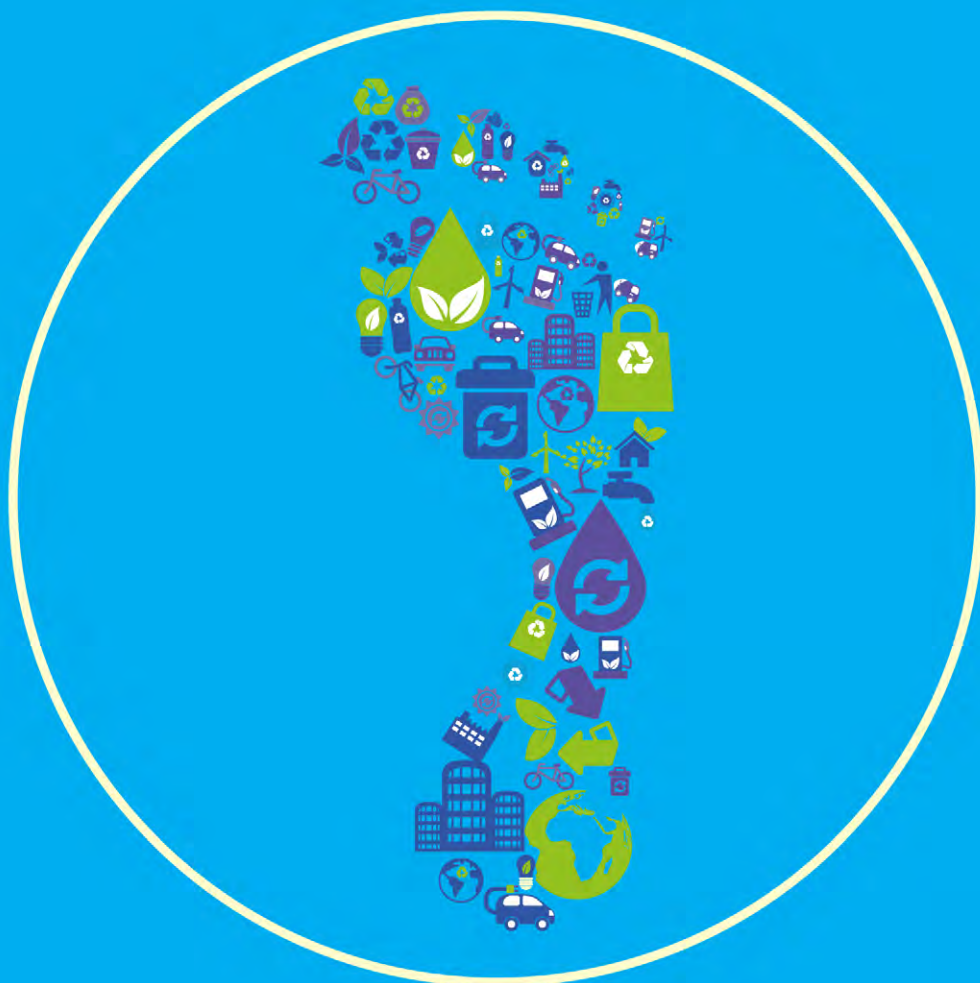


Revista de divulgación científica

Libros & Ciencias

Nº1 - Diciembre 2020



Cambio Climático

**Reina Camacho - Mark Carey - Ronald Concha - Sonia Delgado
Miguel Figueroa - Martín López - Benjamín Marticorena
Alejandra Martínez - Silvana Vargas**



biblioteca
nacional
del Perú



CONCYTEC
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA
TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

© Biblioteca Nacional del Perú
Av. De la Poesía N° 160, San Borja.
Lima, Perú.

© Consejo Nacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación Tecnológica
Calle Chinchón N° 867, San Isidro.
Lima, Perú.

Ezio Neyra Magagna
**Jefe Institucional de la Biblioteca
Nacional del Perú**

Anmary Narciso Salazar
**Presidenta del Consejo Nacional de
Ciencia, Tecnología e Innovación
Tecnológica**

Fabiola Vergara
**Directora de la Dirección del Acceso
y Promoción de la Información (BNP)**

Kristel Best Urday
**Jefa del Equipo de Gestión Cultural,
Investigaciones y Ediciones (BNP)**

Henry Harman Guerra
**Director de la Dirección de Políticas y
Programas de CTel (CONCYTEC)**

Coordinación general: Neydo
Hidalgo
Edición: Gracia Angulo Flores
Diseño y diagramación: Karina Haro
Soto
Corección de estilo: Sandra Arbulú
Duclós

Primera Edición: Diciembre 2020

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N°2020-
08702

ÍNDICE

- 3 Presentación

Panorama de la ciencia

- 8 Reflexión sobre el sentido y la utilidad de la actividad científica. Benjamín Marticorena
12 «Necesitamos sociólogos, antropólogos, psicólogos e historiadores que investiguen el cambio climático». Entrevista a Mark Carey

Ciencia y sociedad

- 17 Cambio climático en tiempos de la COVID-19 ¿Inevitable calamidad o ineludible oportunidad para el bienestar planetario? Silvana Vargas y Sonia Delgado
19 ¿Cómo podemos cambiar nuestros hábitos de consumo? Siete estrategias que te ayudarán a lograrlo. Miguel Figueroa
22 ¿Podemos prevenir los desastres? Monitoreo del fenómeno El Niño y su impacto socioeconómico en el Perú. Alejandra Martínez

Investigación en el Perú

- 30 Sensores naturales del calentamiento global: Lo que nos dice la evolución de los glaciares en la cuenca Lullán-Parón. Ronald Concha

Investigación en marcha

- 38 Monitoreo de cabeceras de cuenca con satélites ante cambio climático
40 La computación evolutiva al servicio del diseño de viviendas contra el cambio climático
41 El carbono negro, uno de los principales agentes del retroceso glaciar
43 Científicos usaron biotecnología para hacer a la quinua resistente a las heladas

Fronteras de la ciencia

- 48 «Cada vez que damos un paso adelante en el conocimiento, damos un paso adelante para la humanidad y para la vida cotidiana». Entrevista a Reina Camacho

Ciencia sobre papel

- 54 Mariano Eduardo de Rivero y Ustáriz: Evocaciones. Martín López.

PRESENTACIÓN

La Biblioteca Nacional del Perú y el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - CONCYTEC, aúnan esfuerzos y establecen lazos de cooperación interinstitucional para la publicación de *Libros&Ciencias*, revista de divulgación que abarcará temas de interés nacional en los cuales la ciencia y la tecnología dan aportes y soluciones.

Libros&Ciencias tiene como uno de sus objetivos principales comunicar al público no especializado temas científicos y tecnológicos que despiertan el interés actual. A través de sus páginas, las lectoras y lectores podrán conocer cómo se realiza la investigación en el Perú y el mundo; cómo se produce el avance científico y desarrollo tecnológico; cómo estos influyen en nuestras vidas y en el desarrollo de las sociedades; qué conocimiento científico y tecnológico se está desarrollando en nuestro país; por citar solo algunos temas.

Este primer número se enfoca en el **cambio climático**, uno de los temas que despierta mayor interés en la comunidad científica y la ciudadanía en general pues sus consecuencias ya están generando cambios drásticos en nuestro territorio y en el mundo. Así, desde hace algunos años, la ciudadanía ha tomado mayor consciencia de la vulnerabilidad en la que está frente a los impactos del cambio climático principalmente por el esfuerzo e iniciativa de algunos científicos, organizaciones internacionales y activistas; sin embargo, muchos no conocen los principios científicos que gobiernan este fenómeno, aquellos que nos permitirán desarrollar medidas para la adaptación de nuestras poblaciones humanas, y tampoco han tomado consciencia de las formas en las que todas y todos podemos mitigar nuestras emisiones y no contribuir a la acumulación de gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera. En este contexto, *Libros&Ciencias* N°1 muestra el panorama actual de la ciencia en relación a este fenómeno.

Agradecemos a los colaboradores y las colaboradoras que han hecho posible la realización del presente número: Benjamín Marticorena, consultor independiente; Sonia Delgado y Silvana Vargas de la Pontificia Universidad Católica del Perú; Daniel Flores del Instituto Geofísico del Perú; Ronald Concha del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico; Reina Camacho; Mark Carey de la Universidad de Oregon en Estados Unidos; Martín López de la Biblioteca Nacional del Perú; Alejandra Martínez del Instituto Geofísico del Perú; y Miguel Figueroa.

1

PANORAMA DE LA CIENCIA



Reflexión sobre el sentido y la utilidad de la actividad científica

Benjamín Marticorena

«La empresa científica orientada a la satisfacción de las necesidades de todos, asegurando que esa prerrogativa alcance a las siguientes generaciones mediante la conservación de la oferta ambiental, es la base para un indispensable nuevo contrato social».

La investigación científica lleva a certezas sobre el universo físico y social del que somos parte, para tomar decisiones de política sobre el modo eficiente de vivir esa pertenencia y de satisfacer el anhelo natural de conocimiento y alimento del espíritu. Aunque paso a paso las verdades descubiertas por la ciencia van describiendo el mundo tal como es, su camino no es único ni lineal. En efecto, dejando aparte las mitologías que sobre la génesis y la estructura del mundo imaginaron las antiguas civilizaciones —asunto que corresponde a la antropología—, la humanidad ha ido variando conceptualmente su «verdad científica» con saltos radicales de un modelo al siguiente. De la imagen tolemaica de la Tierra como centro del universo a la copernicana del universo centrado en el Sol, de la alquimia medioeval a la química atómica, de la mecánica de Newton a la Relatividad de Einstein, de la física de ondas y partículas a la de entidades duales onda-partícula (la llamada mecánica cuántica) o de la geometría de Euclides a

la de Gauss y Minkowski, el conocimiento científico ha dado saltos conceptuales tan grandes que no tendríamos justificación para excluir que esos magníficos percances vayan a continuar sucediendo en el futuro. En ello reside la gloria y el drama de la ciencia. Con todo, gracias a la racionalidad en que la ciencia se asienta, se verifican dos hechos comunes a sus distintas etapas históricas: (i) los modelos que representan la realidad explican satisfactoriamente, a juicio de la comunidad científica de cada época, todos los fenómenos físicos conocidos en ella; y (ii) el itinerario invariable para obtener ese conocimiento científico partiendo de hipótesis iniciales es el de la experimentación, la observación crítica y el método deductivo, que lleva de las leyes generales a sus aplicaciones particulares.

