas del juego. Este método, llamado «proceso de patio», tomaba minerales de menor calidad y los convertía en plata pura.



El cobre peruano

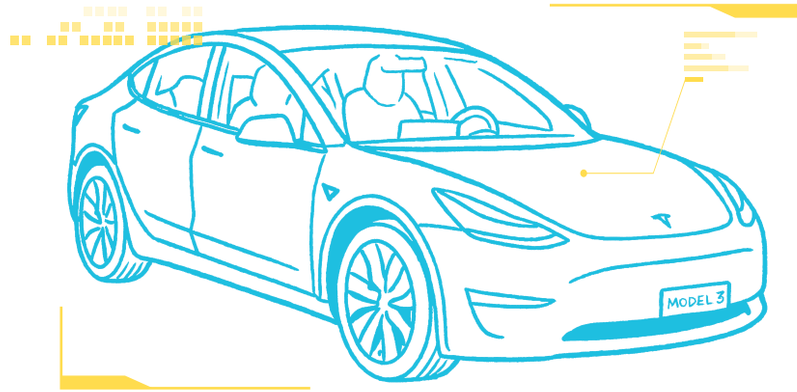
De las aleaciones moche a los vehículos Tesla

El cobre estableció el patrón peruano de liderazgo en extracción y procesamiento de minerales que perdura hasta nuestros días. La evidencia de metalurgia regional temprana de cobre en los Andes centrales se encuentra en varios registros de sedimentos de hielo y lagos de Bolivia y Perú, que muestran enriquecimientos distintos de Cu y Pb durante el primer milenio d. C. (período Tiwanaku/Wari, 600-1150 d. C.), el Período Intermedio Tardío (1150-1450 d. C.) y el Imperio Inca.

Los mochicas crearon aleaciones de cobre-arsénico que eran más resistentes y dúctiles que el cobre puro, aplicando principios de nanotecnología que la ciencia moderna tardó siglos en comprender. Un ejemplo conocido de ello son los cuchillos ceremoniales Tumi, que contenían entre 3 % y 6 % de arsénico.

Los antiguos metalurgistas desarrollaron técnicas de aleación que funcionaban como los actuales «materiales inteligentes».





Las técnicas de procesamiento de cobre desarrolladas por culturas como Chavín y Sicán anticiparon los principios de la manufactura aditiva (impresión 3D). Sus métodos de fundición por capas, donde diferentes aleaciones se aplicaban secuencialmente para crear objetos complejos, operaban con la misma lógica que los modernos procesos de fabricación digital.

Hoy el cobre peruano entra en el *pool* de refinado global que alimenta las cadenas de valor de EV, fabricantes de cables y electrónica. Es un metal muy requerido por la industria de autos eléctricos.

La tradición cuprífera peruana se distingue por su integración holística de extracción, procesamiento y aplicación —un enfoque de «sistema completo» que recuerda a la filosofía de diseño de Apple.

Conocimiento ancestral que vale oro

Perú ocupa el primer lugar en reservas mundiales de plata con 21.8 % del total global, el cuarto lugar en reservas de oro con 3.9 %, y es el noveno mayor productor mundial de oro.

Esta supremacía en metales preciosos no es solo resultado de la geología favorable; es la culminación de técnicas de prospección, extracción y procesamiento perfeccionadas durante milenios por culturas que comprendían la geología andina mejor que cualquier manual moderno.

La minería aurífera peruana moderna se beneficia directamente de este conocimiento ancestral. Operaciones como Yanacocha, una de las minas de oro más grandes de Sudamérica, trabajan en depósitos que fueron identificados y parcialmente explotados por culturas precolombinas. Los patrones de mineralización, las técnicas de concentración y los métodos de procesamiento que utilizan estas operaciones modernas reflejan principios que los antiguos peruanos descubrieron mediante siglos de experimentación práctica.



HORNO HUAYRA

MINERÍA SOSTENIBLE

DESDE TIEMPOS PREHISPÁNICOS

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Minería *smart*

La diversificación mineral no es coincidencia; refleja la comprensión ancestral de que la riqueza minera también proviene de la capacidad de procesar múltiples metales de manera integrada y eficiente.

Las minas polimetálicas peruanas como Cerro de Pasco han operado durante siglos, extrayendo simultáneamente zinc, plomo y plata. Durante cuatrocientos años, las rocas alrededor de las fogatas en Cerro de Pasco convirtieron esta zona en una de las más ricas del mundo en metales base. Esta tradición de minería polimetálica estableció conocimientos técnicos sobre procesamiento selectivo, recuperación de subproductos y optimización de operaciones complejas.

Perú es el segundo mayor productor mundial de zinc con 8.7% de las reservas globales, y el quinto en plomo con 5.2% de las reservas mundiales

La experiencia y conocimiento peruanos en minerales estratégicos se extienden también al estaño, dado que Perú es el cuarto mayor productor mundial, y al molibdeno, pues ocupa la misma posición según el Servicio Geológico de Estados Unidos. Estos metales, esenciales para tecnologías modernas como aleaciones de alta resistencia y catalizadores industriales, representan la evolución natural de una tradición metalúrgica que siempre ha estado a la vanguardia de la innovación tecnológica.



TUPU INCAICO

METALURGIA INNOVADORA

DESDE HACE 3500 AÑOS

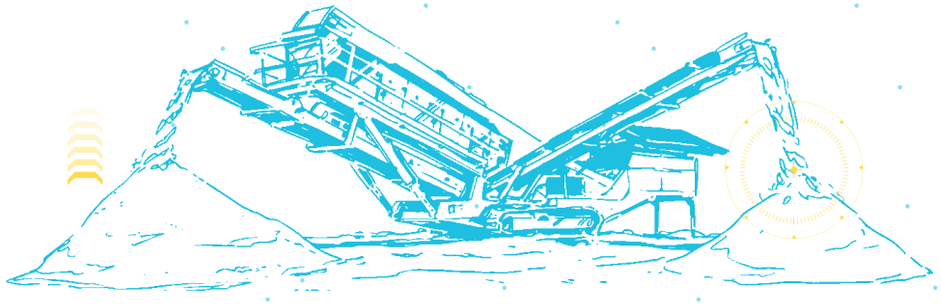
UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Hacia un ecosistema de *startups*

La industria minera peruana contemporánea está experimentando una transformación hacia prácticas sostenibles que encuentran inspiración en técnicas ancestrales que operaron durante siglos sin degradar los ecosistemas andinos.

El memorando de entendimiento entre Perú y Estados Unidos, firmado en agosto de 2024, busca incrementar la inversión en tecnologías mineras y soluciones verdes que fortalezcan el papel de Perú en las cadenas de suministro globales.

Las *startups* mineras peruanas tienen un terreno fértil para prosperar: un país con una enorme riqueza geológica y una urgencia del sector por descarbonizar la industria, utilizar energías limpias, optimizar procesos, mejorar las relaciones con las comunidades y la gestión hídrica. Quienes sepan identificar las necesidades y ofrecer soluciones disruptivas y eficaces pueden convertirse en esa *startup* que llegó para cambiarlo todo. El caso de Chile es modélico, a pesar de que el Perú tiene mayores reservas de minería y oportunidades de crecimiento, nuestro vecino ya tiene un reconocimiento mundial como desarrollador y proveedor de tecnologías aplicadas a la minería.



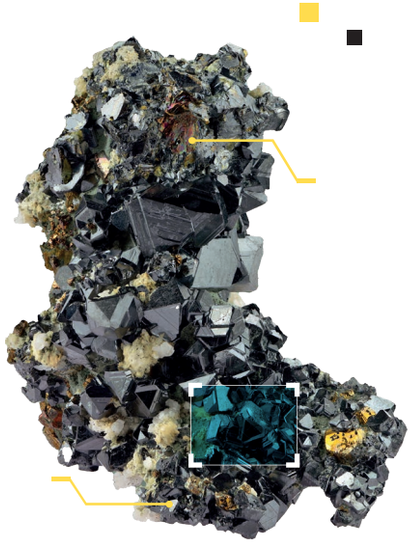
Si miramos otros sectores, en el Perú encontramos a Ritec. Una empresa en Lambayeque dedicada al sector agrícola con énfasis en sistemas de riego tecnificado que no es una *startup*, pero sí una empresa peruana innovadora en el sector *agrotech*. Ha desarrollado un prototipo de máquina inteligente de fertirriego de control remoto y bajo costo, que incluye *hardware, software* virtual para almacenar, procesar y transferir datos, y permite monitorear/controlar remotamente el proceso de fertirriego.

Como exportadores clave de cobre y litio necesitamos un ecosistema con soluciones rápidas, escalables y digitales para poder responder a las exigencias globales.

Cuando lo logremos, además de ser un país proveedor de minerales, seremos exportadores de innovación minera. Pero para eso hay que dar los primeros pasos.

Con una sólida experiencia en el sector, Ignacio Bustamante, director de Metales Base de Appian, sostiene que «en el Perú se han observado avances importantes en la aplicación de tecnologías como la digitalización de operaciones, camiones autónomos, monitoreo remoto, sensores en tiempo real, clasificación de minerales (*ore sorting*), inteligencia artificial, *big data*, *machine learning*, y uso de drones, entre otros.

Estas tecnologías se aplican a lo largo de toda la cadena de valor: desde la exploración hasta el procesamiento de minerales.



También destacan iniciativas como el Hub de Innovación Minera del Perú, que busca fomentar un ecosistema innovador. No obstante, muchas de estas tecnologías han sido desarrolladas en el extranjero y adaptadas localmente.

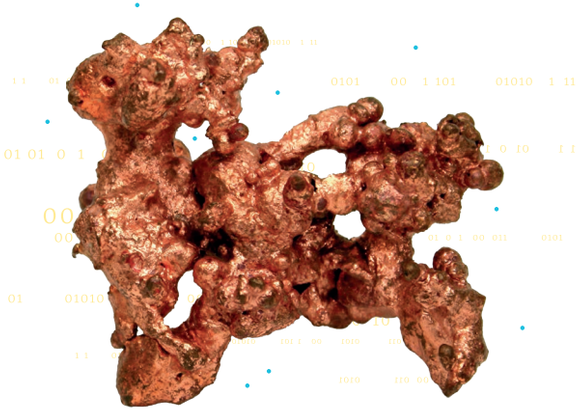


Aún no contamos con desarrollos propios de alcance global que posicionen al Perú como líder en innovación minera. Si combinamos estas tecnologías con nuestra riqueza geológica y el talento de nuestros profesionales, podríamos lograr avances significativos. Esta sigue siendo una tarea pendiente. Las oportunidades son enormes. Las empresas mineras responsables son conscientes de que la sostenibilidad es esencial para su viabilidad a largo plazo, y están dispuestas a invertir en innovación para lograrlo. Al mismo tiempo, como ocurre en cualquier industria, la competitividad es clave para la supervivencia. Es decir, la demanda por soluciones sostenibles e innovadoras ya existe. El reto está en que los jóvenes emprendedores comprendan a fondo las necesidades del sector y canalicen sus ideas hacia el desarrollo de productos, servicios o tecnologías que atiendan esas demandas. La conexión entre emprendedores, empresas, comunidades y los diversos actores del ecosistema minero será fundamental para que estas oportunidades se materialicen».

Cinco milenios de ventaja competitiva sostenible

La minería representa alrededor del 11 % de la producción total del país y el 57 % del valor de sus exportaciones, con el cobre representando la mayor participación con 52 %, seguido del oro con 27 % y el zinc con 7 %, de acuerdo a un estudio de 2024 a cargo de Identec Solutions.

Estas cifras reflejan no solo abundancia geológica, sino la culminación de cinco milenios de aprendizaje continuo sobre cómo extraer, procesar y aplicar recursos minerales de manera eficiente y sostenible.



La riqueza minera peruana es más que una dotación geológica excepcional; es la materialización de la sabiduría técnica en el manejo de recursos minerales. Esta ventaja comparativa, forjada durante cincuenta siglos de experimentación continuada, asegura que el Perú mantendrá su posición de liderazgo en la industria minera global no solo por sus reservas, sino por su incomparable conocimiento sobre cómo transformar la inmutable roca en tecnología que impulsa el progreso humano. Como reconoce Bustamente, «el minero peruano se distingue por su gran capacidad de trabajo, ingenio, creatividad, experiencia y profundo conocimiento del sector. Habiendo tenido la oportunidad de trabajar en minería en diversos países y continentes, puedo afirmar esto con certeza. Esta fortaleza es el resultado de siglos de historia y tradición, que hacen que el trabajador peruano destaque a nivel internacional en eficiencia y desempeño. A ello se suma el legado de nuestras culturas prehispánicas, que siempre tuvieron una visión de armonía con la naturaleza. Supieron gestionar el agua mediante andenes y sistemas de irrigación, reutilizar materiales y aprovechar los recursos con ingenio y respeto. Esa lógica de eficiencia y sostenibilidad es hoy el modelo que busca la minería moderna: una minería responsable, de bajo impacto, que minimice residuos, use de forma eficiente la energía y el agua, y conviva en armonía con las comunidades y su entorno».

03

El *data lake* biológico más poderoso del planeta

El Perú es un sistema operativo natural donde cada piso ecológico es un servidor, cada especie una línea de código y cada ecosistema una arquitectura de procesamiento de información evolutiva.

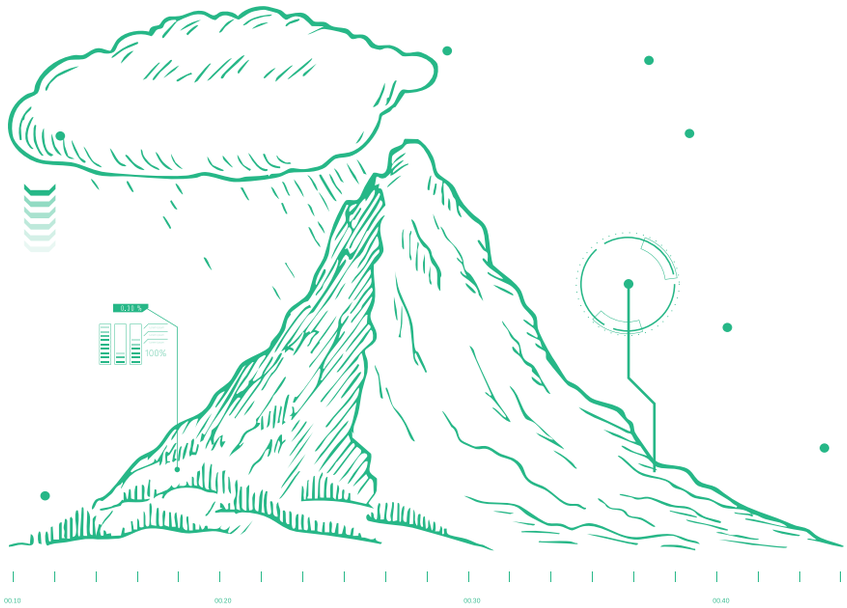


Durante más de diez mil años ha sido el ecosistema de experimentación biológica y agrícola más sofisticado del planeta



Antes de que existieran los algoritmos de aprendizaje automático, aquí operaba un sistema similar de índole biológico, donde generaciones de agricultores refinaron durante siglos las mejores combinaciones de cultivos, microclimas y técnicas de manejo ecosistémico. Cuando las corporaciones contemporáneas hablan de «diversificación de portafolios» para reducir riesgos, están aplicando principios que los antiguos peruanos perfeccionaron hace cinco mil años a través del control vertical de pisos ecológicos y la domesticación de cientos de especies alimentarias.