El universo está compuesto de cuerpos materiales que actúan entre sí, mediante relaciones forzosas ('leyes naturales') que intercambian energía. Y los lugares en que se encuentran y las velocidades que cada uno y todos esos ob-

jetos tienen en cada momento constituyen la «información» instantánea contenida en un sistema material. Cuanto más complejas son las estructuras de los conglomerados atómicos, como es el caso de las biomoléculas, la información que contienen es mayor. Así, los organismos vivos son más complejos e informativos que los inorgánicos, pero ambos se parecen en estar contruidos por partículas últimas (átomos) de igual naturaleza y propiedades. Con esa perspectiva, la diferencia entre los cuerpos inertes y los vivos está en la abundante información que estos contienen frente a la menor de aquellos, pero no en los «ladrillos» de los que ambos están formados.

La inclinación a la indagación de la naturaleza se advierte en una multitud de manifestaciones en las artes y procedimientos de producción y de medición antiguos de los que las técnicas y ciencias modernas son deudoras. En sus *Comentarios Reales*, el Inca Garcilaso destina varios capítulos a exponer las técnicas que expresaron la experiencia

de las comunidades andinas en el empleo de los recursos naturales de sus territorios, el grado de su buen o mal aprovechamiento, una organización social relativamente funcional con el espacio vivido, una economía bastante estable¹ y la organización de un Estado. El escenario social y tecnológico de la sociedad andina originaria es una marca de identidad de esa civilización. Pero el ejercicio sistemático y social² de investigar y comunicar universalmente la realidad natural y humana descubierta data de solo cinco siglos, como instrumento de las nuevas ideas sobre el progreso, las relaciones internacionales y las libertades sociales.

En la sociedad presente, la ciencia y la comunidad científica desempeñan un papel principal en los servicios públicos (de educación, salud, esparcimiento, provisión de agua, seguridad frente a fenómenos naturales destructivos, etc.) y en la moderna producción alimentaria, energética, minera y manufacturera. La competitividad de los grupos sociales, de los emprendimientos productivos y de los países se funda en la amplitud de sus conocimientos y en su capacidad para generar otros nuevos y emplearlos con mayores beneficios sociales, económicos y ambientales. Por eso, el compromiso de la empresa científica es orientarse

a la satisfacción de las necesidades de todos, asegurando que esta prerrogativa alcance a las siguientes generaciones mediante la conservación de la oferta ambiental, como el fundamento para un perentorio nuevo contrato social.

«El escenario social y tecnológico de la sociedad andina originaria es una marca de identidad de esa civilización. Pero el ejercicio sistemático y social de investigar y comunicar universalmente la realidad natural y humana descubierta data de solo cinco siglos, como instrumento de las nuevas ideas sobre el progreso, las relaciones internacionales y las libertades sociales».

Dados los requerimientos y las inevitables limitaciones de financiamiento, las sociedades requieren identificar prioridades de investigación para alcanzar metas deseadas en plazos definidos. Para hacerlo, requieren (i) del reconocimiento de las potencialidades del territorio y de su gente, es decir, de los recursos naturales y sociales disponibles; y (ii) de lo que se desea que la sociedad sea y tenga en el plazo dado. Esta afirmación adquiere mucho sentido en situaciones de

crisis general (institucional, económica, social y ambiental) como la que hoy experimentan el Perú y el mundo ante la pandemia que nos asola.

La diversidad geográfica (geológica, climática y biológica) y cultural y, en contraste, la marcada escasez de suelo agrícola y de agua como factores físicos limitantes, constituyen una peculiaridad nacional. Pensar el país desde una perspectiva responsable y racional es construirse una imagen unificada de esas abundancias y escaseces para gestionarlas en conjunto y decidir sobre las cuestiones a las que la actividad científica debe responder. Se impone, por ejemplo, gestionar la abundancia minera simultáneamente con la escasez de suelos y agua para la producción de alimentos, de tal manera que ambas actividades económicas se influyan mutua y positivamente para reducir, en todo lo posible, las incompatibilidades entre ellas, teniendo en consideración el estado de la tecnología, la economía y la institucionalidad disponibles. Sobre la base de la vocación social y ambiental de cada lugar de un país tan marcadamente diverso como el Perú, deben establecerse las prioridades de actividad productiva y, según ellas, las de investigación científica y desarrollo tecnológico local. En esto es indispensable la fun-

¹ El historiador Waldemar Espinoza ha hecho notar que la rápida expansión del Estado inca en el siglo XV tuvo un fuerte impacto en la ecología, al haberse visto presionados los gobernantes cusqueños a destinar tierras de cultivo (generalmente escasas en el territorio andino) a pasturas para la producción de ganado para textiles que constituyeron el producto principal de intercambio en la estrategia de «reciprocidad» entre comunidades.

² En contraposición a la acción individual del científico, el carácter social de la práctica científica está dado por los impactos de sus hallazgos sobre la vida de la sociedad.

ción del Estado como garante del bien común.

Otro ámbito es el de la diversidad de climas y de las especies de plantas y fauna que los caracterizan. La latitud intertropical, la cordillera y la corriente marina a lo largo de la costa dan lugar a lo que George Pralong³ llamó la «alfombra multicolor» andina, un territorio muy accidentado cuyos parámetros climáticos pueden variar continua o bruscamente en el espacio y en el tiempo, de modo que puede encontrarse una formación ecológica con sus plantas y fauna endémicas, y otra distinta a corta distancia, al otro lado de la divisoria de aguas. Para emplear adecuadamente esa oferta ambiental en su sostenimiento, las comunidades requieren conocimientos producidos por la actividad científica y de tecnologías fundadas en ellos.

Para una mayor incorporación a la economía de muchos peruanos que trabajan en pequeñas y medianas empresas (que representan el 98% de las unidades empresariales, el 73% del empleo y el 47% del PBI del país) es crucial la creación de un marco institucional y legal de tecnologías limpias y apropiadas, así como la capacitación para su emergencia social y económica. Existen programas internacionales de transferencia tecnológica para PYMES con cientos de miles de tecnologías libres de derechos que pueden ser adaptadas a

las pequeñas empresas rurales y urbanas para ampliar y mejorar su producción, con la consecuente reducción de costos y contaminación, la mejora de sus productos e incremento de ganancias y calidad de vida para los productores. Sin embargo, la política nacional para afrontar el reto de la inclusión social no podrá fundarse única ni principalmente en la oferta externa. Son dos los programas especiales y propios que se hacen urgentes: (i) El programa para la creación de nuevas tecnologías según las demandas locales y la adaptación de otras preexistentes; y (ii) La recuperación y readaptación de tecnologías tradicionales.

«Para una mayor incorporación a la economía de muchos peruanos que trabajan en pequeñas y medianas empresas (que representan el 98% de las unidades empresariales, el 73% del empleo y el 47% del PBI del país) es crucial la creación de un marco institucional y legal de tecnologías limpias y apropiadas, así como la capacitación para su emergencia social y económica».

Sobre la base de la vocación social y ambiental de cada lugar de un país tan marcadamente diverso como el Perú, deben establecerse las priori-

dades de actividad productiva y, según ellas, las de investigación científica y desarrollo tecnológico local.

En los últimos cuarenta y cinco años, en contraste con el crecimiento de la economía peruana desde el año 2003 hasta el 2019, la inversión en investigación y desarrollo (I&D) en el Perú ha decrecido desde su nivel pico de 0,36% del PIB en 1975 hasta alrededor de 0,12% del PIB⁴ en la actualidad. El retroceso de la I&D ha provocado una fuerte disminución de la producción científica y de su calidad en las universidades e institutos que realizan la mayor parte de la investigación en el país y que dependen del financiamiento público. Contrasta también con los más robustos esfuerzos de países cercanos (especialmente Colombia, Argentina y Chile) para mejorar sus programas de formación de alto nivel, lo que supone apostar por instrumentos y políticas de promoción de la investigación.

El aporte internacional del Perú se limita a su participación en el mercado mundial de materias primas y alimentos, con lo que su papel entre las naciones es secundario y sustituible. En suma, es una apuesta menor y desafecta. Y no existe una razón sustantiva para que siga siendo así. La investigación científica se realiza para dar a los ciudadanos y a sus instituciones el poder transformador que necesitan.

³ Antropólogo y antiguo director del Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA).

⁴ El 0,12% del PBI aplicado a la ciencia y tecnología representa la quinta parte del promedio de inversión en América Latina y ubica al Perú en los últimos lugares de la región.

UN LARGO CAMINO POR RECORRER

El Perú todavía muestra una cifra baja en gasto en investigación y desarrollo científico. Estos resultados muestran una realidad que necesita ser reformada urgentemente para asegurar el crecimiento económico en el largo plazo.

S/ 927 Mill

FUE EL GASTO EN I+D EN EL PERÚ. ESTO REPRESENTÓ UN 0.13% DEL PBI EN EL AÑO 2018.

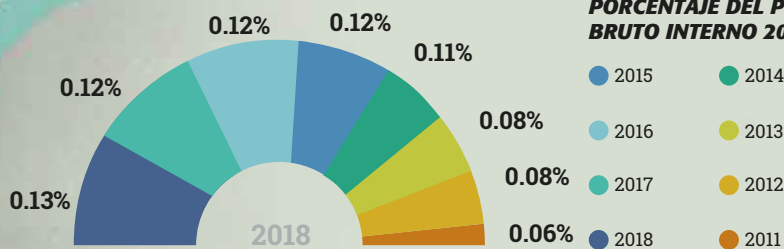
GASTO EN I+D CON RESPECTO AL PBI - Año 2018



Fuente: RICYT, Banco Mundial 2020

En Latinoamérica una gran proporción de gasto está orientado a la Investigación Básica y Aplicada, y en los países OCDE, al Desarrollo Tecnológico de productos innovadores.