El territorio peruano privilegiado funciona como un computador natural donde cada ecosistema procesa información genética, climática y biológica de manera continua, generando soluciones evolutivas que han inspirado innovaciones modernas en campos que van desde la biotecnología hasta la ingeniería de sistemas. Un ejemplo es Bio Natural Solutions, que desarrolló productos biotecnológicos a partir de residuos de frutas tropicales que extienden la vida útil de productos agrícolas, como sostiene la Universidad También destacan los sistemas hidráulicos modernos inspirados en tecnologías andinas ancestrales, que integran ecosistemas naturales como humedales altoandinos para la adaptación al cambio climático, según BBC News.



El Perú concentra 84 de las 117 zonas de vida del planeta, según los mapeos de organismos internacionales.

Hablamos de una diversidad que convierte al territorio nacional en el equivalente natural de un centro de datos global que procesa la mayor cantidad de información genética y ecosistémica por metro cuadrado. Con más del 60 % de su territorio cubierto por bosques tropicales, según cifras del Ministerio del Ambiente, el Perú es el cuarto país con mayor superficie de estos ecosistemas en el mundo. Pero estas cifras solo revelan una fracción de la historia: el Perú alberga cerca del 10 % de las especies del planeta en menos del 1 % de la superficie terrestre, según datos de la Fundación Aquae, una concentración de recursos genéticos que ningún laboratorio moderno podría replicar. Por ejemplo, en 2024 se estableció que es el país con la mayor diversidad de aves del mundo. Los ecosistemas van desde el desierto costero hasta la Selva Amazónica peruana, el bioma más extendido del país (59 % del territorio), así como el más biodiverso. Es como si la naturaleza hubiera diseñado un laboratorio de pruebas con condiciones controladas extremas: desde desiertos donde llueve menos de dos milímetros al año hasta selvas con precipitaciones superiores a los 4000 milímetros anuales desde el nivel del mar, hasta alturas que superan los 6700 metros.

Cada uno de estos elementos actúa como un componente especializado:

La corriente marina regula la temperatura y aporta nutrientes que sustentan una de las cadenas alimentarias más productivas del océano; los Andes funcionan como una barrera climática que crea gradientes de precipitación y temperatura extremos; y la Amazonía opera como el «radiador» del sistema, reciclando humedad y regulando patrones climáticos continentales.



MORAY,
CENTRO DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA INCA

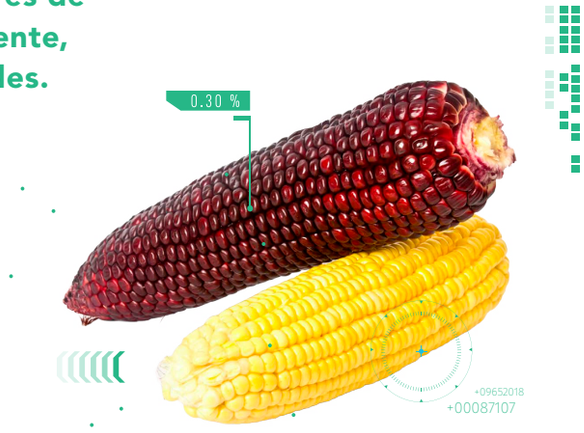
MAESTROS EN AGTECH

DESDE HACE 3000 AÑOS

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

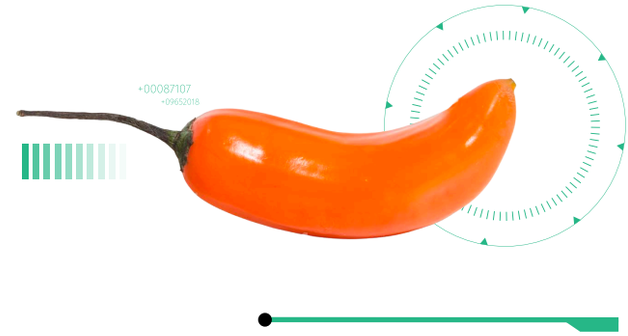
Maestros de la ingeniería genética

La agricultura se inició hace aproximadamente diez mil años en al menos nueve lugares de manera independiente, incluyendo los Andes.



En el valle de Chicama, las evidencias más antiguas de consumo de plantas domesticadas están en la Huaca Prieta, según investigaciones de Jeffrey Quilter, donde hace seis mil quinientos años estas comunidades tenían acceso a una variedad de maíz y ají. Los antiguos peruanos no fueron simplemente agricultores; fueron ingenieros genéticos que aplicaron principios de selección artificial con una sofisticación que la ciencia moderna tardó siglos en comprender. El proceso de domesticación de los camélidos sudamericanos se efectuó entre 5500 a 4200 años a. C., según investigaciones del Ministerio de Agricultura y Riego, con sitios tempranos en el altiplano peruano-boliviano, la cuenca del Titicaca y la puna de Junín.

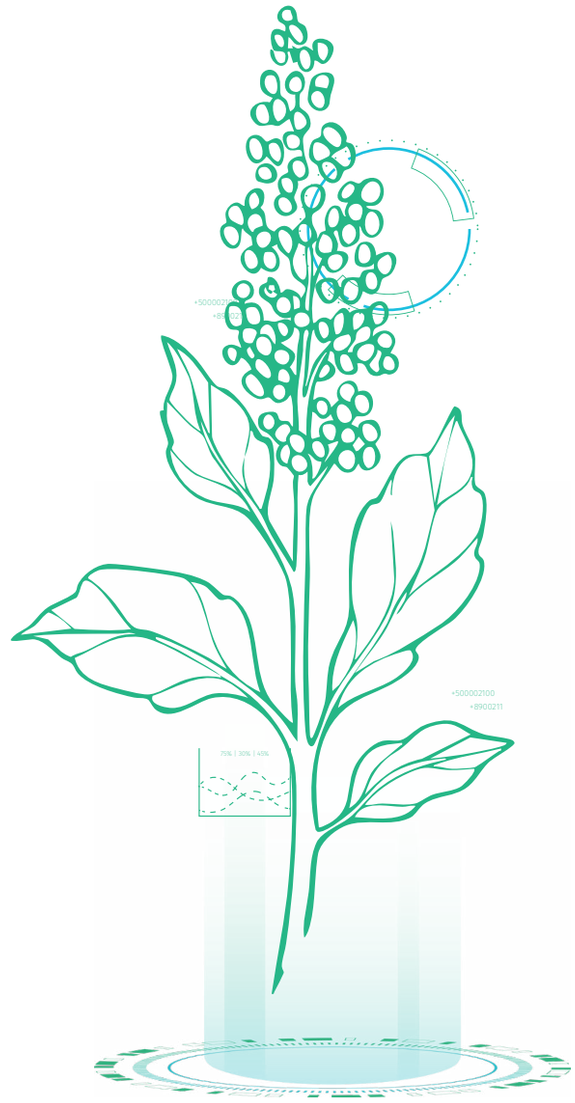
Esta simultaneidad entre domesticación de plantas y animales creó sistemas agrícolas integrados que funcionaban como los modernos ecosistemas empresariales, donde cada componente optimiza la performance del conjunto. El control vertical de pisos ecológicos que desarrollaron culturas como Tiahuanaco, Huari e Inca representa el equivalente precolombino de la sistematización distribuida. En los Andes, el desarrollo de la agricultura guarda relación con la variedad climática, geológica y de su biodiversidad en la sucesión de pisos ecológicos, según el Instituto Francés de Estudios Andinos. Los andenes, terrazas y camellones consistían en la modificación del relieve mediante la creación de plataformas horizontales o escalonadas, de acuerdo con documentación de Forest Trends, que se rellenaban con tierra fértil y se rodeaban de muros de piedra. Estas estructuras funcionaban como servidores especializados, cada uno optimizado para diferentes cultivos y condiciones climáticas. Los andenes son mucho más sofisticados que los sistemas aterrazados mediterráneos, según un original análisis del blog científico Un Universo Invisible, con agricultura en un sistema de policultivos con riego, además de suelos recreados por aquellas culturas, diseñados con vistas a generar microclimas diferentes. Mientras las granjas verticales modernas son celebradas como innovación revolucionaria, los antiguos peruanos perfeccionaron la agricultura vertical hace más de mil años, creando sistemas que no requerían electricidad, funcionaban con recursos renovables y producían alimentos orgánicos de manera sostenible.



Los *superfoods*: cuando el *marketing* descubre la sabiduría ancestral

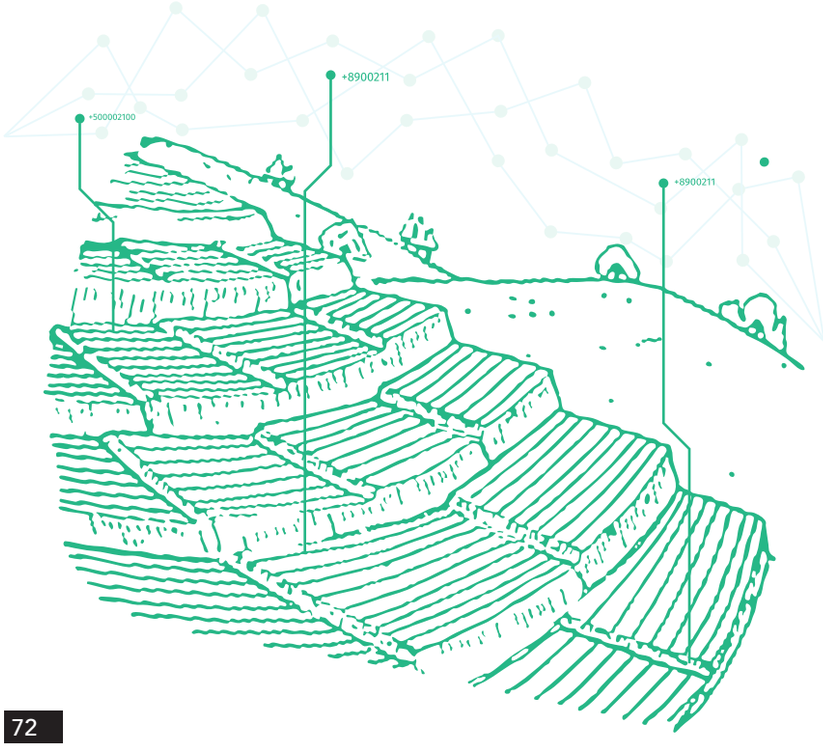
La industria global de «*superfoods*», que mueve miles de millones de dólares, está construida sobre cultivos que los antiguos peruanos domesticaron y perfeccionaron durante milenios. El Perú se ha consolidado como el primer productor y exportador mundial de espárragos, quinua y maca, según datos del Ministerio de Agricultura, además de ser líder mundial en exportaciones de arándanos frescos y segundo en palta, espárragos frescos y castañas peladas, de acuerdo a información de Agraria.pe.

La quinua, que hoy se vende como supergrano en los mercados más sofisticados del mundo, era el *«chisiya mama»* (madre de todos los granos) para los incas.



Su domesticación en los Andes hace más de cuatro mil años incluyó la selección de variedades adaptadas a diferentes altitudes, climas y usos culinarios. Los antiguos agricultores peruanos crearon un portafolio de variedades de quinua más diverso que cualquier catálogo comercial contemporáneo, desarrollando cultivos específicos para resistir heladas (quinua blanca de Junín), sequías (quinua roja del Altiplano), plagas (quinua amarga con alto contenido de saponinas) y diferentes condiciones de suelo. La complejidad de este proceso de mejoramiento genético ancestral es extraordinaria. Los agricultores andinos no solo seleccionaron variedades por resistencia ambiental, sino que desarrollaron sistemas de clasificación basados en color, tamaño, sabor, contenido nutricional y propiedades culinarias específicas. Esta metodología de mejoramiento participativo, donde cientos de comunidades contribuían al *pool* genético común a través de intercambios y selección continua, creó una diversidad genética que supera cualquier programa de mejoramiento moderno.

El Perú es el cuarto exportador mundial de pimientos secos, el quinto en uvas y frijol, así como el sexto en mangos y séptimo en mandarinas, café (segundo exportador mundial de café orgánico) y jengibre. En 2024, el país consolidó su posición como potencia agroexportadora alcanzando un récord de USD 12 399 millones, según datos de ComexPerú, representando el 16.6 % del total de envíos al mundo. El Perú mantiene su liderazgo como primer exportador mundial de quinua y arándanos frescos, segundo en palta y espárragos frescos, y tercero en jengibre entero. Los arándanos lideraron las exportaciones con USD 2108 millones (20.7 % del total), seguidos por las paltas con USD 1242 millones, y las uvas frescas con USD 1113 millones, según el Ministerio de Agricultura. En 2006, cuando se comenzaba a hablar de *disrupting industries,* Carlos Gereda ya estaba ejecutando la disrupción más audaz del agro mundial: convencer al planeta de que el Perú podía producir arándanos donde la literatura decía que no se podían producir porque no hay suficientes horas-frío.



Hoy, menos de dos décadas después, el Perú se ha consolidado como el primer exportador mundial de arándanos, con el 30 % de participación en el mercado global y exportaciones que alcanzaron USD 2270 millones en 2024, una cifra que representa el crecimiento más espectacular de cualquier industria agroexportadora en la historia reciente. Además, generó 137 752 puestos de trabajo directos en la campaña 2022/2023, según la Asociación de Productores de Arándanos del Perú (Proarándanos). Este récord se logró con 326 000 toneladas exportadas, un incremento del 57 % respecto al año anterior, posicionando al país andino muy por encima de competidores tradicionales como Chile, que facturó USD 476 millones el mismo año.

Lo que empezó como un proyecto aparentemente imposible se convirtió en la demostración más espectacular de cómo el territorio peruano puede reescribir las reglas de la agricultura global cuando la visión innovadora se encuentra con condiciones geográficas excepcionales.

La revolución comenzó cuando Gereda identificó algo que ningún algoritmo de *machine learning* habría predicho: que las condiciones desérticas de la costa peruana, consideradas hostiles para el arándano, podían convertirse en la ventaja competitiva más poderosa de la industria. Mientras otros países dependían de estaciones climáticas específicas para la producción, el Perú desarrolló la capacidad de producir arándanos durante los doce meses del año, operando como el único «servidor disponible 24/7» en el mercado mundial de esta *superfruit*. En alianza con la Universidad de Georgia desde 2012, la empresa creó variedades completamente nuevas como Salvador, Matías, Abril Blue+ y Alessia Blue+, cada una optimizada para condiciones específicas del territorio peruano y diseñada para maximizar atributos que el mercado mundial valora: tamaño jumbo, vida postcosecha extendida, resistencia al transporte y sabor superior. Cada nueva variedad toma hasta seis años en desarrollarse, un proceso que replica los ciclos de investigación y desarrollo de las corporaciones tecnológicas más avanzadas. Las características de Abril Blue+ y Alessia Blue+ incluyen más de setenta días de vida postcosecha, gran calibre, sabor dulce y una productividad importante de +4kg por planta. Estas especificaciones técnicas superan los estándares que la industria mundial consideraba alcanzables, estableciendo nuevos *benchmarks* que otros productores luchan por igualar. El enfoque de Inka's Berries trasciende la simple agricultura: opera como una empresa verticalmente integrada que controla toda la cadena de valor desde la genética hasta el laboratorio, del vivero al campo y de la planta empacadora al mundo. La mayor parte de las exportaciones peruanas en 2024 se orientó a Estados Unidos (55 %), seguida por los Países Bajos (21 %) y Hong Kong (9 %), mercados que en conjunto representaron el 85 % del total exportado. Esta distribución refleja una estrategia de mercadeo que combina volumen (Estados Unidos), *premium pricing* (Europa) y crecimiento emergente (Asia), optimizando simultáneamente múltiples variables de *revenue*.

Inka's Berries no se limitó a adaptar variedades existentes; desarrolló un programa de *breeding* que funciona como los algoritmos evolutivos más sofisticados de la inteligencia artificial



Para 2025, se estima que el volumen exportado podría superar las 350 000 toneladas, si no se presentan eventos climáticos extremos, según proyecciones del sector.

Inka's Berries opera con dos divisiones de negocio, Genetics y Growers, que se articulan perfectamente para contar con *berries* que satisfagan la variada y exigente demanda mundial. Esta arquitectura empresarial replica los modelos *platform business*: mientras la división Genetics desarrolla la propiedad intelectual (nuevas variedades), la división Growers ejecuta la monetización (producción y comercialización). La empresa ha colocado en el mercado más de veinte millones de plantines en la última década y cuenta con una capacidad de producción de cinco millones anuales, abarcando más de treinta y cinco selecciones avanzadas. Estos números posicionan a Inka's Berries no solo como productor directo, sino como el «sistema operativo» de la industria peruana de arándanos, proporcionando la infraestructura genética sobre la cual otros productores construyen sus operaciones.

La transformación del Perú en superpotencia mundial del arándano mediante el trabajo de Carlos Gereda demuestra cómo la combinación de condiciones geográficas excepcionales, visión empresarial disruptiva y metodologías de innovación continua puede reescribir las reglas de industrias globales enteras. En un mundo donde las ventajas competitivas se erosionan rápidamente, el Perú ha establecido una posición dominante basada en ventajas naturales que ningún competidor puede replicar. Esta transformación representa cómo el Perú opera como el superservidor biológico más sofisticado del planeta: capaz de procesar *inputs* imposibles y generar *outputs* que redefinen mercados globales enteros.



MAÍZ GIGANTE CUSQUEÑO

BIOTECH FOODS

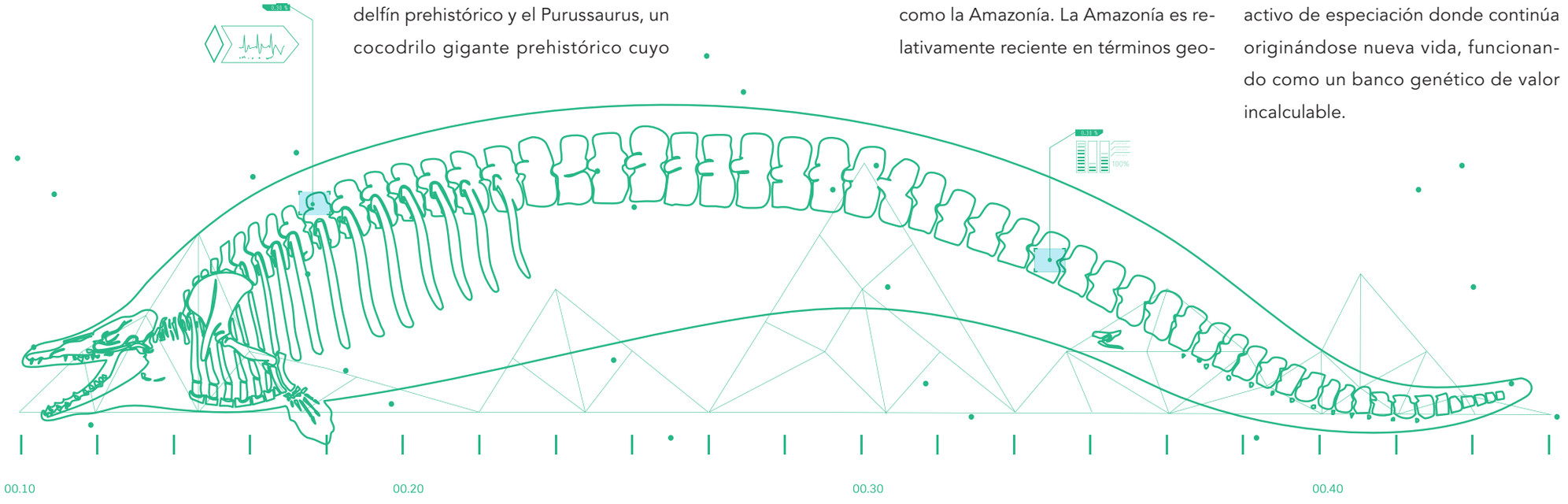
DESDE HACE 5000 AÑOS

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

El ADN de la Tierra

El territorio peruano tiene una rica historia paleontológica que evidencia su antigua diversidad.

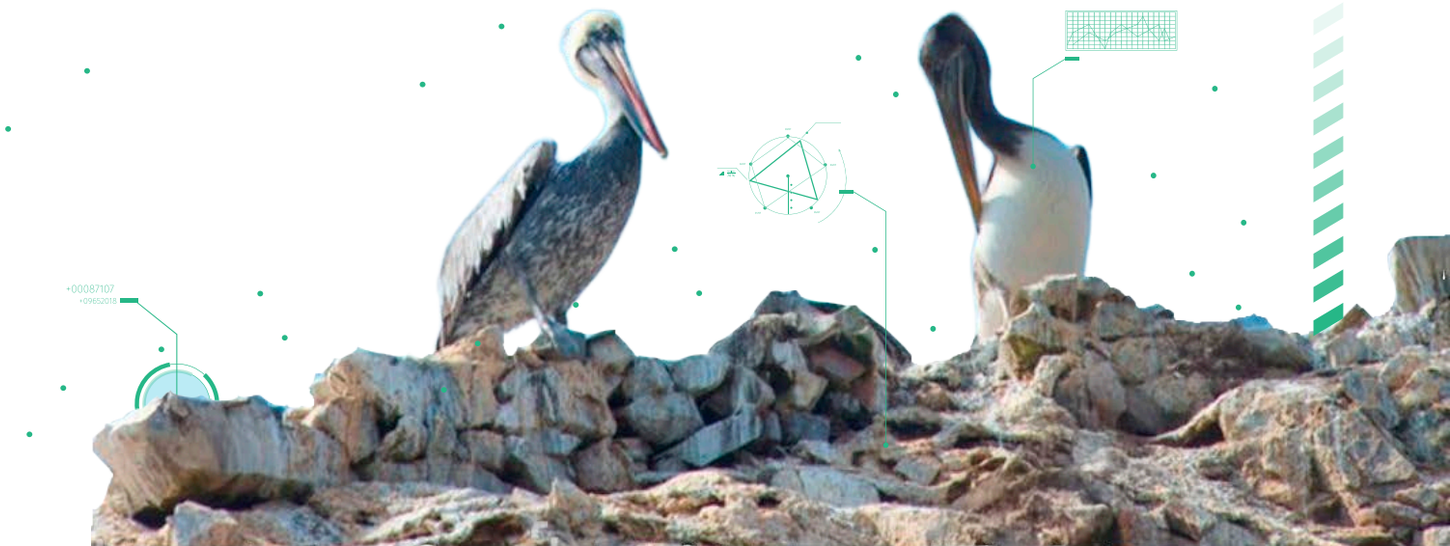
Gabriel Meseth de Bona, *project manager* de Inkaterra, nos cuenta que en el desierto peruano se han descubierto fósiles extraordinarios como el Perucetus, una ballena gigante prehistórica que actualmente se encuentra en exposición en el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). También aparecieron los restos de un delfín prehistórico y el Purussaurus, un cocodrilo gigante prehistórico cuyo descubrimiento fue patrocinado por la marca Lacoste. Antiguamente, gran parte de Sudamérica, incluyendo el actual territorio peruano, era un pantano continental. Con el surgimiento de la Cordillera de los Andes, este pantano se dividió y drenó gradualmente. Una parte se convirtió en la costa del Pacífico mientras que la otra parte evolucionó hacia lo que hoy conocemos como la Amazonía. La Amazonía es relativamente reciente en términos geológicos, con aproximadamente nueve millones de años de antigüedad. Esta región representa entre el 60 % y 62 % del territorio peruano, constituyendo una ventaja excepcional desde cualquier perspectiva. Meseth afirma que la región de Madre de Dios es particularmente notable, ya que alberga aproximadamente el 5 % de la biodiversidad genética mundial. Es un centro activo de especiación donde continúa originándose nueva vida, funcionando como un banco genético de valor incalculable.



El guano: nuestra primera industria circular

La evidencia arqueológica sugiere que, durante más de 1500 años, e incluso posiblemente hasta 5000 años, las personas de los Andes recolectaban guano de aves marinas en las pequeñas islas a lo largo de la costa desértica de Perú, según investigaciones del sitio web especializado Aves del Perú. Cuando las *startups* contemporáneas hablan de economía circular y aprovechamiento de residuos, están redescubriendo principios que los antiguos peruanos aplicaron. Los ingresos generados por la venta del guano se convirtieron en la principal fuente de ingresos fiscales, llegando a representar hasta el 80 % de los ingresos del Estado durante el período de máximo auge, como informan estudios de Algor Cards. El guano era fruto de las condiciones de la zona. La mezcla entre el clima seco de las islas peruanas y chilenas, la composición de las rocas en las que caían y el propio excremento fruto de la dieta marina de las aves, creaba un fertilizante con composición química optimizada que ningún científico moderno había logrado replicar hasta el siglo XX. Sir William Crookes, en un discurso dado en 1898, señaló que había un déficit de fertilizantes nitrogenados que no se adecuaba al ritmo de producción mundial de alimentos e invocó a los químicos a salvar al planeta de la hambruna. Los depósitos de guano y de salitre de Latinoamérica estaban por agotarse. La crisis del guano forzó el desarrollo de fertilizantes sintéticos, pero también enseñó una lección crucial sobre sostenibilidad que el mundo tardó más de un siglo en internalizar completamente.

Entre 1840 y 1880, el nivel de las exportaciones de guano alcanzó los once millones de toneladas, que fueron vendidas en Europa y Norteamérica.



La andenería: *Agtech*, agricultura de precisión

Alrededor de trescientas mil hectáreas de andenes y terrazas todavía están en uso en el Perú, según datos de Forest Trends, representando una de las infraestructuras de ingeniería agrícola más extensas y sofisticadas del mundo. A raíz de sequías pronunciadas que afectaron la viabilidad de las culturas Moche y Nazca, la cultura Wari, surgida alrededor del 600 d. C., construyó andenerías para mejorar su producción



En los andenes se crearon microclimas escalonados y hasta experimentación agronómica vertical.

de maíz, como afirma la Asociación Andina Cusichaca. Los andenes se crearon como un sistema de infraestructura agrícola de precisión en ambientes extremos que servían, y aún lo hacen, para regular la temperatura, la humedad, la escorrentía y oxigenar el suelo. Fue también una forma de sistema modular con alta replicabilidad. Las terrazas mostraron que podían ayudar a reducir la erosión del suelo y proteger los cultivos de las heladas, además de fomentar la diversidad de especies de alimentos como papas y granos, según el Centro de Competencias del Agua. Las terrazas reducen la escorrentía superficial y actúan como esponjas al promover la infiltración. Según un estudio de Forest Trends, crean sistemas de manejo hídrico que maximizan la eficiencia del agua disponible. La sofisticación técnica de los andenes peruanos supera muchas infraestructuras modernas. Expertos contemporáneos han realizado comparaciones directas entre la eficiencia hidráulica de canales incas versus los de Israel y Holanda, con resultados que favorecían a los sistemas prehispánicos peruanos, de acuerdo a Hidraulicainca. Esto fue presentado en congresos de ingeniería, validando científicamente su superioridad técnica. En los andenes sin riego del piso alto suni se dejan en barbecho de cinco a más años, para después cultivarse dos años seguidos, implementando sistemas de rotación que mantienen la fertilidad del suelo sin requerir fertilizantes externos. Este manejo integra principios de agronomía, hidrología, climatología y ecología en sistemas que han funcionado de manera sostenible durante más de mil años.

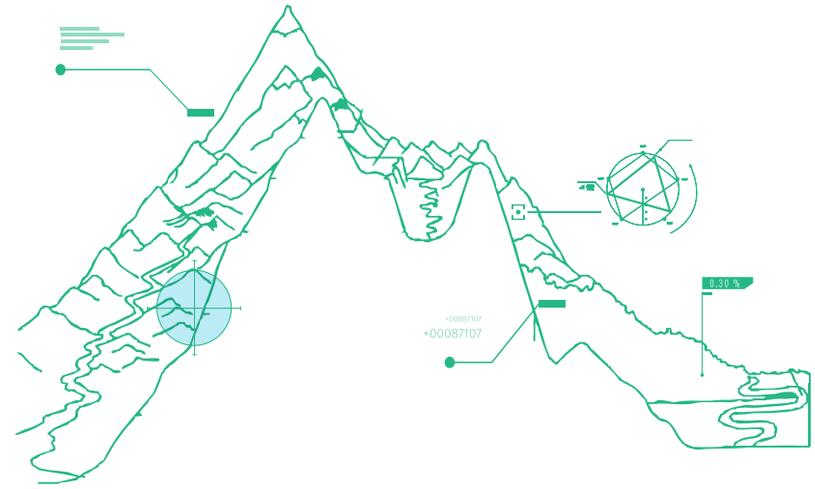
Los ocho pisos ecológicos: el sistema operativo natural más complejo del mundo

Gabriel Meseth nos recuerda que, en términos de diversidad de ecosistemas, Perú destaca por su variedad de pisos ecológicos.