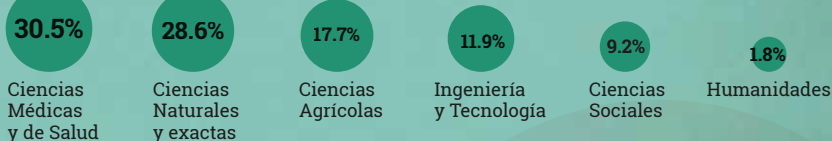
GASTO EN I+D COMO PORCENTAJE DEL PRODUCTO BRUTO INTERNO 2011-2018



Fuente: Banco Mundial

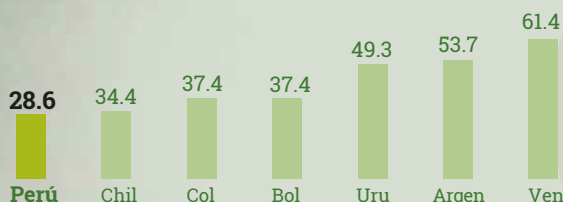
INVESTIGADORES SEGÚN ÁREA DE CONOCIMIENTO (2018)

AL 2020 EL PERÚ CUENTA CON **5,500** INVESTIGADORES CALIFICADOS SEGÚN EL RENACYT.



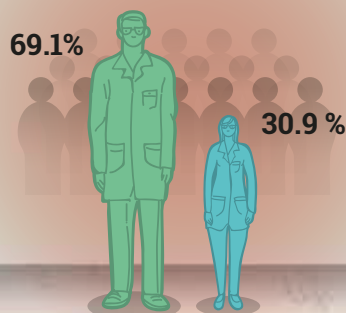
Fuente: RICYT 2020

» Porcentaje total de investigadores mujeres (2020)



Fuente: RICYT, UNESCO

BRECHA DE GÉNERO



En el Perú, por cada dos investigadores masculinos hay uno femenino.

NÚMERO DE ARTÍCULOS EN REVISITAS CIENTÍFICAS CON AFILIACIÓN PERÚ



Fuente: SCOPUS

EN EL AÑO 2018 SOLO SE REGISTRARON **3,515** artículos

«Necesitamos sociólogos, antropólogos, psicólogos e historiadores que investiguen el cambio climático»

Entrevista a Mark Carey

¿Cómo nació tu interés por investigar los glaciares peruanos?

Siempre he seguido dos grandes pasiones en mi vida: la historia y el medio ambiente. He estudiado historia latinoamericana y también soy alpinista, esquiador y excursionista. Mi primer trabajo fue como guardaparques en Estados Unidos, donde los glaciares y el hielo me cautivaron. Por eso llegué a ser historiador ambiental.

Pero el momento central, en el que combiné mi fascinación por los glaciares con mi gusto por la historia, tuvo lugar en el año 2000 cuando visité el Callejón de Huaylas, en Áncash. Durante ese viaje supe sobre la avalancha de Yungay de 1970 y el aluvión de Huaraz de 1941, terribles desastres que costaron muchas vidas y que evidenciaron el rol del cambio climático y sus consecuencias para la población peruana.

Hasta ese entonces, el retroceso glaciar y su relación con la historia no habían sido investigados en profundidad, específicamente como caso de estudio sobre la adaptación al cambio climático. Y me pregunté si los desastres de Áncash tenían algo que ver con el cambio climático y cómo afectaron la historia de la zona, y si podríamos aprender algo de esa larga historia. Con mi experiencia en glaciología e historia medioambiental, el proyecto fue natural para mí y significativo para la humanidad.



Mark Carey, autor de *Glaciares, cambio climático y desastres naturales. Ciencia y sociedad en el Perú*.

¿Cuánto tiempo duró tu trabajo de campo en los Andes y en qué lugares específicamente?

Trabajé en el Perú durante un año y medio, en Lima, Huaraz y el Callejón de Huaylas. Además visite la Universidad de Cornell en Nueva York y la Universidad de Innsbruck en Austria

para consultar archivos relevantes en esas dos universidades.

¿Por qué decimos que los glaciares son íconos del cambio climático y el cambio ambiental global?

En mi libro *Glaciares, cambio climático y desastres naturales. Ciencia y so-*



Mark Carey durante uno de sus viajes de investigación al Callejón de Huaylas en Huaraz.

ciudad en el Perú, cuento una historia amplia de desastres naturales relacionados con el cambio climático y el retroceso glaciar. Lamentablemente, la historia sigue porque se han instalado sifones en la laguna Palcacocha, que se desbordó en 1941 y generó el gran aluvión de Huaraz. En este momento, la laguna tiene más agua que en dicha época y la población huaracina ha aumentado diez veces. Se dice que no hay peligro en Palcacocha, pero en mi libro demuestro que en 1962 dijeron lo mismo cuando los especialistas advirtieron de la inestabilidad del glaciar del nevado Huascarán y de los riesgos de una posible avalancha en Yungay.

Luego, en 2010 hubo un aluvión de la laguna 513, localizada encima de la ciudad de Carhuaz. Los ingenieros habían desagüado y controlado la laguna en 1993 y pensaron que la era segura, pero

las condiciones cambian rápidamente y la estabilidad de la Cordillera Blanca no está garantizada. No quiero comparar Palcacocha con estas dos situaciones, dada la complejidad de los distintos procesos, pero los ejemplos del pasado demuestran la probabilidad de aluviones y avalanchas en el futuro, especialmente en la época del cambio climático. Es probable que ocurran otros desastres glaciares en Áncash y decir que la región no es una prioridad nacional porque la población es pobre es decir que la vida de una persona pobre no vale tanto como la vida de un rico, lo que es una afirmación que rechazo totalmente. Además, el río Santa es uno de los más importantes en el Perú, principalmente por los glaciares de la Cordillera Blanca que aumentan el caudal del río, sobre todo durante la época de estiaje, cuando los otros ríos que

llegan al océano Pacífico no tienen agua. Este río sostiene la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato, la séptima más grande del país, así como los proyectos de irrigación de Chavimochic y Chincas, los que emplean a más de sesenta mil personas. El río Santa da agua potable para aproximadamente setecientos mil habitantes de la ciudad de Trujillo en La Libertad. Sin el agua del río Santa, el Perú exportaría mucho menos espárragos y otras cosechas del proyecto Chavimochic que gana cientos de millones de dólares cada año y que alimenta poblaciones desde Lima a Alemania. Decir que los glaciares de la Cordillera Blanca no son importantes en el ámbito nacional es confirmar la impresión de Alexander von Humboldt, quien hace 200 años dijo que «Lima está más cerca de Londres que del Perú». Los glaciares de Áncash son im-

portantísimos para todo el país, y la sierra y la costa no están tan separadas como muchos piensan.

¿Qué lecciones nos dejan los desastres por deshielo de los glaciares?

Sabemos muy bien que más ciencia y más conocimiento no cambian a la población, por eso seguimos emitiendo dióxido de carbono cuando ya sabemos muy bien los efectos que tiene sobre la atmósfera y el cambio climático. El conocimiento de los glaciares y de su tasa de derretimiento no va a cambiar las costumbres de la población ni las leyes del Estado o las acciones de las empresas que contaminan la atmósfera. Por eso, avanzar sobre el cambio climático requiere estudiar humanidades. Necesitamos entender tanto la ciencia de los glaciares como la psicología, la antropología, la sociología, la literatura, la poesía, los medios de comunicación y, por supuesto, la historia.

En su consideración, ¿los peruanos andinos nos hemos adaptamos al cambio climático o no logramos hacerlo todavía?

Ingenieros del gobierno peruano han trabajado para evitar desastres glaciares desde 1951, cuando se fundó la Comisión de Control de Lagunas de la Cordillera Blanca, lo que hoy en día es la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos. Sus esfuerzos permitieron salvar Huaraz en 1959 y 2003, Huallanca y otros pueblos del Callejón de Huaylas en 1970, Carhuaz en 1991 y nuevamente en 2010, entre otros lugares. Resulta paradójico que, a pesar de los pocos recursos entregados a la Unidad de Glaciología, actualmente el Perú sea un líder internacional en investigaciones glaciares tropicales y en sistemas de ingeniería en lagunas glaciares para evitar aluviones. Esta unidad ha realizado proyectos de seguridad en treinta y cinco la-

gunas glaciares peligrosas, lo que le ha generado una capacidad que perfectamente le permitiría asesorar en estas materias a ingenieros de países montañosos como Nepal, la India, Rusia, Canadá, Italia, entre otros.

Sobre tu pregunta específica, podría decir que, si bien es cierto que los peruanos se han adaptado al cambio climático en ciertas formas, también lo es que la referida unidad y, más reciente, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), han llevado a cabo proyectos importantes para reducir el riesgo de desastres glaciares. Ahora, el INAIGEM no tiene los recursos suficientes para dirigir programas de adaptación a largo plazo en las comunidades de la cuenca del río Santa que tomen en cuenta los riesgos relacionados con glaciares, aluviones y aludes, los cuales deberían desarrollarse en el futuro.

Los especialistas peruanos dedicados a los glaciares han realizado varios proyectos para adaptarlos al cambio climático durante los últimos setenta y cinco años. Para mí, se enfrentan a condiciones precarias, tanto por la inestabilidad del medio ambiente o la posibilidad de ser enterrado por un aluvión, como por la inestable situación política y las condiciones económicas en que han trabajado. Han puesto en marcha proyectos de ingeniería en la Cordillera Blanca que requieren drenar lagunas glaciares a cinco mil metros sobre el nivel del mar, usando herramientas manuales, sin caminos para trasladar su equipo, viviendo a esa altura por semanas o meses y trabajando en el exterior cuando nieva o no existe calefacción. Una vez los especialistas pasaron la noche cerca de la cima del nevado Huascarán sin su equipo de acampar durante una tormenta grave y

en otra ocasión tuvieron que hacer su trabajo en lagunas remotas durante la época de terrorismo en los años ochenta.

Sin embargo, se enfrentan a los obstáculos que imponen la poca disposición política y la escasez de recursos. No les falta tecnología, conocimiento o experiencia con proyectos de adaptación, sino, los recursos suficientes para dirigir programas de adaptación a largo plazo en las comunidades de la cuenca del río Santa. Es necesario que tales programas se desarrollen en el futuro y consideren los riesgos relacionados con glaciares, aluviones y aludes.

¿Es reversible el deshielo de los glaciares desde el Perú o qué políticas públicas deberíamos empezar a promover para adaptarnos?