«Según la escala de zonas de vida, basada en la clasificación de Holdridge, que identifica aproximadamente 104 zonas de vida en el mundo, el Perú alberga 84 de ellas», señala, agregando que «esta cifra extraordinaria representa una ventaja considerable para el país. La ubicación geográfica del Perú es clave para entender esta riqueza. Su posición en la zona tropical, cerca del Ecuador, favorece climas templados que generan condiciones óptimas para la proliferación de vida». Javier Pulgar Vidal dividió el territorio peruano en ocho regiones naturales según su tesis de 1938, considerando la variedad que podemos encontrar en nuestro territorio, pues en cada una de ellas el hombre peruano se ha adaptado y ha vivido desde hace miles de años. Esta zonificación no es solo una clasificación geográfica; representa el mapeado del sistema operativo natural más diverso y complejo del planeta, donde cada nivel del sistema procesa información ambiental específica y genera *outputs* biológicos únicos. La región Chala (costa, 0-500 msnm) funciona como la interfaz marina del sistema, donde las corrientes de Humboldt y de El Niño crean condiciones oceanográficas que sustentan una de las industrias pesqueras más productivas del mundo. La región Yunga (500-2300 msnm) actúa como zona de transición que conecta los ecosistemas costeros con los andinos, caracterizada por quebradas y valles que crean microclimas ideales para cultivos específicos como la caña de azúcar y frutales. La región Quechua (2300-3500 msnm) representa el disco duro del sistema agrícola andino, donde se concentra la mayor diversidad de cultivos alimentarios y la mayor densidad poblacional rural. Por su parte, la región Suni (3500-4000 msnm) opera como sistema de alta disponibilidad para cultivos resistentes al frío, donde los andenes sin riego se dejan en barbecho de cinco a más años, según el Instituto Francés de Estudios Andinos, para después cultivarse dos años seguidos. La región Puna (4000-4800 msnm) funciona como el servidor de almacenamiento hídrico del sistema, donde se originan la mayoría de ríos que alimentan tanto la vertiente del Pacífico como la del Atlántico, además de ser el hábitat natural de los camélidos andinos. En cuanto a la región Janca (4800-6768 msnm), actúa como el sistema de refrigeración natural, donde los glaciares funcionan como servidores de respaldo que almacenan agua en forma sólida y la liberan gradualmente. Las regiones Rupa Rupa o Selva Alta (400-1000 msnm) y Omagua o Selva Baja (83-400 msnm) constituyen los procesadores de biodiversidad más potentes del sistema, donde se concentra la mayor parte de la diversidad biológica del país.

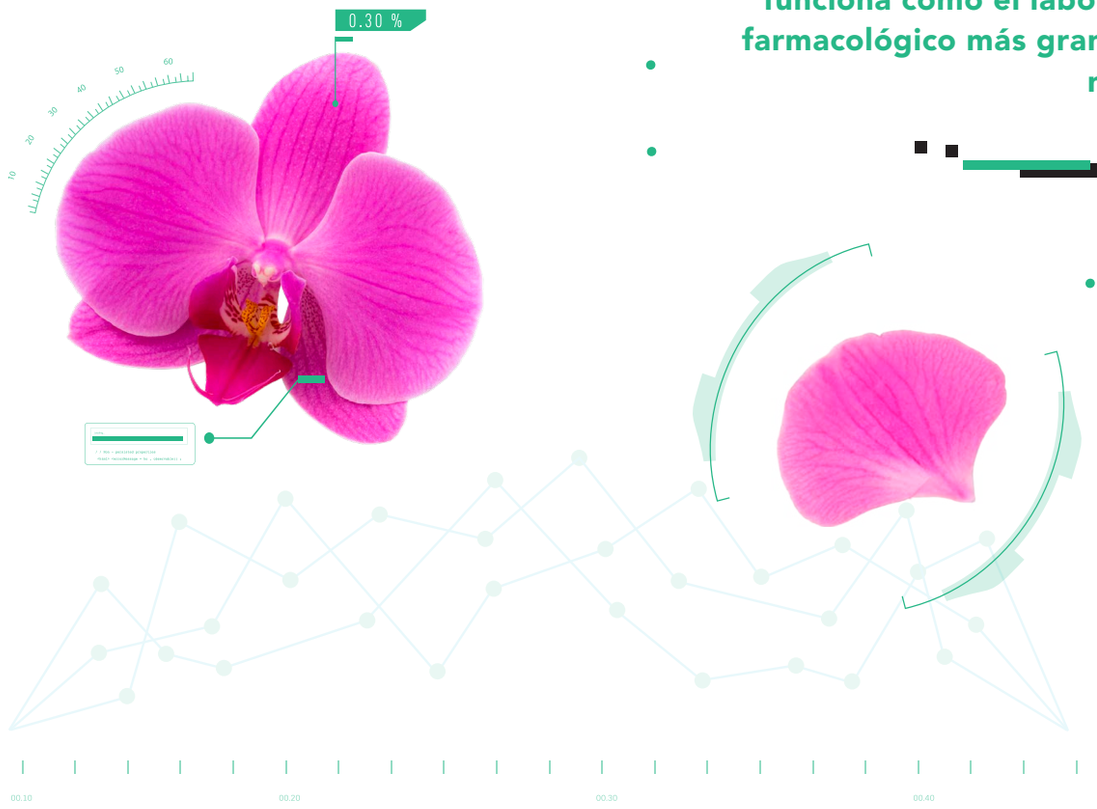
Cada piso ecológico no solo alberga especies específicas, sino que genera servicios ecosistémicos diferenciados que se integran en una red compleja de flujos de energía, nutrientes e información.

Los antiguos peruanos desarrollaron técnicas específicas para programar este sistema operativo natural, creando interfaces de usuario (andenes, terrazas, sistemas de riego) que optimizaban el rendimiento de cada nivel según sus características específicas. El control vertical de pisos ecológicos que desarrollaron culturas como Tiahuanaco representaba un sistema de gestión distribuida donde diferentes comunidades especializadas en cada piso intercambiaban productos y conocimientos. Esta arquitectura de red creaba redundancia y resistencia a fallos: si un piso ecológico experimentaba problemas climáticos, los otros niveles podían compensar, asegurando la continuidad del suministro alimentario. La complejidad de este sistema natural es tal que cada cambio altitudinal de cien metros puede implicar modificaciones significativas en temperatura, precipitación, presión atmosférica y composición de especies. Los antiguos ingenieros agrícolas peruanos aprendieron a leer estos gradientes como código de programación, desarrollando variedades de cultivos específicamente adaptadas a micronichos altitudinales. Una sola especie como la papa podía tener decenas de variedades optimizadas para diferentes rangos altitudinales, cada una representando una versión especializada del *software* genético básico. Este entendimiento profundo del funcionamiento de los pisos ecológicos permitió a las civilizaciones andinas crear lo que podríamos llamar el primer sistema de computación distribuida de la historia, donde el procesamiento de recursos naturales se realizaba de manera paralela en múltiples niveles altitudinales, cada uno contribuyendo con componentes específicos al sistema alimentario total. La sofisticación de este enfoque solo ha comenzado a ser comprendida por la ciencia moderna, que reconoce en los pisos ecológicos andinos un modelo de gestión integral de ecosistemas que podría informar estrategias contemporáneas de adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria, como afirma Andean Forests.



Biomímesis y biotecnología

El Perú es hogar de aproximadamente 2700 especies de orquídeas con alto nivel de endemismo, según datos de Lima 2019; más de 800 especies solo crecen en Perú. Es también hogar de la orquídea más grande del mundo, llamada Inkill *(Sobralia altissima)*, que crece hasta 13.4 m de altura. Cada especie endémica representa un laboratorio natural de síntesis química que ha desarrollado compuestos únicos durante millones de años de evolución. Gabriel Meseth añade que Machu Picchu también revela cifras extraordinarias al respecto. En esta zona se han identificado más de 400 especies de orquídeas, específicamente alrededor de 430 especies, una cantidad verdaderamente impresionante que demuestra la riqueza botánica de la región.



La selva amazónica peruana, que comprende alrededor del 76 % del territorio nacional, funciona como el laboratorio farmacológico más grande del mundo.

Las comunidades indígenas han catalogado y utilizado miles de plantas medicinales durante siglos, creando una farmacopea tradicional que apenas comienza a ser estudiada por la ciencia moderna. El Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana ha documentado más de 4400 especies de plantas con propiedades medicinales conocidas por las comunidades nativas, cada una representando años potenciales de investigación biotecnológica.

La complejidad química de la biodiversidad amazónica peruana es asombrosa. Una sola hectárea de bosque húmedo puede contener hasta trescientas especies de árboles diferentes, cada uno con su propio arsenal de compuestos bioactivos desarrollados para defenderse de patógenos, atraer polinizadores o competir por luz solar. Esta diversidad química representa una biblioteca farmacológica natural que contiene soluciones potenciales para enfermedades que la medicina moderna aún no puede tratar.

Los principios activos de plantas amazónicas peruanas han contribuido al desarrollo de medicamentos que hoy se utilizan globalmente.

La quinina, extraída de la corteza del árbol de la quina (árbol nacional del país), revolucionó el tratamiento de la malaria y estableció los fundamentos de la farmacología moderna. El curare, utilizado por pueblos amazónicos en sus flechas, se convirtió en componente esencial de anestésicos modernos utilizados en cirugías. La uña de gato *(Uncaria tomentosa)* está siendo estudiada por sus propiedades inmunomoduladoras que podrían revolucionar tratamientos para enfermedades autoinmunes.

En otros rubros, las opotunidades no son menores. Meseth sostiene que el aguaje se está convirtiendo en un producto de gran interés comercial, junto con el ungurahui y otros frutos amazónicos. El grupo AJE ha desarrollado una línea de bebidas naturales llamada Bioamayu, creando cadenas de valor en la selva mediante la compra directa de frutas que acopian las comunidades locales. Esta iniciativa representa una forma viable y sostenible de generar ingresos para las comunidades selváticas, aprovechando los productos naturales que poseen propiedades particulares. La selva, considerada como la farmacia del mundo, ofrece una amplia gama de productos con características únicas que pueden ser aprovechados de manera sostenible.



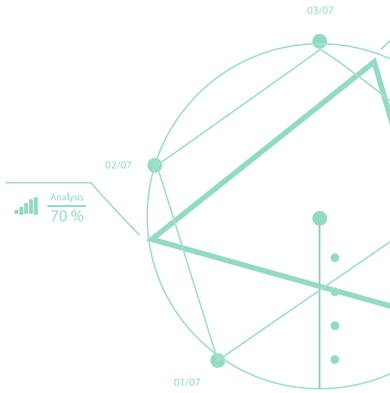
UÑA DE GATO

USANDO SMART DATA

DESDE HACE 5000 AÑOS

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Del conocimiento ancestral al *Big Data* ecológico



En el Perú, la biodiversidad que se encuentra solo en las áreas naturales protegidas aporta cada año más de mil millones de dólares a la economía nacional, por concepto de productos forestales no maderables, provisión de agua, belleza escénica, entre otros. Pero su verdadero potencial no está en lo que ya se explota sino en lo que aún no hemos sabido leer: cada ecosistema peruano almacena información biológica, genética y climática de altísimo valor. Datos ambientales, climáticos y biológicos que son cruciales para comprender el cambio climático, desarrollar tecnologías sostenibles y crear sistemas productivos resilientes.

Hoy, gracias al *Big Data* y la inteligencia artificial, es posible traducir esa biodiversidad en innovación concreta.

Así como NotCo utiliza IA para analizar miles de combinaciones vegetales y desarrollar alimentos *plant-based* que replican el sabor y la textura de productos animales, o como DeepMind, cuya plataforma AlphaFold ha decodificado millones de estructuras de proteínas para revolucionar la medicina, el Perú tiene la oportunidad de usar su «*data lake* biológico» para inspirar alimentos funcionales, ingredientes regenerativos, nuevos medicamentos o biomateriales avanzados. En un mundo donde la sostenibilidad se ha convertido en imperativo tecnológico y comercial, el Perú ofrece mucho más que recursos naturales: proporciona un manual de instrucciones viviente sobre cómo crear sistemas productivos que funcionan en armonía con los ecosistemas naturales durante milenios.

Alrededor de trescientas mil hectáreas adicionales podrían ser restauradas si se priorizara este tipo de inversión en infraestructura natural, según Forest Trends.

Las tecnologías ancestrales peruanas no son solo patrimonio histórico, sino herramientas contemporáneas para enfrentar desafíos globales como el cambio climático, la seguridad alimentaria y la gestión sostenible de recursos naturales.

La convergencia entre sabiduría ancestral y tecnología moderna está generando innovaciones revolucionarias. *Startups* peruanas están desarrollando sensores IoT que se integran con sistemas de andenería tradicional para optimizar el uso del agua mediante inteligencia artificial. Investigadores emplean drones y análisis satelital para mapear patrones de biodiversidad en ecosistemas manejados de manera tradicional, descubriendo principios que podrían aplicarse a escala global. La biotecnología moderna está decodificando los mecanismos genéticos detrás de la resistencia climática de variedades nativas, creando cultivos que combinan productividad moderna con resiliencia milenaria. Las *startups* tecnológicas hablan de «soluciones escalables» y «plataformas de innovación»; el Perú ha operado ambas durante diez milenios. Su biodiversidad proporciona la biblioteca de recursos genéticos más grande del mundo; sus ecosistemas funcionan como laboratorios naturales de experimentación continua; sus técnicas ancestrales ofrecen modelos probados de sostenibilidad que han superado la prueba del tiempo; y su diversidad de agroclimas permite testear innovaciones bajo condiciones controladas que van desde lo extremo hasta lo óptimo.

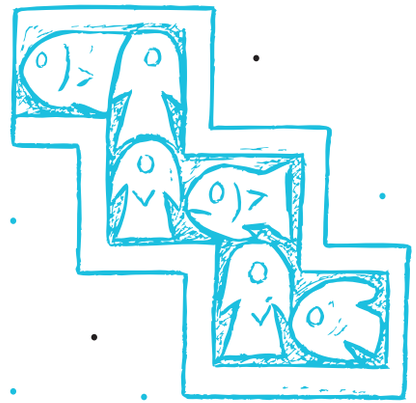
Mientras otros países compiten con recursos financieros o tecnológicos, el Perú compite con la sabiduría condensada de diez milenios de experimentación sostenible aplicada a escala continental. Esta ventaja comparativa, forjada durante cien siglos de innovación continuada, posiciona al país no solo como proveedor de alimentos y materias primas, sino como el centro mundial de soluciones para los desafíos más urgentes de la humanidad: cómo alimentar a una población creciente sin destruir los ecosistemas que sostienen la vida, cómo mitigar el cambio climático mientras se desarrollan economías prósperas, y cómo crear sistemas económicos que funcionen dentro de los límites ecológicos del planeta. En la economía del conocimiento del siglo XXI, el Perú ofrece «biodiversidad inteligente»: ecosistemas que han sido optimizados durante milenios por la interacción entre procesos naturales y manejo humano sofisticado. Esta síntesis única entre naturaleza y cultura representa la frontera más avanzada de la innovación sostenible, donde cada especie domesticada, cada técnica ancestral y cada ecosistema manejado constituyen una patente natural que ninguna corporación moderna podría desarrollar, pero de la que toda la humanidad puede beneficiarse al estudiarla, adaptarla y escalarla. Esta combinación entre saberes ancestrales, ciencia contemporánea e IA puede convertirnos en un epicentro global de bioinnovación sostenible, donde la Amazonía, los Andes y la costa no son solo territorios, sino laboratorios vivos para crear soluciones al futuro del planeta.

Un océano de oportunidades: desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altitud

Cuando los antiguos pescadores mochicas navegaban en sus caballitos de totora, hace mil quinientos años, no sabían que estaban surcando las aguas del ecosistema marino más productivo del planeta.



Tampoco imaginaban que las técnicas de pesca que desarrollaron con anzuelos de hueso y redes de fibras naturales establecerían los cimientos de lo que hoy constituye la actividad pesquera más grande del mundo basada en una sola especie. El mar peruano, nutrido por la Corriente de Humboldt, no es simplemente un cuerpo de agua rico en vida marina; es el servidor biológico más eficiente del planeta, donde apenas el 0.1 % de la superficie marina global produce el 15 % de toda la pesca mundial.