Los habitantes de zonas de riesgo se enfrentan a muchos otros peligros, no solamente a los de aluviones y avalanchas, y clasifican y responden a varios riesgos dadas sus condiciones socioeconómicas, sus perspectivas y valores, el contexto político y las relaciones sociales. Después de la avalancha de Yungay, por ejemplo, los sobrevivientes querían recuperar sus tierras y restablecer sus vidas anteriores en el mismo lugar, cerca de sus familias y comunidades enterradas en la ciudad destruida.

La persistencia de asentamientos humanos en zonas de riesgo nos debería hacer comprender que la adaptación no debe ser abordada solamente desde la tecnología o los proyectos de ingeniería. Necesitamos también investigaciones de la sociedad, necesitamos sociólogos, antropólogos, psicólogos e historiadores que investiguen el cambio climático, no solo científicos e ingenieros que reciben la mayor parte de la financiación y la atención en los medios de comunicación y el gobierno.

2



CIENCIA Y SOCIEDAD

Cambio climático en tiempos de la COVID-19 ¿Inevitable calamidad o ineludible oportunidad para el bienestar planetario?

Silvana Vargas y Sonia Delgado

La propagación del COVID-19 ha puesto en evidencia la persistencia de enormes desigualdades y, a la par, la necesidad de apostar, decididamente, por el bienestar del planeta en un contexto de cambio climático. Así, en la era del Antropoceno, las crisis sanitarias y climáticas tienen una conexión intrínseca con la acción humana. Muestra de ello es que la propagación del COVID-19 está impactando directamente las oportunidades de bienestar de las personas. Ello es observable en cómo estas se vinculan, desplazan, consumen y, en particular, en el modo en el que se relacionan con el medio ambiente. En suma, el COVID-19 ha evidenciado el impacto humano en el sistema Tierra y, en consecuencia, afecta directamente la dinámica del cambio climático antropogénico.

A fin de dar respuesta a estos retos, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo está discutiendo la narrativa del Informe de Desarrollo Humano 2020 desde una perspectiva integral (UNDP, 2020). Como parte de este esfuerzo, se ha enfatizado la importancia de contextualizarlo en el marco de las intensas dinámicas de cambio del Antropoceno y la comprensión acerca de las transformaciones en la expansión de libertades humanas en armonía con el planeta. A fin de

lograrlo, se ha propuesto un nuevo paradigma centrado en la noción de bienestar planetario (Krishnakumar, 2020).

En síntesis, este parte por reconocer el aporte que, durante treinta años, ha tenido el Índice del Desarrollo Humano (IDH) en tanto instrumento de medición del bienestar. No obstante, dado los retos asociados al entrecruzamiento de las crisis del cambio climático y la propagación del COVID-19, las limitaciones del IDH resultan hoy evidentes. Frente a ello, el bienestar planetario se entiende como la interdependencia entre el bienestar humano y el bienestar natural, cada uno con sus múltiples dimensiones y retos, centrando la apuesta en salvaguardar el planeta (ver Figura N°1). En este contexto, además, vale destacar la importancia de las relaciones de poder y la gobernanza en tanto estas facilitan o inhiben la capacidad de los actores para tomar decisiones y desplegar su agencia a favor del bien común.

De otro lado, la gobernanza y el poder se asocian con la necesidad de visitar compromisos globales vigentes como la Agenda 2030. En ese sentido, la propagación del COVID-19 no solo ha evidenciado la presión extrema que la humanidad impone a la naturaleza y el planeta, sino que, además, ha puesto a los

países en alerta máxima respecto a su capacidad de cumplir oportunamente con las metas asociadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Ello, en buena cuenta, exacerbaría las desigualdades en un contexto de acelerado cambio climático y pérdida de la biodiversidad.

En este marco surge una paradoja. Por un lado, la contribución de la naturaleza al bienestar de las personas es la base de los ODS. Proteger, cuidar, restaurar y gestionar sosteniblemente la naturaleza para las generaciones actuales y futuras puede contribuir a alcanzar, especialmente, aquellos objetivos relacionados con los medios de vida, el clima, la salud, la igualdad, la economía y las infraestructuras. No obstante, por otro lado, en sintonía con la discusión sobre el bienestar planetario, las decisiones de las personas afectan su entorno natural. Ello en la medida que existe un componente humano inherente a los cambios, por ejemplo, de los ciclos del agua o carbono. Así, los cambios sobre el funcionamiento de la biosfera generados por los seres humanos afectan, a su vez, su propia humanidad dando cuenta, una vez más, de la interdependencia que existe entre ambos.

Adicionalmente, las crisis derivadas del cambio climático y la pandemia involucran una dimensión

Límites planetarios



Figura N°1. Bienestar planetario en diálogo con la gobernanza y el poder

Fuente: Traducción propia y adaptación de Krishnakumar (2020)

territorial. En este sentido, sus impactos afectan diferenciadamente a poblaciones, ecosistemas y territorios poniendo en evidencia sus vulnerabilidades y exacerbando desigualdades preexistentes. En una sociedad desigual encontramos zonas de sacrificio¹ de alta contaminación frente a zonas que gozan de espacios saludables, o, como la pandemia ha evidenciado, persistentes brechas digitales, económicas y sociales. A la par, los desafíos estructurales han acentuado la magnitud del entrecruzamiento de estas crisis. Así, su impacto más severo está concentrado en hogares y territorios privados de acceso a una educación de calidad, empleo estable o conexión a Internet (Winkler, 2020).

Finalmente, en un contexto en el que la alta probabilidad de ocurrencia de desastres y pandemias confluye en el cambio global, persiste la pregunta sobre si el cambio climático y el COVID-19 constituyen una calamidad inevitable o una oportunidad ineludible para el bienestar planetario. Si bien son tiempos de certezas esquivas aún es posible activar estrategias de colaboración

que involucren a múltiples actores y que incluyan:

Generar conocimiento sobre los nuevos sentidos de la noción de sostenibilidad que prioricen el cierre de brechas en las oportunidades de acceso a la calidad ambiental y, a la vez, a la calidad de vida de modo que la condición social o económica preexistente no determine o inhiba dichas oportunidades.

Territorializar la lógica de asignación de recursos orientándola al bienestar colectivo en equilibrio con el bienestar individual, considerando que el suministrador de recursos

es el medio ambiente, cuyos servicios de soporte son limitados, y activando oportunidades para promover una economía circular inclusiva.

Promover estilos de vida más armónicos que, atendiendo las necesidades del presente sin comprometer las capacidades del planeta a futuro, se enfoquen en un desarrollo cada vez más sostenible que parta del reconocimiento positivo de la diversidad, la capacidad de agencia para incidir en el medio y el compromiso ético desde una comunidad plural que aporte decididamente al bienestar planetario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Krishnakumar, J. (2020). Panelist presentation. In: Human Development in the Anthropocene: Transformations to Expand Human Freedoms in Balance with the Planet. Session Notes of the Virtual Regional Consultation for Europe and CIS on the 2020 Human Development Report. New York: UNDP.
- United Nations Development Programme – UNDP (2020). COVID-19 UNDP's Integrated Response. New York: UNDP.
- Winkler, H. (2020). Crisis por el coronavirus aumentó las desigualdades en el Perú. [Comunicado de prensa]. Lima: Banco Mundial.

¹ Lugares que concentran gran cantidad de industrias contaminantes que, usualmente, afectan a las comunidades más pobres o vulnerables.

¿Cómo podemos cambiar nuestros hábitos de consumo?

Siete estrategias que te ayudarán a lograrlo

Miguel Figueroa

«Aunque muchas personas son conscientes del cambio climático, les resulta difícil reemplazar muchos de sus hábitos para disminuir su impacto. ¿Por qué? ¿Por falta de voluntad? ¿Por falta de compromiso? ¿Acaso existe algún factor adicional que lo impide?».



«Si queremos prevenir una catástrofe debemos cambiar hacia un consumo más responsable»

Si bien muchas personas entienden la relación entre el consumo y la huella de carbono, se emocionan cuando ven un documental de un oso polar buscando hielos donde descansar y se preocupan seriamente ante las futuras desapariciones de poblaciones humanas por inundaciones, nada de esto logra que cambien definitivamente sus hábitos. Como toda emoción, su efecto durará solo unos días y la rutina de consumo continuará. Se puede tener la mejor de las voluntades para hacer cambios, pero eso no bastará, ya que la voluntad es una de

las fuerzas más inconsistentes del ser humano. No dudo que exista gente muy especial con un compromiso inquebrantable, pero en la mayoría de casos, la voluntad oscila entre etapas fuertes y etapas frágiles, y son para estas últimas para las que debemos estar preparados. A continuación propongo una serie de factores a los que llamo «catalizadores conductuales», que estimularán algunos comportamientos e inhibirán otros.

La consciencia no basta pero...

Es la mejor forma para generar la motivación inicial, pues es lo que va

a sostener el interés para las primeras acciones. Ayudemos con nuestras campañas de concientización a imaginar qué pasaría si el cambio en nuestros hábitos de consumo no sucede; es decir, debemos mostrar la urgencia de la transformación o la catástrofe de los años venideros si es que no hacemos algo, sobre la base, claro está, de lo que predicen las investigaciones científicas y citando adecuadamente las fuentes. Una exacerbación de los efectos del cambio climático podría generar respuestas contrarias en el público, al ridiculizar y tildar de alarmistas a

nuestros intentos de concientización; pero, por otro lado, una mirada tibia, exageradamente precavida, podría no generar nada y eso es tan peligroso como lo primero.

Muchas películas y documentales ambientalistas han buscado proyectar cómo sería el mundo si no hacemos cambios en nuestro consumo y, efectivamente, salimos consternados luego de verlos pues nos permiten visualizar las futuras realidades. Esto también se puede lograr si se aplican estrategias de *storytelling*, se exponen casos ya existentes de crisis socioambientales actuales, se hacen visitas guiadas a lugares donde se siente el impacto ambiental, se utiliza la realidad 3D para experimentar el futuro, se efectúan simulacros nacionales que le muestren a la población cómo se vivirá en veinte años, etcétera.

En general, la estrategia consiste en ayudar a las personas a visualizar lo que vendrá. Entonces, mientras más vívida sea la experiencia, nuestros cerebros percibirán esa posibilidad no como algo abstracto que solo afectará a ciertas especies, sino como algo que repercutirá profundamente en todos si no hacemos algo al respecto.

¿Saben qué deben hacer?