Esta supremacía no es mera coincidencia geográfica.



Es el resultado de la suma de factores oceanográficos, geológicos y culturales que han posicionado al Perú como el escenario natural de innovación pesquera más sofisticado de la humanidad durante milenios.

Desde las primitivas técnicas de los habitantes costeros precolombinos hasta la moderna industria que, según Produce, exportó más de tres mil millones de dólares solo entre enero y septiembre de 2024, el Perú ha demostrado una capacidad incomparable para transformar las ventajas naturales de su mar en un liderazgo mundial sostenido.





REDES DE PESCA

PESCA INTELIGENTE

DESDE HACE 2000 AÑOS

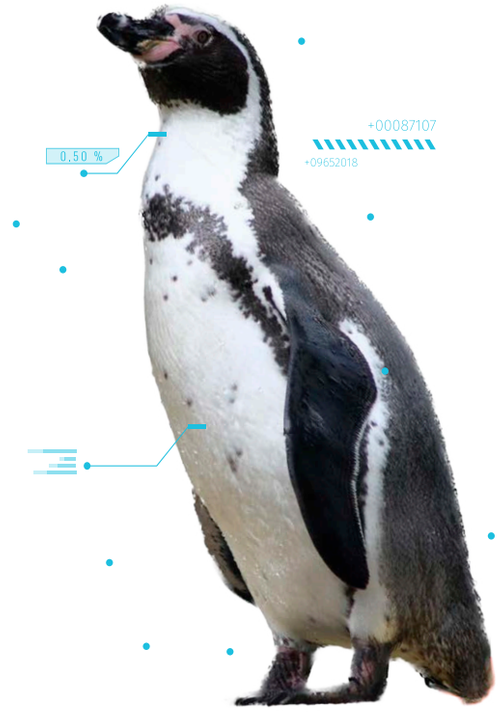
UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

La Corriente de Humboldt: un gran motor de la vida marina

Las características únicas de esta corriente crean un microclima marino que beneficia no solo a los peces, sino a todo el ecosistema.

El corazón de la riqueza marina peruana late al ritmo de la Corriente de Humboldt, un fenómeno oceanográfico que convierte las aguas del Pacífico sudoriental en el ecosistema de afloramiento marino más grande del mundo. Esta masa de agua fría, que fluye hacia el norte a lo largo de cuatro mil kilómetros de costa desde el sur de Chile hasta el norte del Perú, opera como una gigantesca máquina de producción biológica que no tiene paralelo en ningún otro océano. La Corriente de Humboldt funciona como el equivalente a un reactor de biodiversidad.

Las aguas frías que emergen desde las profundidades del océano traen consigo una carga extraordinaria de nutrientes —nitratos, fosfatos y silicatos— que alimentan el fitoplancton marino. Este fitoplancton, a su vez, sostiene una cadena alimentaria de complejidad y productividad incomparables. Cada metro cúbico de agua de la Corriente de Humboldt contiene más biomasa que las aguas tropicales más cálidas, creando condiciones ideales para una explosión de vida marina que se manifiesta en cifras inigualables.

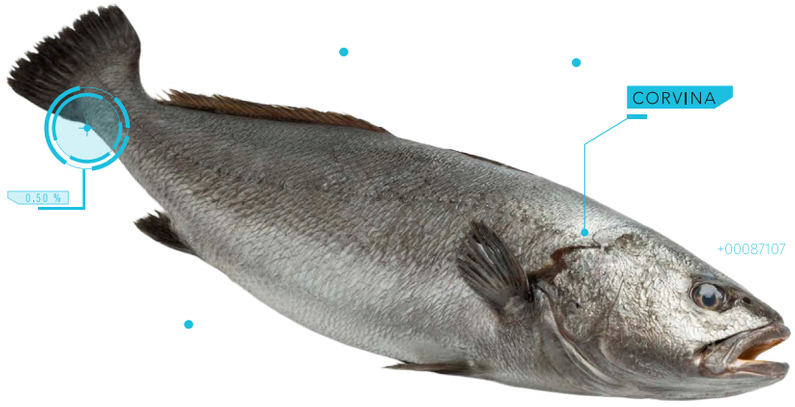


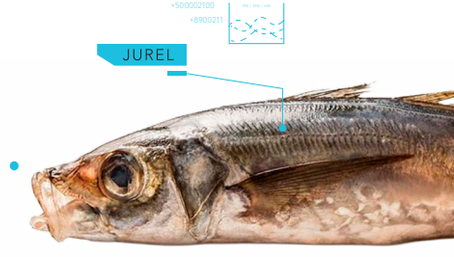
A la danza de peces se le suman las más de cuatro millones de aves que habitan en la región, que también sacan provecho de la rica cadena alimenticia, entre ellas los emblemáticos pingüinos de Humboldt, endémicos de este lugar del mundo, y que debido a las bajas temperaturas del agua pueden vivir en plena zona ecuatorial. Esta biodiversidad integrada demuestra cómo el Perú no solo posee recursos marinos, sino ecosistemas completos optimizados para la máxima productividad biológica.

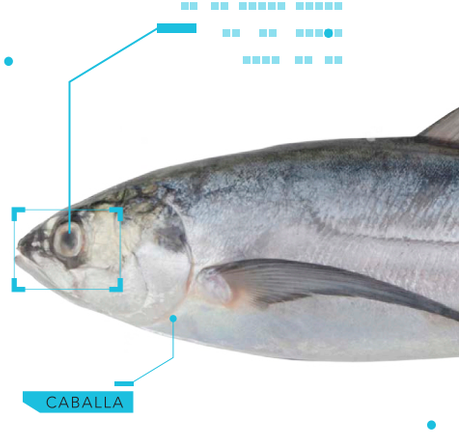
El mar de la diversidad

La supremacía biológica del mar peruano se manifiesta de manera contundente en las estadísticas de biodiversidad.

El Perú registra la primera ubicación planetaria en variedad de peces, con cerca de dos mil especies que habitan sus aguas marinas y continentales (ríos, lagos, lagunas, cochas), las que representan el 10 % del total mundial, de acuerdo a la agencia Andina. Esta cifra no es solo un récord estadístico; representa una biblioteca viviente de soluciones evolutivas que ningún laboratorio moderno podría replicar. Global Fishing Watch indica que el mar peruano posee más de mil especies de peces, moluscos, crustáceos y algas, y figura entre los más biodiversos del mundo. Cada especie representa millones de años de adaptación específica a las condiciones únicas del ecosistema marino peruano, es todo un arsenal genético. La diversidad ictiológica peruana incluye desde especies pelágicas como la anchoveta, que forma cardúmenes de millones de individuos, hasta especies bentónicas altamente especializadas que han desarrollado adaptaciones para aprovechar los nutrientes del fondo marino. Esta variedad permite que el ecosistema funcione como un sistema de producción multinivel, donde diferentes especies ocupan nichos específicos y maximizan el aprovechamiento de los recursos disponibles. Además de la riqueza en aguas marinas, la diversidad se extiende a los sistemas de agua dulce del país. Los ríos amazónicos, los lagos andinos y las lagunas costeras albergan especies endémicas que han coevolucionado con las condiciones específicas de cada ecosistema acuático. Esta diversidad continental complementa la riqueza marina, creando un *continuum* de recursos hidrobiológicos que abarca desde el nivel del mar hasta los cuatro mil metros de altitud.

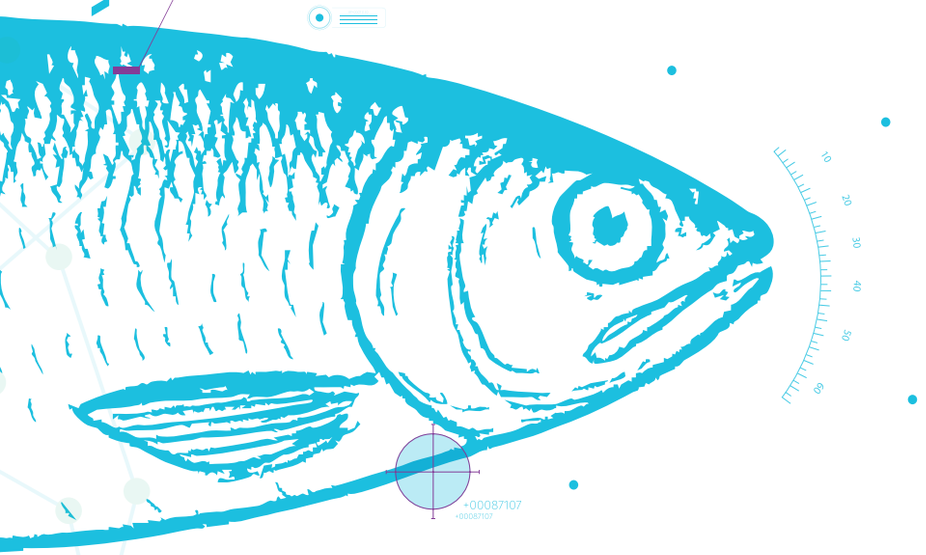






La anchoveta: pequeño gigante del Pacífico

En el centro de la supremacía pesquera nacional se encuentra un pez de apenas veinte centímetros que ha redefinido las reglas de la industria pesquera global.



La anchoveta peruana (*Engraulis ringens)*, encontrada también en las costas de Chile, impulsa la única actividad pesquera enfocada en captura y explotación de una sola especie de pez en el mundo. Este dominio no es resultado de la casualidad, sino del encuentro entre condiciones oceanográficas óptimas, conocimiento técnico ancestral y gestión moderna científicamente informada. Los números de 2024 demuestran la extraordinaria recuperación de la pesquería tras los desafíos del Fenómeno del Niño. Según reportes del Ministerio de la Producción, en la primera temporada de 2024 se estableció una cuota de 2475 millones de toneladas métricas (TM) para la zona norte-centro, y se alcanzó un 98 % de cumplimiento de la cuota asignada. La Organización Internacional de Harina y Aceite de Pescado afirma que la producción acumulativa de harina de pescado en los primeros nueve meses de 2024 aumentó en casi 23 % comparada con el mismo período de 2023, impulsada principalmente por el suministro peruano. La industria de la anchoveta trasciende la extracción pesquera. Prácticamente la totalidad de la industria peruana de harina y aceite de pescado está basada en la pesquería de anchoveta, que crea una cadena de valor que se extiende desde los pescadores artesanales hasta los mercados globales. Según el Reporte de Estado Mundial de Pesca y Acuicultura de la FAO de 2024, históricamente el Perú ha representado en promedio el 20 % de la producción mundial de harina y aceite de pescado. El impacto económico de la anchoveta es notable. De acuerdo a PRODUCE, genera exportaciones peruanas por valor de más de mil cuatrocientos millones de dólares anuales, y la pesquería es una fuente significativa de empleo, pues proporciona aproximadamente cincuenta mil empleos directos e indirectos. La gestión de la anchoveta peruana representa un caso de estudio en sostenibilidad pesquera. El sistema de cuotas basado en evaluaciones científicas del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) ha permitido que el país sea reconocido en 2024 como una de las pesquerías mejor gestionadas del mundo.

Cinco milenios de innovación marina

La supremacía pesquera contemporánea del Perú se construye sobre una base de conocimiento ancestral. Los antiguos pobladores del litoral peruano no fueron simplemente recolectores costeros que aprovechaban los recursos disponibles; fueron innovadores que desarrollaron técnicas de pesca, navegación y procesamiento que establecieron los principios fundamentales de la industria pesquera moderna. Las evidencias arqueológicas revelan que los antiguos peruanos desarrollaron una sofisticación técnica en el manejo de recursos marinos que revolucionó las prácticas pesqueras de su época.

La pesca constituía una actividad fundamental en la vida de los mochicas

ya que les proporcionaba alimento, materiales para la fabricación de utensilios y elementos para el comercio con otras culturas, como documentan los estudios iconográficos de Christopher Donnan. Además, la pesca también poseía un significado simbólico y religioso profundo que se observa en rituales y ceremonias específicamente relacionados con esta actividad.



Lo verdaderamente innovador de las técnicas pesqueras precolombinas radica en que anticiparon prácticamente todas las modalidades modernas de captura mediante una diversificación tecnológica sin precedentes en la América precolombina. El arquéologo Daniel Sandweiss ha demostrado que los indígenas desarrollaron sistemas de pesca diferenciados según el tipo de presa, las condiciones climáticas y la profundidad marina, y utilizaron redes especializadas, anzuelos de precisión, trampas selectivas y arpones de diseño hidrodinámico.

Las redes de pesca representaban una revolución tecnológica en sí mismas: elaboradas con fibras naturales como algodón nativo de colores o hilos de maguey procesados mediante técnicas únicas de retorcido, estas redes incorporaban nudos específicos que variaban según sus propósitos. Los tejedores desarrollaron diferentes calibres de malla que funcionaban como sistemas de selección natural, permitiendo la captura de ejemplares adultos, principio que hoy reconocemos como fundamental en la pesca sostenible.

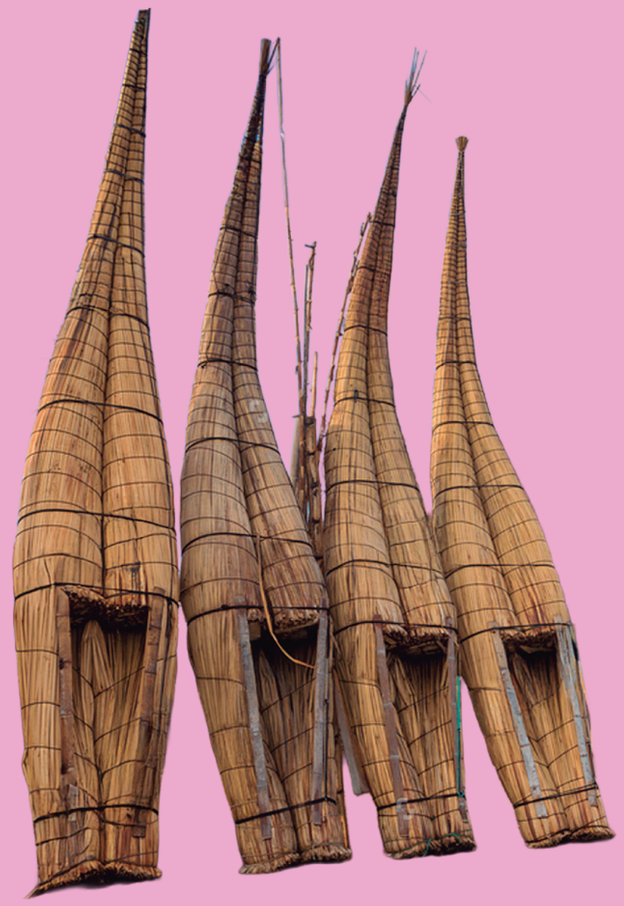
La innovación más notable consistía en redes con flotadores de calabaza hueca y pesos de piedra tallada distribuidos matemáticamente para crear formas tridimensionales específicas bajo el agua.

Esta tecnología permitía capturar cardúmenes enteros mediante las técnicas de cerco que anticiparon los métodos industriales modernos.

Los anzuelos representan otra innovación: fabricados no solo con hueso o metal, sino con materiales insólitos como espinas de cactus procesadas, conchas talladas con precisión milimétrica y aleaciones de cobre-estaño que evidencian conocimientos metalúrgicos avanzados. Cada anzuelo era diseñado específicamente para determinadas especies, tenían curvaturas y puntas que maximizaban la efectividad de captura.

Las cañas de pescar, por su parte, incorporaron sistemas de palanca y contrapeso que permitían lanzamientos de precisión a distancias extraordinarias para la época. Estas herramientas incluían guías de línea elaboradas con hueso pulido y sistemas de amortiguación que evitaban la ruptura durante la captura de peces grandes, demostrando un conocimiento profundo de física aplicada y biomecánica marina, aspectos estudiados por el ingeniero pesquero Lu[illegible]oya en sus análisis comparativos de tecnología ancestral y moderna. Otras civilizaciones como el antiguo Egipto, Grecia y Roma, las culturas polinesias y China, así como los pueblos nórdicos y vikingos utilizaron también fibras vegetales, atarrayas y redes de enmalle.

Lo que es un caso fascinante de innovación, de tecnología disruptiva, son los caballitos de totora. Mientras que los polinesios usaron troncos y los vikingos canoas de madera, los mochicas innovaron con un barco vegetal adaptado al oleaje fuerte del Pacífico. Dependía no de bosques, escasos en la costa norte, sino del cultivo de totorales, gestionados de forma comunitaria. Con estos caballitos, los moche pudieron pescar y crear un ecosistema productivo que les permitió intercambiar comercialmente sus productos. Los caballitos fueron embarcaciones individuales, livianas y sostenibles, fabricadas especialmente para la pesca artesanal en un mar como el nuestro. Hasta el día de hoy, los caballitos surcan las olas que hace cinco mil años remontaron los antiguos peruanos.



CABALLITOS DE TOTORA

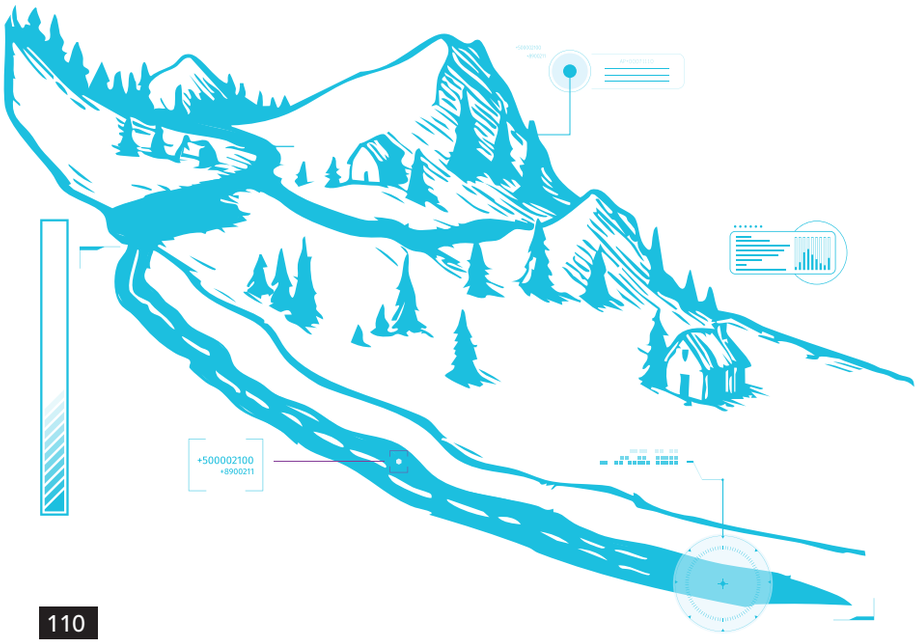
NAVEGACIÓN SOSTENIBLE

DESDE 1200 A.C.

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Amunas *hydrotech* para la sostenibilidad del agua

En las alturas de la sierra limeña, las civilizaciones preincaicas desarrollaron un sistema de gestión hídrica tan avanzado que la ciencia moderna tardó siglos en comprender sus principios.



En las alturas de la sierra limeña, las civilizaciones preincaicas desarrollaron un sistema de gestión hídrica tan avanzado que la ciencia moderna tardó siglos en comprender sus principios. Se trata del sistema de filtración conocido como amuna o mamanteos, una técnica preinca que hoy sigue asegurando la sostenibilidad medioambiental de Lima, la segunda ciudad más grande del mundo ubicada en un desierto después de El Cairo. Según Aquafondo, el Fondo del Agua para Lima y Callao, las amunas son infraestructuras ancestrales características del Perú, reconocidas por sus cualidades hidráulicas, lo que las convierte en una solución innovadora frente al estrés hídrico de Lima. Estas infraestructuras, herencia de las antiguas comunidades de la provincia de Huarochirí, capturan y almacenan agua de lluvia durante la temporada húmeda, para luego liberarla en la temporada seca, beneficiando la agricultura y la ganadería local.

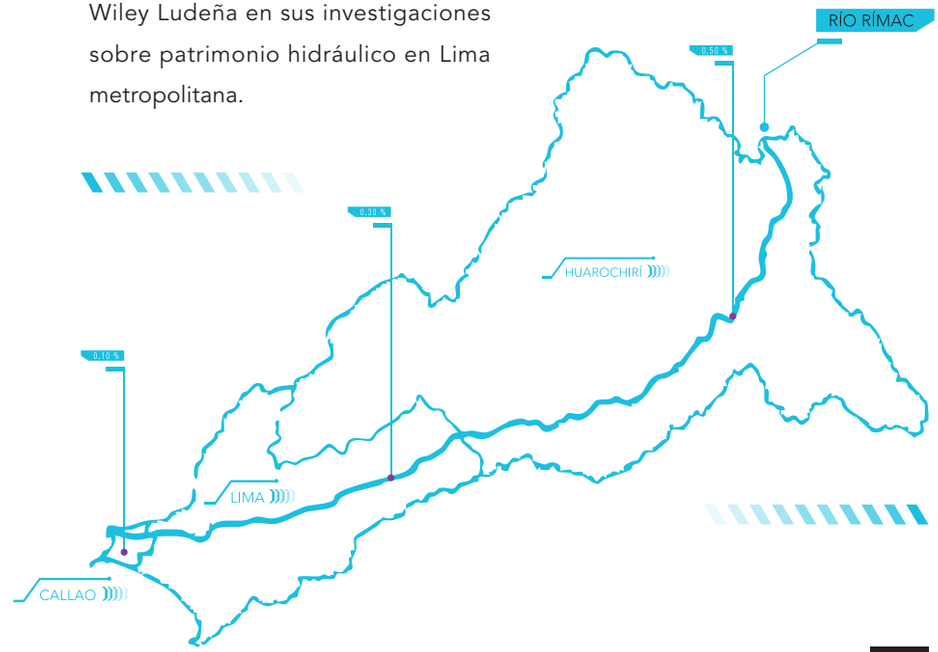
Los sistemas de amunas, de mayor presencia en las serranías de Lima, son una práctica ancestral de recarga acuífera, que ahora se muestra como novedosa pero que nuestros preincas limeños concretaron con excelentes resultados. Según The Nature Conservancy (2024), durante la temporada de lluvias de 2023, las amunas en el área recargaron 647 millones de galones de agua. El funcionamiento de las amunas representa un principio de ingeniería hidrológica sofisticado. De acuerdo con estudios técnicos citados por Aquafondo, podemos tipificarlas como sistemas de recarga superficial localizados fuera de los cauces de los ríos, mediante sistemas de canales asociados a campos de extensión, cuyo principio es captar las aguas fluviales, llevarlas fuera del cauce mediante canales y extenderlas en una superficie permeable.

Una vez iniciado el periodo de lluvias, las amunas que hemos recuperado junto a las comunidades campesinas aportan más de trece millones de m³ de agua a las cuencas de los ríos Rímac y Chillón.

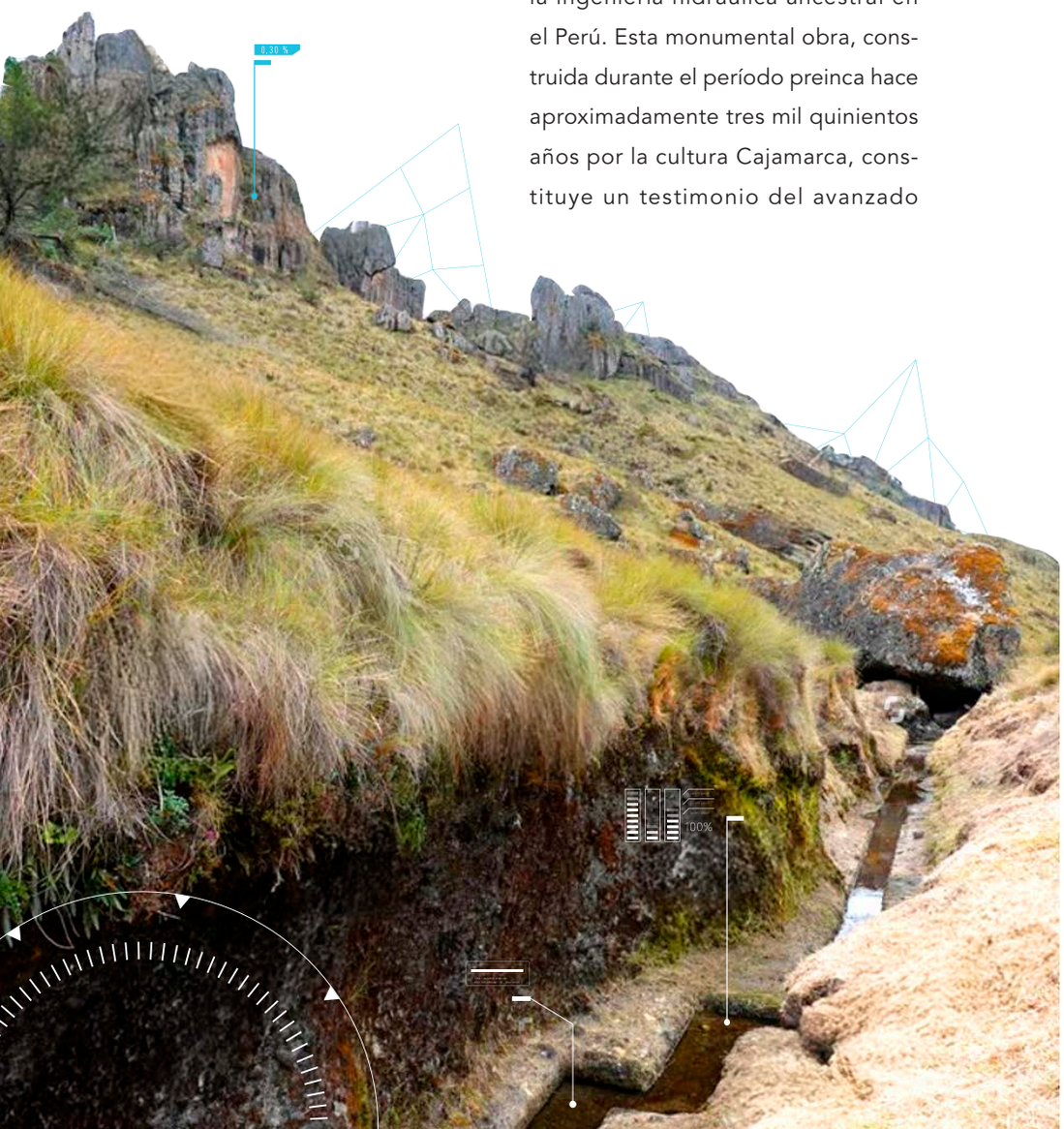
Hasta la fecha, se han recuperado más de 62 kilómetros de amunas distribuidas en la subcuenca de Santa Eulalia, principal aportante de agua para la cuenca del río Rímac. Según la Comisión de Regantes de Surco, 80 % de las áreas verdes de diecisiete distritos de Lima son regadas con agua proveniente de canales de origen prehispánico, una cifra que ilustra la extraordinaria vigencia de la ingeniería hidráulica ancestral. Esta red de canales incluye sistemas como el de Surco, que atraviesa distritos como Miraflores, San Borja, Santiago de Surco y La Molina, transportando agua desde el río Rímac a través de acequias que originalmente fueron construidas por culturas preincas y posteriormente perfeccionadas durante el Tahuantinsuyu.

El canal de Surco, con sus treinta y cinco kilómetros de extensión, representa uno de los casos más emblemáticos de esta continuidad tecnológica. Sus aguas no solo irrigan parques y jardines urbanos, sino que también alimentan clubes de golf, complejos residenciales y espacios públicos que definen el carácter verde de estos distritos. La acequia recorre calles como la Avenida Primavera, El Derby y sectores de San Borja, integrándose al paisaje urbano de manera tan natural que muchos limeños desconocen su antigüedad. Se trata de un fenómeno documentado por el antropólogo urbano Wiley Ludeña en sus investigaciones sobre patrimonio hidráulico en Lima metropolitana.

Esta persistencia tecnológica plantea interrogantes fascinantes sobre la planificación urbana contemporánea: ¿cómo es posible que una infraestructura diseñada para sociedades agrícolas siga siendo más eficiente que muchos sistemas modernos de riego? La respuesta radica en la comprensión que los ingenieros prehispánicos tenían de la topografía, el aprovechamiento gravitacional del agua y la construcción de gradientes precisas que minimizan tanto el desperdicio hídrico como los costos de mantenimiento.



La hazaña de Cumbemayo



El canal Cumbemayo representa uno de los ejemplos más asombrosos de la ingeniería hidráulica ancestral en el Perú. Esta monumental obra, construida durante el período preinca hace aproximadamente tres mil quinientos años por la cultura Cajamarca, constituye un testimonio del avanzado conocimiento tecnológico y la sofisticada planificación de las civilizaciones andinas, según documentan los estudios de Jaime Deza Rivasplata y Henry Castañeda Noriega.

La construcción de este canal de nueve kilómetros de longitud surgió como respuesta a una necesidad vital: desviar las aguas desde la vertiente del Atlántico hacia la del Pacífico para irrigar los valles de Cajamarca.

Esta hazaña de ingeniería no solo resolvió problemas agrícolas fundamentales, sino que también estableció un precedente tecnológico que influiría en el desarrollo hidráulico de toda la región andina, como señala el arqueólogo Julio César Olivera en sus investigaciones sobre sistemas hidráulicos precolombinos. La obra destaca por su precisión técnica: muchas secciones fueron talladas directamente en la roca volcánica, con dimensiones exactas. Los ingenieros preincas implementaron un sistema ingenioso de muescas y ángulos rectos estratégicamente ubicados para controlar la velocidad del flujo hídrico, prevenir la erosión del canal y garantizar un transporte eficiente del agua a través de diferentes tipos de terreno, características detalladas en los análisis técnicos de Kauffmann Doig. Cumbemayo forma parte de una tradición milenaria de obras hidráulicas que incluye innumerables canales de riego, muchos de los cuales atraviesan la Cordillera de los Andes transportando agua entre cuencas hidrográficas. Estos trasvases interoceánicos demuestran una comprensión profunda de la geografía andina y significan soluciones innovadoras para optimizar el potencial agronómico, considerando factores como tipo de suelo, condiciones climáticas y adaptación de especies cultivadas, aspectos muy documentados por el ingeniero hidráulico Luis Lumbreras en sus estudios sobre tecnología andina.