Muchas veces me encuentro con carteles con frases como «Cuida el ambiente» o «La naturaleza es vida, protégela» que, a pesar de tener la mejor de las intenciones, no tienen mayor impacto en las personas. La respuesta es sencilla: estos mensajes no nos dicen qué debemos hacer. Aunque para algunos cuidar el ambiente signifique reducir el despilfarrero del agua, no consumir plásticos o reutilizar las cosas, para otros esto no es tan claro. Existe un sesgo cognitivo al que llamamos «maldición del conocimiento» que nos lleva a creer que todos saben lo que nosotros sabemos y, en consecuencia, ya no lo

decimos, no lo detallamos y dejamos todo en una ambigüedad disfuncional. Si nuestros consejos se quedan en enunciados, sin un comportamiento concreto, la probabilidad de fracaso de la campaña es muy alta.

Escoge tu manada

Somos animales gregarios, hacemos lo que el grupo hace pues eso nos da seguridad. Si vamos a comprar una refrigeradora y estamos en duda, tenderemos a comprar «la más vendida el mes pasado»; si queremos salir a cenar y no nos decidimos, iremos al restaurante más lleno de todos porque eso nos hará pensar que es el mejor.

Por eso, si queremos estimular un comportamiento, tenemos que mostrar que el consumo responsable y todos los cambios de hábitos asociados al tema ambiental ya se están haciendo. Si una persona ya ha sido concientizada en el tema pero luego va a su barrio o a su casa y nadie hace nada al respecto, la probabilidad de que regrese a sus hábitos tradicionales será muy alta; sin embargo, si conoce o incluso pertenece a un grupo ambientalista que además está en contacto con grupos de otras partes que ya han empezado a generar cambios sociales, el estímulo de contagio será más alto.

Si en tus manos está la gestión que debe estimular los cambios conductuales, muestra que hay muchas más personas haciendo lo mismo, genera encuentros virtuales, intercambios, etcétera. Con ello lograrás que la motivación se mantenga en el tiempo y, en consecuencia, las conductas esperadas se realizarán.

Vale competir por un ambiente mejor

Pocas herramientas son más motivadoras que una competencia; todos queremos ganar, es como una marca

en nuestro ADN. ¿Y si competimos por una causa ambiental? «Colegio que consume menos plástico en un mes», «Facultad que compra menos hojas de papel» o «Área de la empresa que digitaliza más rápido sus procesos» son solo algunas ideas de los concursos que podríamos hacer.

Evidentemente, las personas estarán enfocadas en ganar el premio, por ello debe llevarse a cabo un plan de aprovechamiento de esos estados emocionales para concientizar sobre el tema, explicar las causas y las consecuencias de un comportamiento y sobre cómo, con esa simple acción, están contribuyendo a la mitigación de los problemas ambientales. Cuando el concurso termine, los participantes no solo replicarán el comportamiento esperado, sino que también sabrán por qué lo hacen.

Haz fácil lo deseado y difícil lo indeseado

Somos una sociedad en la que la adicción a la inmediatez nos ha vuelto mezquinos con el tiempo de espera y la entrega de esfuerzo. Educados por años en la cultura del «a un solo clic», hoy exigimos que las personas dejen el cómodo facilismo en el que viven. Por ejemplo, les pedimos que dejen de recibir las bolsas de plástico que les facilitaban llevar sus productos hasta sus carros y, a cambio, que lleven sus propias bolsas desde sus casas, las pongan en un bolsillo y luego las saquen para ir llenándolas con sus nuevas compras. Eso no es tan simple como parece. Muchos estarán pensando «Pero si yo ya lo hago». Pero, créeme, si tú estás leyendo este artículo y esta revista, ten por seguro que tu nivel de compromiso con el ambiente es muy superior al del promedio de personas; estás fuera de la campana de normalidad de Gauss. Otros estarán pensando «Pero si eso de ir con nuestras bolsas lo hacíamos antes». Y es cierto. Antes también



«Somos animales gregarios, hacemos lo que el grupo pues eso nos da seguridad»

redactábamos en una máquina de escribir y a nadie se le ocurriría volver a eso. Lo que quiero decir es que tenemos que ser menos ingenuos con nuestras campañas de concientización y cambio conductual. En suma, una recomendación no basta para cambiar un hábito. Sabemos que debemos comer sano, pero no todos lo hacen; sabemos que debemos hacer deporte, pero no todos lo hacen; mucha gente es consciente de qué es lo bueno para el planeta, pero no por eso lo van a hacer. Por tanto, necesitamos introducir otros factores a esta ecuación conductual; por ejemplo, en el caso de la entrega de bolsas de plástico en los supermercados, es adecuado que una bolsa cueste más pero esto es insuficiente. Si queremos respuestas distintas, debemos hacernos preguntas distintas: ¿qué podemos hacer para que usar bolsas plásticas nuevas nos avergüence? ¿De qué manera podemos hacer extraordinariamente fácil reusar las bolsas antiguas? Si intentamos responder creativamente a estas ideas podríamos encontrar más soluciones que las usualmente esperadas.

Si vamos a apelar a una conducta basada solo en la conciencia, es muy probable que fracasemos.

Recordemos que la conducta consciente es inversamente proporcional a la fecha en la que reflexionamos sobre el tema: mientras más días pasen, más lejos estaremos del comportamiento deseado y más cerca de nuestro comportamiento habitual.

Influencers ambientales

Nuestro cerebro necesita tomar decisiones permanentemente. Cuando tenemos conocimientos e información, nuestro análisis será suficiente, pero si estamos antes temas que no conocemos en profundidad, requeriremos ayuda externa, de especialistas y de conocedores que nos digan qué es lo más conveniente. Y es ahí cuando aparecen los líderes de opinión, personas que se han ganado la autoridad y la credibilidad y nos han facilitado la toma de decisiones. En la actualidad, en el ámbito de las redes sociales, se les llama influencers.

Es muy posible que no exista una gran cantidad de influencers ambientales, pero sí podemos encontrar algunos de otros ámbitos que se han ganado el reconocimiento de la gente y cuya opinión y recomendaciones podrían ser aceptadas por sus seguidores.

Premios y castigos

Muchas veces, cuando queremos que las personas hagan algo, lo primero que se nos ocurre es premiarlos si lo hacen bien y castigarlos si lo hacen mal. El problema del premio es el condicionamiento que se genera, pues se instaura la costumbre de esperar una recompensa; si no la hay, no se hará. Lo mismo sucede con el castigo.

Sin embargo, existen otras formas de premiar que no involucran partidas económicas o vigilancias exhaustivas, como el reconocimiento social a lo realizado correctamente o el rechazo por un comportamiento inadecuado.

En resumen, a través de la breve exposición de estos factores, he querido mostrar que el cambio de hábitos no es un proceso fácil, pues hemos evolucionado para hacer lo que nos supone poco esfuerzo, lo menos costoso energéticamente, lo que nos quita dolor o nos da placer. Por tanto, si deseamos lograr un consumo más responsable, es necesario desplegar una serie de «catalizadores conductuales», estímulos, y fuentes de influencia que nos motiven a adoptar una nueva conducta. No será sencillo pero vale la pena el esfuerzo ya que no tenemos otra opción: es urgente un cambio.

¿Podemos prevenir los desastres? Monitoreo del fenómeno El Niño y su impacto socioeconómico en el Perú

Alejandra Martínez

«Si bien los sistemas operacionales para el monitoreo de El Niño han progresado en las últimas décadas, los eventos de 2015-2016 y de 2017 muestran que aún existen fuertes desafíos en su investigación y en su predicción operativa».

El fenómeno El Niño se caracteriza por un calentamiento inusual del océano Pacífico tropical, cuyas repercusiones pueden afectar el clima en gran parte del mundo. Históricamente, en el Perú, este fenómeno se ha manifestado mediante el calentamiento del aire e intensas lluvias e inundaciones en nuestra costa. La investigación científica sobre El Niño ha avanzado mucho en las últimas décadas, lo cual ha permitido que agencias mundiales lo monitoreen y pronostiquen con varios meses de anticipación.

En el Perú, la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño

(ENFEN)¹ es el ente científico y técnico multisectorial que tiene la función de monitorear, vigilar, analizar y alertar sobre las anomalías del océano y la atmósfera que permitan diseñar medidas de prevención oportunas para reducir los impactos del fenómeno. Actualmente² está conformada por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) —que la preside en forma permanente—, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), la Autoridad Nacional del

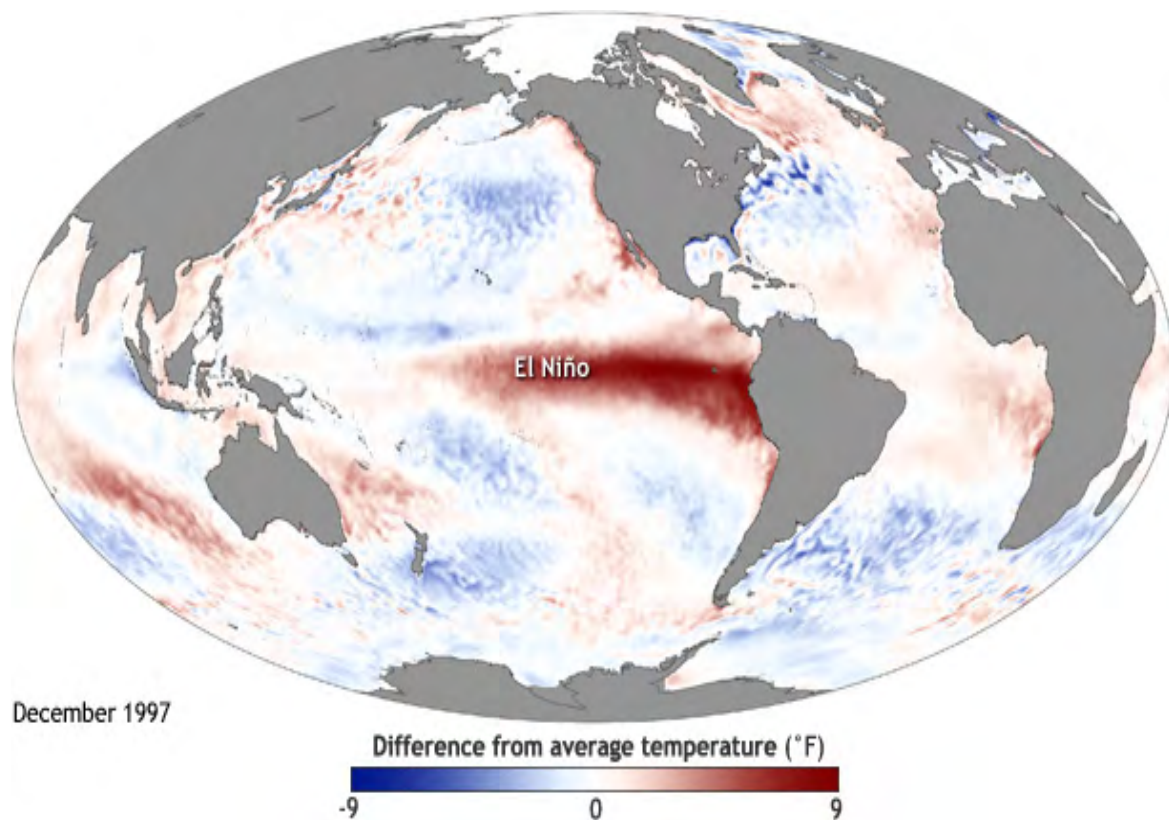
Agua (ANA), el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Además, la coordinación técnica del ENFEN se rota anualmente³ entre sus miembros. El ENFEN se reúne una vez al mes⁴ y continuamente emite comunicados oficiales e informes técnicos en los que evalúa la situación del fenómeno, sobre la base de información de variables oceanográficas, meteorológicas, hidrológicas y biológico-pesqueras, y modelos numéricos desarrollados por organismos nacionales e internacionales.