La sofisticación técnica de Cumbemayo evidencia conocimientos avanzados que abarcaban hidráulica aplicada, control de velocidad de flujo, ingeniería de túneles subterráneos y técnicas especializadas de labrado en roca. La planificación y ejecución de esta obra requirió décadas de trabajo coordinado, conocimiento astronómico para la orientación y una organización social compleja capaz de movilizar recursos humanos y materiales a gran escala. Más allá de su función práctica, el canal posee una profunda connotación mágico-religiosa que refleja la cosmovisión andina, donde el agua se consideraba un elemento sagrado conectado con las deidades montañosas. Esta dimensión espiritual ha sido referida por antropólogos como Tom Zuidema y Luis Millones, quienes documentan la importancia ceremonial de los sistemas hidráulicos en las culturas andinas. Cumbemayo engloba un legado invaluable que demuestra cómo las civilizaciones preincas lograron transformar paisajes aparentemente inhóspitos en espacios productivos mediante la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos extraordinariamente avanzados para su época, estableciendo principios de ingeniería hidráulica que siguen siendo relevantes en la actualidad, como confirman los estudios comparativos de ingeniería moderna realizados por especialistas de la Pontificia Universidad Católica del Perú.



CANAL CUMBEMAYO

GESTIÓN HÍDRICA AVANZADA

DESDE HACE 2000 AÑOS

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Una economía azul

Mientras el mundo enfrenta desafíos crecientes de seguridad alimentaria, cambio climático y sostenibilidad ambiental, las ventajas comparativas del Perú en recursos hidrobiológicos y marinos se vuelven cada vez más estratégicas. Según la FAO, en su reporte *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*, la producción mundial de pesca y acuicultura alcanzó un récord de 223.2 millones de toneladas en 2022, y la demanda mundial de alimentos acuáticos continúa creciendo.

En este contexto, el Perú no ofrece simplemente recursos marinos abundantes; ofrece un modelo integrado de gestión sostenible que combina productividad oceánica natural, técnicas milenarias probadas y gestión científica moderna. El país fue reconocido en 2024 como una de las pesquerías mejor gestionadas del mundo, según el Índice de Desempeño Ambiental 2024, donde Perú obtuvo el primer lugar en Sudamérica. Según PRODUCE, la temporada de anchoveta contribuyó

El Perú posee, como hemos visto a lo largo de este libro, la ventaja única de combinar conocimientos ancestrales probados durante milenios con tecnologías modernas de vanguardia.

específicamente con 1349 millones de dólares en divisas y explicó que esta cifra tendría un impacto en el 0.8 % del PIB, y 8 % de las exportaciones nacionales en 2024. Además, aseguró el empleo de más de cuarenta y nueve mil trabajadores asociados a la cadena productiva de la anchoveta. Según el proyecto de colaboración alemana GIZ, las amunas han sido restauradas con técnicas modernas, capacitando a novecientos habitantes que ahora pueden mantener, operar y monitorearlas. En la economía azul del siglo XXI, el Perú no solo tiene el océano más rico del planeta, sino el conocimiento, la experiencia y la visión para mantenerlo así para las generaciones futuras.



05

El *hub* natural de América Latina

Mientras los antiguos navegantes fenicios buscaban rutas comerciales que conectaran los mundos conocidos, al otro lado del planeta ya existía un territorio que había perfeccionado el arte de la conectividad continental.



El Perú no solo ocupa una posición geográfica privilegiada en el corazón de América del Sur; ha demostrado que posee una inigualable capacidad de transformar las ventajas geográficas naturales en herramientas logísticas, comerciales y culturales que trascienden épocas. La ubicación central y occidental del Perú en América del Sur favorece su posición de nudo natural de comunicaciones terrestres, ferroviarias, marítimas y aéreas, lo que facilita el tráfico comercial y turístico recíproco en toda la región. Así, somos un pivote y centro estratégico para las comunicaciones, como afirma el Ministerio de Defensa.



Este es un país marítimo, andino, amazónico, con presencia en la Cuenca del Pacífico y en la Antártida, y con proyección geopolítica bioceánica.

Las características únicas posicionan al territorio peruano como el único en Sudamérica capaz de operar simultáneamente como puente entre océanos, continentes y civilizaciones.

El privilegio de ser tres mundos

El Perú es el tercer país más grande de América del Sur después de Brasil y Argentina.

La costa peruana, ubicada al lado del Océano Pacífico, proporciona acceso directo a la Cuenca del Pacífico, el espacio económico más dinámico del siglo XXI. Cuenta con 3080 kilómetros de litoral, una prerrogativa que ha sabido capitalizar desde épocas precolombinas para establecer rutas comerciales que conectaban civilizaciones distantes por miles de kilómetros. Un sistema de comercio marítimo desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile fue establecido alrededor del 100 a. C., con dos centros principales: la costa norte de Ecuador y Chincha, aproximadamente a 200 kilómetros al sur de la actual Lima.



CONCHA SPONDYLUS

TRADING

DESDE 100 D.C.

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS



Los mochicas aprovecharon su ubicación en la costa norte para desarrollar redes comerciales que se extendían hasta Ecuador por conchas de Spondylus, plumas amazónicas y obsidiana de las tierras altas, y hasta Chile por piedras preciosas como lapislázuli. Sus embarcaciones navegaban aprovechando las corrientes marinas del Pacífico, mientras sus rutas terrestres conectaban la costa con las zonas altoandinas a través de sistemas de intercambio que funcionaban como las primeras cadenas de suministro especializadas del continente.

La sofisticación de su cerámica retrato y de su metalurgia demuestra el nivel de intercambio tecnológico y cultural que la ubicación geoestratégica del territorio peruano facilitaba. Los chinchas se convirtieron en los comerciantes marítimos más famosos: Pedro Pizarro registró que Atahualpa afirmó que el gobernante de Chincha controlaba 100 000 balsas marítimas. La sierra, rodeada de las grandes alturas andinas, funciona como el eje vertebral de América del Sur y proporciona al Perú control sobre los pasos estratégicos que conectan las vertientes del Pacífico y del Atlántico. Los Andes centrales peruanos se caracterizan por ser continuos y elevados, sin poseer un solo paso de montaña por debajo de los 4000 metros. Entre los principales corredores bioceánicos que atraviesan el territorio peruano se encuentran la Carretera Interoceánica Sur, que conecta los puertos peruanos del Pacífico con Brasil a través de pasos andinos, y proyectos como el ferrocarril transcontinental Brasil-Perú, que contempla una conexión entre Pucallpa en el norte del Perú y Cruzeiro do Sul en el oeste de Brasil. Estas rutas utilizan valles naturales como los de los ríos Huallaga, Marañón y Ucayali que facilitan el acceso desde las regiones costeras hasta la Amazonía.

Los Andes peruanos constituyen la infraestructura natural que ha permitido el desarrollo de sistemas de comunicación vertical únicos en el mundo, donde diferentes altitudes generan microclimas específicos que sustentan ecosistemas diferenciados y complementarios.

En el pasado, la cultura chavín demostró tempranamente cómo la ubicación estratégica podía convertirse en poder de convocatoria continental.

Su capital ceremonial, Chavín de Huántar, se convirtió en el primer gran centro de peregrinación americano y atrajo visitantes desde Ecuador hasta Bolivia. Los chavín establecieron rutas comerciales con la costa norte, pasando por el Callejón de Huaylas y el valle de Casma; la costa sur, pasando por el valle de Huaura y el valle de Chincha; la sierra sur, pasando por el valle del Mantaro y el altiplano y la selva, pasando por el valle del Huallaga y el río Marañón. La selva, en la Amazonía peruana, conecta al país con la cuenca hidrográfica más grande del planeta. Esta es la más vasta de las tres regiones, con 782 880.55 km² representa el 62 % del territorio peruano. Proporciona acceso privilegiado a las rutas fluviales que conectan el Perú con Brasil, Colombia, Ecuador y el océano Atlántico a través del río Amazonas. Por estas rutas fluviales circulan productos madereros, petrolíferos, minerales, agrícolas tropicales y manufacturas hacia los mercados del Atlántico.

Los chachapoyas, por su parte, asentados en la selva alta del norte del Perú, desarrollaron una extensa red de intercambio que conectaba la Amazonía con la costa y la sierra, comerciando productos amazónicos como plumas, maderas preciosas y plantas medicinales por metales y textiles.

La convergencia de características marítimas, andinas y amazónicas ha permitido que el Perú opere como el único territorio sudamericano con proyección geopolítica verdaderamente bioceánica, capacidad que las civilizaciones precolombinas explotaron durante milenios y que hoy se materializa en proyectos de infraestructura de alcance continental.

Entre estos proyectos destaca la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana (IIRSA), donde el Perú participa en cuatro de los nueve ejes de integración: el Eje del Amazonas, el Eje Andino, el Hub Perú-Brasil-Bolivia y el Eje Interoceánico Central.



BALSA MARÍTIMA CHINCHA

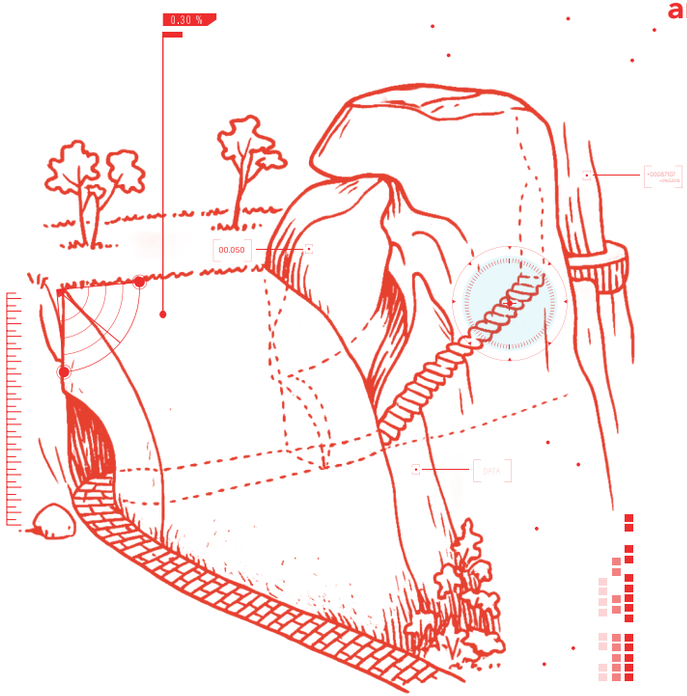
WIRELESS NETWORKS

DESDE 1000 D.C.

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

Un imperio de las comunicaciones

El apogeo de la explotación geoestratégica del territorio peruano llegó con el Tahuantinsuyu, que desarrolló la red de comunicaciones más avanzada del continente americano.



El Qhapaq Ñan fue construido con el propósito principal de mantener comunicado un enorme territorio, permitiendo movilizar ejércitos de manera muy rápida, sirviendo como ruta de comercio en una civilización con tendencia a la redistribución y el intercambio, y como herramienta para la culturización de los pueblos recién conquistados. Funcionaba como mucho más que una red de transporte; operaba como el sistema nervioso de un imperio que coordinaba actividades económicas, políticas y culturales a escala continental. Los caminos permitían el rápido desplazamiento de mensajeros llamados chasquis, el movimiento de tropas para responder rápidamente a rebeliones o amenazas externas, y el intercambio económico de productos entre las diferentes regiones del imperio.

Asimismo, el Qhapaq Ñan fue una extensa red de comunicación, comercio y defensa de caminos que cubría 30 000 kilómetros, sin tomar en cuenta sus ramales. Construida por las comunidades andinas prehispánicas durante varios siglos, la red alcanzó su máxima expansión en el siglo XV, durante la consolidación del Tahuantinsuyu. El sistema de caminos incaicos era el sistema de transporte más extenso y avanzado en la América del Sur precolombina, con aproximadamente 40 000 kilómetros de longitud total. La red completa conectaba varios centros de producción, administrativos y ceremoniales construidos durante más de 2000 años de cultura andina preincaica.

Este sistema de caminos se extendía por una de las zonas geográficas del mundo de mayores contrastes, desde las cumbres nevadas de los Andes que se yerguen a más de 6000 metros de altitud hasta la costa del Pacífico, pasando por bosques tropicales húmedos, valles fértiles y desiertos de aridez absoluta.

Los ingenieros incaicos desarrollaron soluciones técnicas que anticiparon principios de la ingeniería civil moderna.

La red estaba compuesta de caminos formales cuidadosamente planificados, diseñados, construidos, marcados y mantenidos; pavimentados donde era necesario, con escaleras para ganar elevación, puentes y construcciones accesorias como muros de contención y sistemas de drenaje de agua.

Los tambos eran construcciones esenciales distribuidas estratégicamente cada 20-25 kilómetros. Funcionaban como estaciones pequeñas (chaskiwasi) y complejos más grandes y lujosos (tambos) donde los viajeros podían pasar la noche y refrescarse. Se sabe que los curacas estaban obligados a ordenar el mantenimiento de las vías cercanas a sus dominios, eliminando la acumulación de tierra en los caminos, la reparación del empedrado y la limpieza de las acequias que protegían los caminos. Este sistema de mantenimiento descentralizado aseguraba la operación continua de la red durante siglos, demostrando una comprensión avanzada de principios de gestión de infraestructura que anticipó modelos contemporáneos de administración pública. El estudio del Banco Central de Reserva del Perú «Nota sobre los efectos de largo plazo del Camino Inca», publicado en 2021, encontró que los efectos del sistema de caminos incaicos han perdurado por más de quinientos años, con salarios, nutrición y niveles escolares más altos en comunidades que viven dentro de 20 kilómetros del Camino Inca, en comparación con comunidades similares más alejadas.



QHAPAQ ÑAN

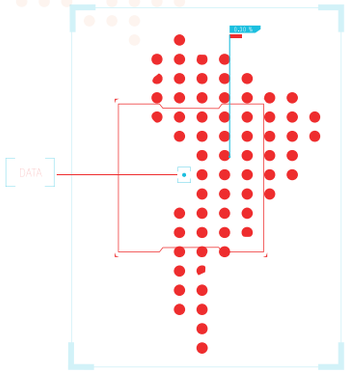
DATA ROUTING

DESDE HACE MÁS DE 500 AÑOS

UN PAÍS DE INNOVADORES DESDE TIEMPOS MILENARIOS

El Virreinato: una conexión expansiva

La importancia geoestratégica del territorio peruano alcanzó su máxima expresión durante el período virreinal (1542-1821), cuando se convirtió en el centro neurálgico del poder español en Sudamérica.



El Virreinato del Perú, en su máxima extensión, comprendió gran parte de Sudamérica y el istmo de Panamá, abarcó una inmensa superficie que correspondía a los actuales territorios de Argentina, Uruguay, Paraguay, Bolivia, Colombia, Chile, Ecuador, Panamá, Perú y toda la región oeste, sureste y sur del Brasil, consolidando al territorio peruano como la plataforma de control más extensa, prácticamente la mitad, del imperio español en América. El Perú tenía un papel sumamente protagónico por ser abastecedor de minerales, como la plata extraída de riquísimos yacimientos como el de Potosí, Huancavelica y Hualgayoc, y por ser el más importante centro administrativo del poder virreinal, del poder judicial y del poder inquisitorial de la América del Sur. La elección de Lima como capital virreinal no fue fortuita: su ubicación cercana a la costa facilitaba la comunicación con España y el comercio marítimo, y así fue como se convirtió en el epicentro político y administrativo del Virreinato. La hegemonía económica del Virreinato se sustentó en la extraordinaria riqueza minera del territorio. El Cerro Rico de Potosí proporcionó las dos terceras partes de la plata que hubo en el Perú, mientras que la plata extraída de estas minas contribuyó a la economía ibérica, financiando las ambiciones imperiales de España en Europa y en sus colonias. Este flujo de riquezas convirtió a Lima en la principal ciudad de Sudamérica, poseedora de una vida cortesana y comercial comparable a la de la propia Madrid. El control territorial del Virreinato peruano demostró la importancia geoestratégica del territorio al funcionar como el último baluarte, reducto y centro imperial de España; desde aquí se reprimió toda manifestación independentista en las colonias de España en Sudamérica, se contuvo la rebelión del Alto Perú en 1809, se sofocó los levantamientos de Quito y se reconquistó Chile. La importancia geopolítica del Virreinato se vio reflejada también en su estructura administrativa. La Real Audiencia de Lima tenía por audiencias la de Quito, Charcas y Chile, consolidando un sistema de poder jerárquico que irradiaba desde el territorio peruano hacia el resto del continente.

El legado geopolítico del Virreinato del Perú estableció patrones de centralidad administrativa y control territorial que sentaron las bases para la configuración territorial y la vocación integradora que caracterizaría al Perú republicano y que persiste en los proyectos contemporáneos de conectividad bioceánica.

De Chancay a Shanghái: la continuidad logística

La supremacía geoestratégica que el Perú desarrolló durante milenios encuentra su expresión contemporánea más espectacular en el Megapuerto de Chancay, que representa la continuación natural de la tradición peruana de convertir ventajas geográficas en liderazgo logístico continental. Según el economista y profesor de la PUCP, Juan José Vega, el interés de la empresa china en Chancay se debe principalmente a dos razones: su ubicación y la profundidad de su costa.

Para China, de acuerdo con Vega, Chancay es un punto de entrada y salida adicional en el continente, algo que complementa su red de puertos a nivel mundial.

Esto lo posiciona como un enlace estratégico que reduce los tiempos de transporte en casi diez días, lo que representa una disminución significativa en los costos. Asimismo, sus instalaciones y tecnología permiten recibir buques de gran calado que transportan hasta veinticuatro mil contenedores, conocidos como *twenty-foot equivalent units* (TEU). Estos buques necesitan puertos de aguas profundas y al menos quince metros de calado, algo que Chancay cumple de sobra gracias al gran calado natural de la bahía.

El puerto está destinado a conectar América del Sur más directamente con Asia. La construcción comenzó con una inversión inicial de USD 1.3 mil millones de Beijing. Fue planificado como un puerto de aguas profundas de quince amarres. El proyecto, según el embajador chino Yiang Lu, costará en total USD 3.6 mil millones de dólares y generaría USD 4.5 mil millones en ingresos anuales, crearía más de 8000 empleos directos y reduciría los costos logísticos de la ruta Perú-China en 20 %.

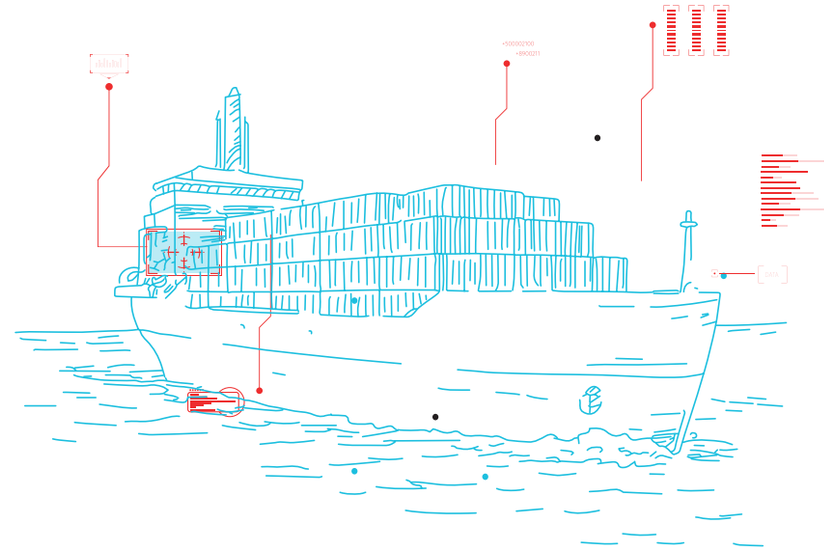


El viaje transpacífico actualmente toma al menos treinta y cinco días e incluye paradas en puertos como Long Beach, California. Una vez que el puerto abra, los bienes podrían viajar de Chancay a Shanghái en tan solo veinte días.

Otros puertos peruanos también forman parte de esta estrategia de conectividad bioceánica. El Callao, como puerto principal del país, concentra el 70.5 % del total de carga nacional y experimentó un incremento del 15.3 % en 2024, totalizando 726 069 TEUs en el primer trimestre. En 2023, el Sistema Portuario Nacional movilizó más de 3.1 millones de TEUs, con el puerto del Callao liderando a través de sus dos terminales principales: DP World Callao (Muelle Sur), que movilizó 1.64 millones de TEUs, estableciendo un récord histórico, y APM Terminals (Terminal Norte Multipropósito), con 1.1 millones de TEUs.

El puerto de Paita, en el norte, sirve como puerta de entrada estratégica para el comercio con Ecuador y Colombia.

Se especializa en exportaciones agrícolas y pesqueras que constituyen aproximadamente el 90 % del volumen total exportado. En 2023, Paita movilizó 318 947 TEUs y 2.5 millones de toneladas métricas, con productos destacados como paltas frescas (173 581 TM), mangos frescos (149 633 TM) y plátanos frescos (97 259 TM). El puerto mantiene una importante conexión con Estados Unidos a través del programa Sister Ports con el puerto de Hueneme, California, y reduce los tiempos de tránsito de dieciséis a siete días.



Matarani, en el sur, facilita el comercio con Bolivia a través de corredores terrestres que atraviesan los Andes, es un eje estratégico para el comercio exterior bilateral. En 2023, el puerto movilizó siete millones y medio de toneladas métricas totales y 7065 TEUs. Entre 2023 y 2024, el volumen de carga boliviana se incrementó en 19 %, pasando de 193 928 a 239 550 toneladas métricas, con productos como hierro, metales, planchas, tubos y estructuras metálicas provenientes principalmente de China con destino a Bolivia.

El proyecto del Corredor Ferroviario Bioceánico Central busca unir Brasil, Bolivia y Perú, y conecta los océanos Atlántico y Pacífico a través de los puertos de Santos y Chancay. El proyecto, que se espera tenga una inversión inicial de USD 3500 millones de Beijing, forma parte de los acuerdos estratégicos firmados entre los líderes de ambos países, Luiz Inácio Lula da Silva y Xi Jinping, en 2023. Esta proyección regional convierte al Perú en el equivalente moderno de lo que fue Cusco durante el Tahuantinsuyu: el centro de redistribución desde el cual se coordina la actividad económica de un territorio que trasciende las fronteras nacionales.

Conclusiones

Cinco milenios de ventajas en la era de la inteligencia artificial

Algo nuevo está ocurriendo en América Latina. Por primera vez en la historia moderna, los países de ingresos medios no van detrás de una revolución tecnológica; están liderando la adopción de la inteligencia artificial. Este fenómeno representa una inversión histórica del patrón tecnológico tradicional. Según el análisis del informe *How People Use ChatGPT*, escrito por especialistas de OpenAI y de las universidades de Duke y Harvard, la juventud latinoamericana está revolucionando el panorama digital global, considerando que casi la mitad de los mensajes de la inteligencia artificial provienen de usuarios menores de 26 años y que la población de América Latina, con una edad promedio de 31 años (frente a 39 en EE. UU. y 44 en Europa), lidera esta transformación tecnológica utilizando la IA intensivamente, no solo para entretenimiento, sino como motor de educación, emprendimiento y autoformación. La adopción de la inteligencia artificial, por lo demás, es cuatro veces más veloz en países menos desarrollados que en economías avanzadas. No menos importante es que en los primeros meses tras el lanzamiento de la IA, cerca de 80 % de los usuarios eran hombres. Para junio de 2025, la proporción es paritaria, con una ligera mayoría de usuarias mujeres. Así, la democratización de la inteligencia artificial puede finalmente monetizar ventajas comparativas peruanas forjadas durante milenios. Las implicaciones van más allá del emprendimiento para tocar los fundamentos mismos del desarrollo económico nacional. Esta convergencia no es teórica; está ocurriendo ahora y los primeros resultados demuestran su notable potencial transformador.

Cuando Carlos Gereda, junto a otros innovadores y esfuerzos conjuntos, logró convertir al Perú en el primer exportador mundial de arándanos con 2270 millones de dólares en ventas, no solo creó una industria; demostró que las condiciones geográficas aparentemente adversas pueden convertirse en ventajas competitivas cuando se combina visión emprendedora con conocimiento del territorio. Se desarrollaron variedades que ningún competidor puede replicar porque están específicamente adaptadas a condiciones que solo existen en el Perú. Sumado a ello, hay que mencionar un dato tan o más relevante: la cantidad de puestos de trabajo que produce. Según Proarándanos, para la campaña de 2023 había generado 137 752 puestos, una tendencia que ha ido incrementándose desde 2013. La adopción acelerada de IA en Latinoamérica ha creado una ventaja temporal inédita. De acuerdo al más reciente reporte de Endeavor y Glisco Partners, durante 2024 las *startups* en la región captaron 2.85 mil millones de dólares en 432 rondas de inversión, lo que representa un incremento del 26 % de capital en comparación con 2023, a pesar de una ligera disminución del 2 % en el número de transacciones. Los países de ingresos medios latinoamericanos muestran patrones de adopción que superan lo que sugeriría su infraestructura económica, revelando una capacidad excepcional para integrar nuevas tecnologías. La participación de inversionistas locales en el ecosistema emprendedor saltó del 16 % al 39 % en un año, según estadísticas de Latam Republic de octubre de 2024. Este crecimiento refleja el reconocimiento de que las oportunidades más prometedoras emergen cuando la tecnología democratizada se aplica a fortalezas territoriales excepcionales.

Nos referimos a las cinco ventajas comparativas que constituyen la columna vertebral de este libro y que se refieren al legado histórico, la riqueza minera, la megadiversidad biológica, la ubicación estratégica y el potencial hídrico del Perú. Ya no se trata de verlos como activos heredados sino como motores potenciales de un nuevo modelo de desarrollo. El libro propone que, al articular estos cinco pilares con ciencia, tecnología y visión de futuro, el país puede transformar su legado en un sistema sostenible de innovación que conecte tradición y modernidad, territorio y conocimiento, raíces y futuro.

Cuando *startups* exitosas emigran porque no están construidas sobre ventajas comparativas del país, demuestran que

la innovación desconectada del territorio es insostenible. Pero cuando los emprendimientos se arraigan en fortalezas específicamente peruanas, crean ventajas competitivas que los mantienen en el país mientras les permiten servir a mercados globales. Las tecnologías emergentes representan tanto un desafío como una oportunidad para la modernización del sector minero peruano. Mientras diversas compañías mineras de gran envergadura ya están implementando estas innovaciones, resulta fundamental que estas nuevas tecnologías y *startups* sean desarrolladas dentro del Perú, por emprendedores locales que poseen un conocimiento profundo del territorio nacional, sus particularidades geológicas y su diversidad ecosistémica.

La filosofía de «innovar desde fortalezas únicas» no es solo estrategia emprendedora; es imperativo para un verdadero desarrollo nacional. El Perú no necesita crear el próximo Uber o Facebook; necesita crear soluciones que solo pueden originarse aquí pero que resuelven problemas globales. Una *startup* que desarrolle tecnología minera específicamente para condiciones geológicas peruanas puede probar y perfeccionar soluciones en las condiciones más exigentes del mundo antes de exportarlas. Una empresa biotecnológica que decodifique plantas amazónicas mediante IA puede crear medicamentos que combinan sabiduría ancestral con ciencia de vanguardia.

El Megapuerto de Chancay simboliza la continuación de una tradición geoestratégica milenaria. Cuando conecte Asia con América del Sur, reduciendo tiempos de tránsito en más de veinte días, estará replicando el patrón de conectividad que el Qhapaq Ñan estableció durante siglos: convertir posición geográfica en supremacía logística que trasciende fronteras nacionales.

Los próximos cinco años representan una ventana de oportunidad histórica donde se definirán los líderes globales en la aplicación de IA a sectores tradicionales. El Perú puede posicionarse como centro mundial de innovación en minería, agricultura, pesca y biotecnología, entre otros, por tener las mejores condiciones para probar, perfeccionar y escalar soluciones que posteriormente se exportarán globalmente.

El potencial transformador de esta convergencia es mensurable. Las exportaciones agroalimentarias alcanzaron un récord de 12 399 millones de dólares en 2024, de acuerdo a ComexPerú. La industria pesquera genera más de tres mil millones en exportaciones anuales. Los proyectos mineros valorados en más de cincuenta mil millones de dólares crean laboratorios naturales para innovación tecnológica. Cada uno de estos sectores puede multiplicar su impacto cuando el conocimiento ancestral se combina con capacidades tecnológicas innovadoras.

La convergencia histórica entre ventajas ancestrales e inteligencia artificial representa la posibilidad de redefinir qué significa ser un país desarrollado en el siglo XXI. En lugar de imitar modelos externos, el Perú puede crear un paradigma propio, reformularse en la mejor versión de lo que siempre ha sido: un laboratorio natural de innovación donde sea posible crear prosperidad, que los emprendedores no emigren porque sus ventajas competitivas están arraigadas en territorio nacional, y que este sea el punto de partida para que puedan competir globalmente. Pero esta visión no se materializará por inercia. Requiere políticas públicas audaces que aceleren la conexión entre ciencia, tecnología y productividad: educación orientada a competencias digitales y STEM desde etapas tempranas; incentivos fiscales para la inversión en I+D; marcos regulatorios que fomenten la adopción segura y responsable de la inteligencia artificial; y mecanismos de financiamiento público-privado que reduzcan la brecha entre prototipo y escalamiento. El Estado debe habilitar, la empresa apostar, la academia investigar con propósito y los emprendedores atreverse a pensar en grande y transformar sectores tradicionales desde el territorio. Solo mediante esta acción coordinada y en colaboración podremos convertir la ventana de oportunidad que ofrece la era de la inteligencia artificial en un ciclo sostenido de desarrollo, orgullo y prosperidad compartida para el Perú.

Durante cinco milenios, el Perú ha sido laboratorio natural de civilizaciones. Hoy, puede ser el laboratorio global de soluciones humanas basadas en inteligencia colectiva y ancestral. Esta vez no vamos tarde. Esta vez nos toca pensar en grande.