¹ El ENFEN se constituyó como Comité Multisectorial en 1977, mediante Resolución Ministerial 120-77-PM/ONAJ. El Decreto Supremo 007-2017-PRODUCE adecuó el ENFEN a la ley 29158, Ley orgánica del Poder Ejecutivo, y cambió su denominación de comité a comisión. El reglamento interno del ENFEN se aprobó mediante Resolución Ministerial 367-2017-PRODUCE.

² El ENFEN estuvo originalmente conformado por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina (HIDRONAV) y la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN). En 1997, mediante Resolución Suprema 053-97-PE, se recompone y se incluye como miembro al Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y a la actualización de la nueva denominación de ONERN como Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). El Decreto Supremo 007-2017-PRODUCE incorporó al Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) y a la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

³ Para el periodo 2015-2016, la coordinación técnica estuvo a cargo del IGP y en el periodo 2016-2017, del IMARPE.

⁴ Quincenal o semanalmente, en caso de situación de alerta de El Niño o La Niña costeros.



Fuente: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/el-niño-and-la-niña-frequently-asked-questions>

Si bien el ENFEN se conformó hace cuarenta años, recién en 2012 se aprobó una definición operativa de El Niño y La Niña —la versión fría de El Niño—, para lo cual se estableció operacionalmente el Índice Costero El Niño (ICEN) como la «media corrida de tres meses de las anomalías mensuales de la temperatura superficial del mar (TSM) frente a la costa norte del Perú, específicamente en la región denominada Niño 1+2, y estableció umbrales que permitían determinar la presencia de estas condiciones»⁵.

Por otro lado, la gran mayoría de agencias internacionales, como la National Oceanic

and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos, definen El Niño como parte del fenómeno de gran escala conocido como El Niño-Oscilación Sur (ENOS). Para ello se utilizan índices como la temperatura en el Pacífico central en la región Niño 3.4 (por ejemplo, el Oceanic Niño Index ONI), el Multivariate El Niño Index (MEI) o el Índice de Oscilación Sur (IOS) (Takahashi, Mosquera & Reupo, 2014). Esto se debe a que dichos índices guardan mayor relación con los impactos en sus países correspondientes, mientras que la temperatura en la costa de Sudamérica es relevante solo para esta región.

Esto claramente puede crear confusión sobre qué es El Niño. Más aún, el calentamiento del Pacífico central también se manifiesta con la reducción de lluvias en los Andes y en la Amazonía peruana, por lo que el ENFEN debe considerar los dos tipos de índices para el monitoreo de El Niño, tanto en la costa (Niño 1+2) y en el Pacífico central. Para reducir la ambigüedad, el ENFEN introdujo los conceptos diferenciados de «El Niño costero» (calentamiento en la región Niño 1+2) y «El Niño en el Pacífico central» (calentamiento en la región 3.4), sin dejar de lado la existencia de la versión «fría» de ambos eventos (La Niña costera, y La Niña en el

⁵ Las anomalías de TSM se calculan usando la climatología mensual calculada para el periodo base 1981-2010. La fuente de datos para este índice son las TSM absolutas del producto ERSST v3b de la NOAA (EE.UU.) para la región Niño 1+2: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.ascii>. Los estados del sistema de alerta son: no activo, vigilancia de El Niño (La Niña) costero(a), y alerta de El Niño (La Niña) costero(a).

Pacífico central) ni la posibilidad de combinaciones entre ellos (Martínez y Takahashi)⁶.

Para poder hacer una evaluación inicial sobre la utilidad de esta clasificación hecha en 2012, tanto sobre la opinión pública como sobre las acciones de prevención realizadas a escala nacional, se analizan brevemente los últimos dos eventos: El Niño 2015-2016, y El Niño costero 2017.

El Niño 2015-2016

El evento El Niño de 2015-2016 fue uno de los más cálidos registrados en el Pacífico ecuatorial del que se tenga noticia, comparable con aquellos eventos de 1982-1983 y 1997-1998; posiblemente haya sido el mejor pronosticado en la historia. Desde mediados de 2015, los grandes centros de pronóstico de todo el mundo habían dado la voz de alarma ante la potencialidad de este «mega-Niño». La cobertura de medios fue enorme, pues existía genuina preocupación por los posibles impactos globales.

Sin embargo, este evento tuvo sus particularidades. L'Heureux y otros (2017)⁷ han descrito detalladamente la evolución del evento y han indicado que las anomalías de temperatura superficial y subsuperficial del mar en el Pacífico occidental-central fueron muy cálidas,

hasta alcanzar un pico durante noviembre 2015-enero 2016, con una disminución paulatina y su posterior desaparición en mayo 2016. Por su parte, las anomalías del Pacífico oriental fueron cálidas, pero comparativamente menores que esos eventos. La consecuencia de esto para el Perú fue que, si bien el evento produjo las condiciones secas esperadas en los Andes y en la Amazonía, afortunadamente no devino en las temidas lluvias torrenciales en la costa norte que sí observaron en los eventos de 1982-1983 y 1997-1998.

Tal como señalan L'Heureux et al. (2017), la comunicación sobre los pronósticos y el desarrollo del evento se dio a niveles nunca antes vistos, debido —principalmente— a las redes sociales, que, a través de videos, infografías y blogs, se mantuvieron continuamente activas. Así, hubo una desconexión en las temporalidades de la información proporcionada. Por un lado, el fenómeno El Niño es estacional y de lento desarrollo y operacionalmente es evaluado rutinariamente a intervalos mensuales —y en casos excepcionales, quincenales—, mientras que las redes sociales requieren información fresca y actualizada en forma instantánea. Este desfase provocó que casi cualquier fenómeno atmos-

férico fuera acreditado a El Niño —estuviera probadamente relacionado con este o no—.

En el Perú, el ENFEN, a través de sus comunicados oficiales, informó tanto del estado⁸ de El Niño costero como sobre los pronósticos y desarrollo del evento en el Pacífico central. En junio de 2015 se instaló la Comisión Multisectorial de Naturaleza Temporal ante Lluvias Intensas, cuya presidencia estuvo a cargo de la Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres, de la Presidencia del Consejo de Ministros⁹. Debido a la preocupación por la potencial fuerza devastadora del evento, en setiembre de 2015 se creó el Consejo Nacional de Gestión del Riesgo del Fenómeno de El Niño, conformado por ocho sectores y presidido por el Ministerio de Agricultura¹⁰. Entre sus funciones estuvieron realizar, principalmente, obras de prevención como reacondicionamiento, reforzamiento y limpieza de infraestructura agrícola, protección de infraestructuras y mobiliarios, orientación al ciudadano, preparación de módulos temporales de vivienda, entre otras. En octubre se aprobó el Plan de Acciones Multisectoriales ante Probable Ocurrencia del Fenómeno El Niño y Temporada de Lluvias 2015-2016¹¹. A través del programa presupuestal N°. 068 «Reducción de

⁶ Por ejemplo, el fenómeno El Niño 1997-1998, de gran recordación en el país por sus impactos catastróficos, fue tanto El Niño costero como El Niño en el Pacífico central (Martínez & Takahashi, 2017).

⁷ Los autores de este trabajo son investigadores asociados a tres instituciones nacionales de pronóstico de El Niño: la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en Estados Unidos, el Bureau of Meteorology (BoM) en Australia y el ENFEN en el Perú.

⁸ Estado de vigilancia de El Niño costero durante marzo y abril de 2015, y estado de alerta de El Niño costero desde mayo de 2015 hasta la segunda quincena de abril de 2016.

⁹ Resolución Suprema 160-2015-PCM.

¹⁰ Decreto de Urgencia 004-2015.

¹¹ Plan de acciones multisectoriales ante probable ocurrencia del fenómeno El Niño y temporada de lluvias 2015-2016: http://www.redhum.org/documento_detalle/17579

la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres», se invirtieron S/2414 millones durante 2015 y 2016, lo cual significó un histórico de gasto en este tipo de obras. Además, en el Congreso se creó la Comisión Especial denominada «Acciones del Congreso de la República para la Prevención y Colaboración frente al Fenómeno El Niño 2015-2016», encargada de la supervisión, fiscalización, seguimiento y control de las acciones de prevención y mitigación.

La ejecución de los trabajos de limpieza de cauces de ríos y drenes, la limpieza de quebradas y el reforzamiento de zonas vulnerables, entre otras acciones, fueron un desafío para las instituciones locales, regionales y nacionales, y expusieron las deficiencias y fortalezas existentes en las capacidades de coordinación interinstitucional e intrasectorial, así como en la capacidad de ejecución financiera y física, en la capacidad de liderazgo, entre otras, para efectuar obras de esa envergadura. Por otro lado, si bien a inicios de setiembre de 2015 el ENFEN estimó un 55% de probabilidades de que en el verano El Niño podría ser tan intenso como en los años 1982-1983 y 1997-1998 en la costa¹³, este cálculo se redujo progresivamente hasta 20% a inicios de enero de 2015¹⁴. Al ver que estas condiciones no se materializaban, el Ministerio de Economía y Finanzas pudo redireccionar los recursos. Sin embargo, el impacto esperado asociado a sequías en la re-

gión andina sí ocurrió y se efectuaron acciones de mitigación.

El Niño costero 2017

Durante el segundo semestre de 2016 se desarrollaron condiciones frías de La Niña en el Pacífico central, y para inicios de 2017 estas ya habían cesado; no obstante, sus efectos persistieron en la atmósfera unos pocos meses más. A inicios de diciembre 2016, el ENFEN previó 66% de probabilidades de que en la costa se tendrían condiciones neutrales durante el verano y solo 8% de El Niño¹⁵. Sin embargo, a mediados de enero de 2017 se inició un abrupto calentamiento del mar frente a la costa y sobre la base del análisis de la evolución de las condiciones oceánico-atmosféricas en el Pacífico oriental, el 24 de enero el ENFEN inició el estado de «Vigilancia de El Niño costero»¹⁶. El 2 de febrero, este estado pasó a «Alerta de El Niño costero»¹⁷, puesto que las condiciones favorecían un aumento en la frecuencia de lluvias de magnitud muy fuerte, sobre todo en la costa norte —este estado se mantuvo hasta mayo—.

Este evento sorprendió a todos. No fue pronosticado ni reconocido por las grandes agencias internacionales debido a que el calentamiento estuvo limitado a la costa sudamericana, lo cual llevó a que se convirtiera en el arquetipo de lo que en la cultura popular se conoce ahora como «El Niño costero». El ENFEN solo pudo dar aviso de su presencia en enero, cuando las lluvias in-

usualmente fuertes se empezaban a registrar en Piura¹⁸. Las precipitaciones se intensificaron con gran fuerza durante febrero en toda la costa norte y parte de la costa central y sur, y afectaron campos de cultivo, colapsaron puentes y caminos, inundaron grandes zonas urbanas, etcétera. El pico de lluvias se dio durante marzo, para empezar a disminuir progresivamente en abril y extinguirse en mayo (Martínez y Morón).

Sin embargo, este no fue el primer evento El Niño costero muy fuerte registrado. Se estima que el evento El Niño de 1891 fue similar y de hecho fue el que llevó a que se publicaran los primeros reportes científicos que daban cuenta de su desarrollo. En 1891, el doctor Luis Carranza publicó, en la Sociedad Geográfica de Lima, un artículo sobre la intensidad del fenómeno de ese año, en el cual indicaba que, además de aguas cálidas, transportó «restos de grandes lagartos de Tumbes, así como troncos de árboles, hasta las playas de Pacasmayo» en La Libertad; documentó, además, la ocurrencia de lluvias que provocaron grandes inundaciones en abril y mayo. En 1892, el capitán de navío Camilo Carrillo expuso en el mismo boletín que «los marinos paiteños que navegan frecuentemente cerca de la costa y en embarcaciones pequeñas, ya al norte o al sur de Paita, conocen esta corriente y la denominan corriente del Niño, sin duda porque ella se hace más visible y

¹³ Comunicado Oficial ENFEN N°15-2015.

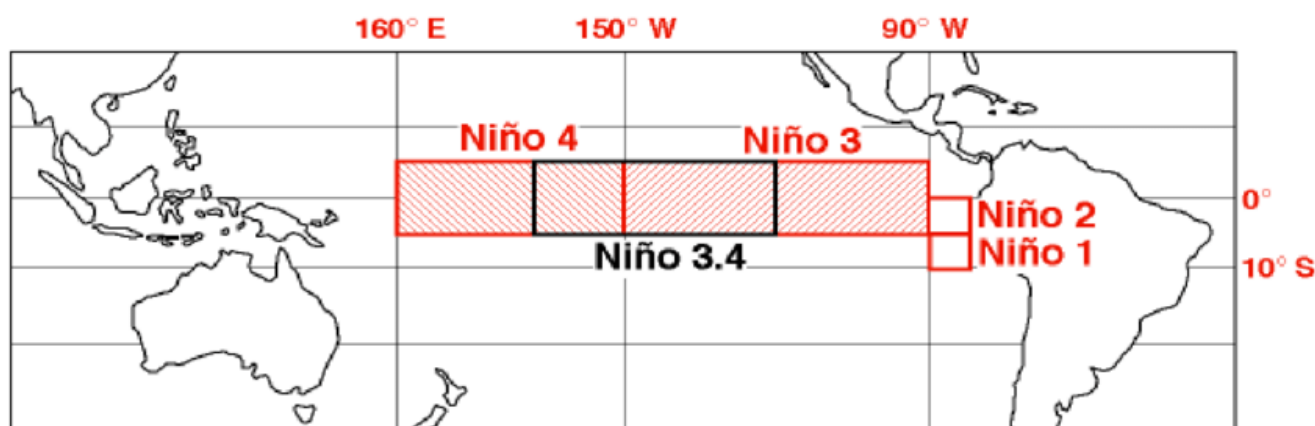
¹⁴ Comunicado Oficial ENFEN N°01-2016.

¹⁵ Comunicado Oficial ENFEN N°16-2016.

¹⁶ Comunicado Oficial ENFEN N°02-2017.

¹⁷ Comunicado Oficial ENFEN N°03-2017.

¹⁸ *El Comercio*, 24 de enero de 2017, «Piura: reportan varios aniegos en la ciudad tras fuerte lluvia».



Fuente: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/el-niño-and-la-niña-frequently-asked-questions>

palpable después de la Pascua de Navidad», en lo que es la primera referencia al nombre de «El Niño».

Un segundo evento que tuvo características muy similares al de 2017 fue el de 1925, el cual se asoció a lluvias severas e inundaciones en el norte de Perú y en el sur de Ecuador entre febrero y abril, y fue el tercero más fuerte en el siglo XX, debido a sus impactos en el Pacífico oriental. Takahashi y Martínez (2017) hacen una minuciosa evaluación de este evento a través de observaciones in situ obtenidas de numerosas fuentes. A partir de ello, indican que ese Niño costero se caracterizó por condiciones cálidas en el Pacífico oriental y, en paralelo, por condiciones frías en el Pacífico central. Los datos hidrográficos y mareográficos indican que las ondas Kelvin tuvieron escasa influencia en el inicio del evento, mientras que los datos meteorológicos de barcos mostraron fuertes vientos del norte a través del ecuador y el fortalecimiento/debililitamiento de las zonas de convergencia intertropical (ZCIT) al sur/norte del ecuador. Los autores proponen que esta interacción océano-atmósfera, entre el calentamiento del mar y la intensificación de la ZCIT al sur de la línea ecuatorial, sumada a los vientos del norte, ayudó al establecimiento y persis-

tencia de este evento y a producir la lluvia costera muy fuerte que se sintió en el país. El análisis posterior del ENFEN (2017) indica que los mecanismos físicos que produjeron el evento El Niño costero de 2017, así como sus características en el espacio y tiempo, fueron muy similares a las de 1925.

En el país, los impactos de El Niño costero 2017 fueron muy fuertes. Hubo daños personales y materiales, se declaró el estado de emergencia en 879 distritos ubicados en 109 provincias y 14 regiones, y hubo un gran número de fallecidos, desaparecidos y heridos, así como 21 000 viviendas colapsadas, 710 establecimientos de salud afectados y 39 colapsados, 323 puentes destruidos, entre otros (INDECI). La reacción del gobierno fue rápida, con acciones de respuesta como la coordinación con los principales sectores, el fortalecimiento del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, el apoyo de miembros de la Fuerzas Armadas, la Policía Nacional, y el Cuerpo General de Bomberos, así como el establecimiento de un puente aéreo de ayuda. A fines de abril se promulgó la ley 30556, Ley que aprueba disposiciones de carácter extraordinario para las intervenciones del gobierno nacional frente a desastres y que dispone

la creación de la autoridad para la reconstrucción con cambios. Asimismo, en setiembre —cinco meses después de culminado el evento—, mediante el Decreto Supremo 091-2017-PCM, se aprobó el Plan de la Reconstrucción.

Conclusiones

Si bien los sistemas operacionales para el monitoreo de El Niño han progresado notoriamente en las últimas décadas, tanto el evento El Niño 2015-2016 como El Niño costero 2017 muestran que aún existen fuertes desafíos en su investigación y en su predicción operativa. Para el Perú es de especial interés el estudio sobre eventos de El Niño costero, pero los mecanismos físicos de estos, cuyo entendimiento es necesario para su predicción, prácticamente no han sido estudiados (Martínez y Takahashi). De igual modo, si bien hay avances que nos ayudan a entender cómo eventos El Niño pueden llegar a ser tan intensos en nuestra costa, como en 1982-1983 y 1997-1998 (por ejemplo, Takahashi y Dewitte), ¿por qué estos mecanismos no fueron efectivos en 2015-2016? En este contexto, es importante que el Perú lidere la investigación científica sobre estos temas que son necesarios para el país, pero no internacionalmente.

El ENFEN, como ente científico y técnico especializado en El Niño, ha cumplido una función importante en la vigilancia y alerta de los dos eventos descritos; sin embargo, puede y debe ser reforzado. Es fundamental contar con información oportuna y confiable sobre los mecanismos de prevención, preparación y respuesta, que consideren las particularidades que presentan los diferentes eventos El Niño en nuestro país. Asimismo, es preciso reducir las incertidumbres en el pronóstico y mejorar la forma en que los usuarios lo reciben, interpretan y aplican (L'Heureux et al.).

Las acciones en el ámbito de los gobiernos nacional, regional y local durante los eventos El Niño analizados han dejado importantes lecciones y han visibilizado deficiencias que deben ser superadas. En general, la capacidad de reacción mostró que en momentos de crisis —como en el verano de 2017— es posible coordinar acciones multisectoriales en forma rápida y eficiente, y que existe un fuerte valor de solidaridad en la sociedad peruana. Por otro lado, las principales fallas se relacionan con las capacidades de ejecución y, en algunos casos, con la yuxtaposición de funciones o la falta de claridad de funciones entre algunos organismos ejecutores. Sin embargo, quizá los problemas más graves sean el de falta de prevención a largo plazo (zonificación urbana, habilitación urbana de infraestructura para el desagüe de lluvias, etcétera) y la falta de continuidad en acciones rutinarias de prevención (limpiezas anuales de canales y reservorios, falta de mantenimiento en la infraestructura urbana y rural, entre otras).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carranza, L. (1891). «Contracorriente marítima, observada en Paíta y Pacasmayo». *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima* 1 (9), pp. 344-345.
- Carrillo, C. (1892). «Hidrografía oceánica: las corrientes oceánicas y estudios de la Corriente Peruana o de Humboldt». *Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima* 2, pp. 72-110.
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño - ENFEN. (2012, 9 de abril). «Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú».
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño – ENFEN. (2015). «Comunicados oficiales y notas de prensa ENFEN». <https://imarpe.gob.pe>
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño – ENFEN. (2016). «Comunicados oficiales y notas de prensa ENFEN». <https://imarpe.gob.pe>
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño – ENFEN. (2017). «Comunicados oficiales y notas de prensa ENFEN». <https://imarpe.gob.pe>
- Estudio Nacional del Fenómeno El Niño – ENFEN. (2017). El Niño costero 2017. Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN, p. 31.
- Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI. (2017). *Boletín estadístico virtual de la gestión reactiva* 4 (7). <https://www.indeci.gob.pe/objetos/secciones/MTc=/MjI0/lista/OTk0/201708091706381.pdf>.
- L'Heureux, M., et al. (2017, julio). «Observing and Predicting the 2015/16 El Niño». *American Meteorological Society*. <<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0009.1>>.
- Martínez, A. y Morón, K. (2017). «Comparación entre los impactos de los eventos El Niño costero 1925 y 2017». *Boletín técnico «Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del fenómeno El Niño»* 4(4), pp. 8-9.
- Martínez, A. y Takahashi, K. (2017). «¿El Niño costero o fenómeno El Niño?». *Revista Moneda* 170, pp. 34-37, 2017.
- Morera, S., et al. (2017). «The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012)». *Nature Scientific Reports* 7. <<https://doi.org/10.1038/s41598-017-12220-x>>.
- Takahashi, K.; Mosquera, K. y Reupo, J. (2014). «El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización». *Boletín técnico «Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del fenómeno El Niño»* 1 (2), pp. 8-9.
- Takahashi, K. y Dewitte, B. (2016). «Strong and moderate non-linear El Niño regimes». *Climate Dynamics* 46, pp. 1627-1645. <<https://doi.org/10.1007/s00382-015-2665-3>>.
- Takahashi, K. y Martínez, A. (2017, 20 de mayo). «The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific». *Climate Dynamics* 52, pp. 7389-7415. <<https://doi.org/10.1007/s00382-0173702-1>>.

3



INVESTIGACIÓN EN EL PERÚ

Sensores naturales del calentamiento global: Lo que nos dice la evolución de los glaciares en la cuenca Lullán-Parón

Ronald Concha

Si queremos prevenir y gestionar los fenómenos que son consecuencia del cambio climático debemos conocerlos y comprenderlos. El estudio de la evolución de los glaciares arroja información importante sobre el calentamiento global y en el Perú existen diversas muestras que debemos atender, no solo desde la comunidad científica sino desde la sociedad en general.

Actualmente, existen muchas evidencias del cambio climático en nuestro planeta. Por un lado, las anomalías atmosféricas incrementan los eventos climáticos extremos y, por otro, la incidencia de estas anomalías en todo el sistema climático genera, entre otros fenómenos, el retroceso de los glaciares, proceso del que tratará este artículo.

En el Perú existen diversas muestras del retroceso glacial, pero me centraré en el experimentado en el valle Lullán-Parón, ubicado en la Cordillera Blanca en los Andes occidentales del norte de Perú, a unos sesenta kilómetros al norte de la ciudad de Huaraz. Este valle alberga extensas masas de hielo y morrenas muy bien conservadas, que registran la antigua expansión glacial y proporcionan valiosa información para reconstruir e interpretar algunas variables climáticas en el tiempo.

Así, el análisis se enfoca en la evolución glacial de dicha cuenca,

sufrida desde la Pequeña Edad de Hielo, último periodo frío globalmente conocido, que tuvo lugar en los Andes centrales entre los años 1500 y 1890.

Fundamentalmente, sobre la base del análisis geomorfológico, estimé la Altitud de la Línea de Equilibrio de los glaciares (ELA), parámetro estadístico que mejor expresa la relación entre los glaciares y el clima. La ELA es la línea que separa la zona de acumulación de un glaciar (donde predominan los procesos que favorecen la ganancia de masa) de la zona de ablación (donde prevalecen los fenómenos que provocan pérdida de masa).

A partir de una imagen del satélite Pléiades, capturada en julio de 2016, y de fotografías aéreas georreferenciadas, capturadas en mayo y diciembre de 1962, delimité los glaciares en ambos escenarios y, mediante la elaboración de un mapa geomorfológico detallado, los paleoglaciares de la Pequeña Edad del Hielo. Este mapa permitió estimar superficies, volúmenes y

ELA glaciales para las tres fases mediante el uso de modelos de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) para cada una de ellas.

Para ello empleé la metodología GlabTop (Linsbauer, Paul y Haeberli), cuyo principio asume que la superficie actual del glaciar es reflejo de la topografía basal, y para tal fin considera diversos parámetros físicos que influyen en la dinámica glacial.

Por otra parte, para reconstruir los DEM en los periodos de 1962 y en la Pequeña Edad del Hielo utilicé la herramienta GLARE (Pellitero et al.), que reconstruye los glaciares a partir de líneas de flujo que simulan el recorrido glacial en el pasado. Finalmente, con la obtención de un DEM para cada escenario —y conociendo la topografía subglacial actual— creé celdas a lo largo de la superficie de glaciares y paleoglaciares y posteriormente calculé los volúmenes para cada periodo a través de la sumatoria del producto del área de cada celda por sus respectivos espesores.

Las ELA actuales y las paleo-ELA se reconstruyeron mediante el método Area x Altitud x Balance Ratio-AABR (Osmaston), que se basa en dos supuestos: a) los gradientes de acumulación y ablación son aproximadamente lineales y b) la relación neta entre la ablación y la acumulación es conocida y permanece fija a través del tiempo (Benn y Lehmkuhl, Rea). Este método

reconoce que cualquier área de la superficie del glaciar que está altitudinalmente más lejos de la ELA (ya sea positiva o negativa) tiene una mayor contribución al balance general de masas que una unidad de área que se encuentra más cerca de la ELA.

El método AABR es el más adecuado para los glaciares «limpios», es decir, aquellos que no tienen

una incidencia importante de masas provenientes de avalanchas, donde extensos glaciares cubiertos no ejerzan una fuerte influencia sobre el gradiente de ablación (Benn y Lehmkuhl, Osmaston) o donde la topografía no influya en el desarrollo climático del glaciar.

La obtención de las ELA y las paleo-ELA me permitió estimar la variación de la temperatura del

Periodo	Nro. de glaciares	Área (km ²)	Volumen Hielo (Mm ³)	Volumen Agua (Mm ³)	ELA (m)
2016	44	17.66	639.3	575.3	5164
1962	35	22.36	773.8	696.4	5114
PEH	22	30.89	1054.5	949.1	5058

- Reducción de la superficie glaciar: periodo 1962-2016 (21,0%), periodo PEH-2016 (42,8%).

- Desnivel de la ELA: periodo 1962-2016 (50 m), periodo PEH-2016 (106 m).

- Variación de la temperatura del aire: $\Delta T_{1962-2016}=0.33^{\circ}\text{C}$, $\Delta T_{PEH-2016}=0.69^{\circ}\text{C}$.

- La temperatura media anual (1.89°C) que se muestra en la figura 2 se obtuvo de la estación meteorológica instalada por el proyecto CRYOPERÚ, sobre el glaciar Artesonraju.

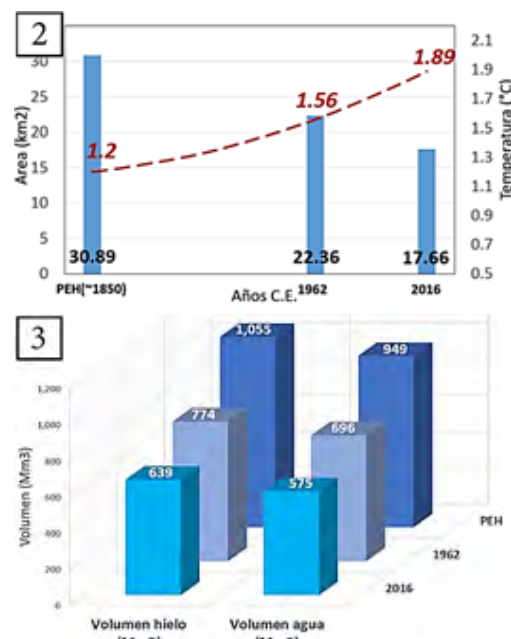
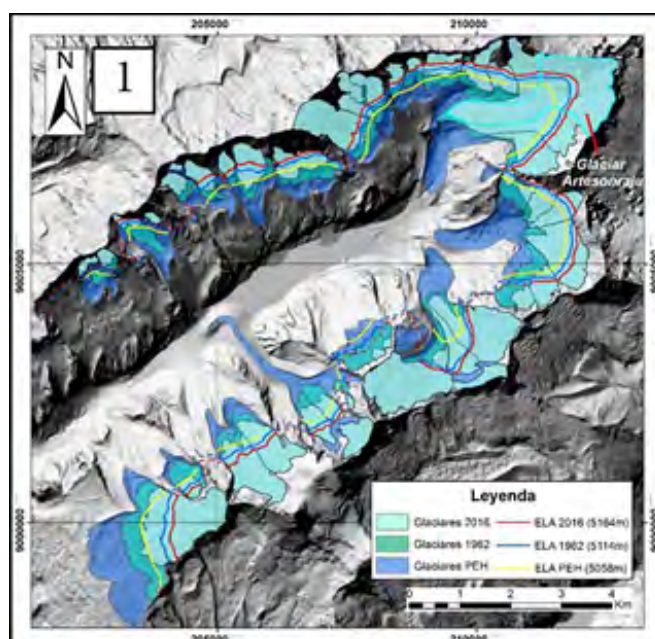
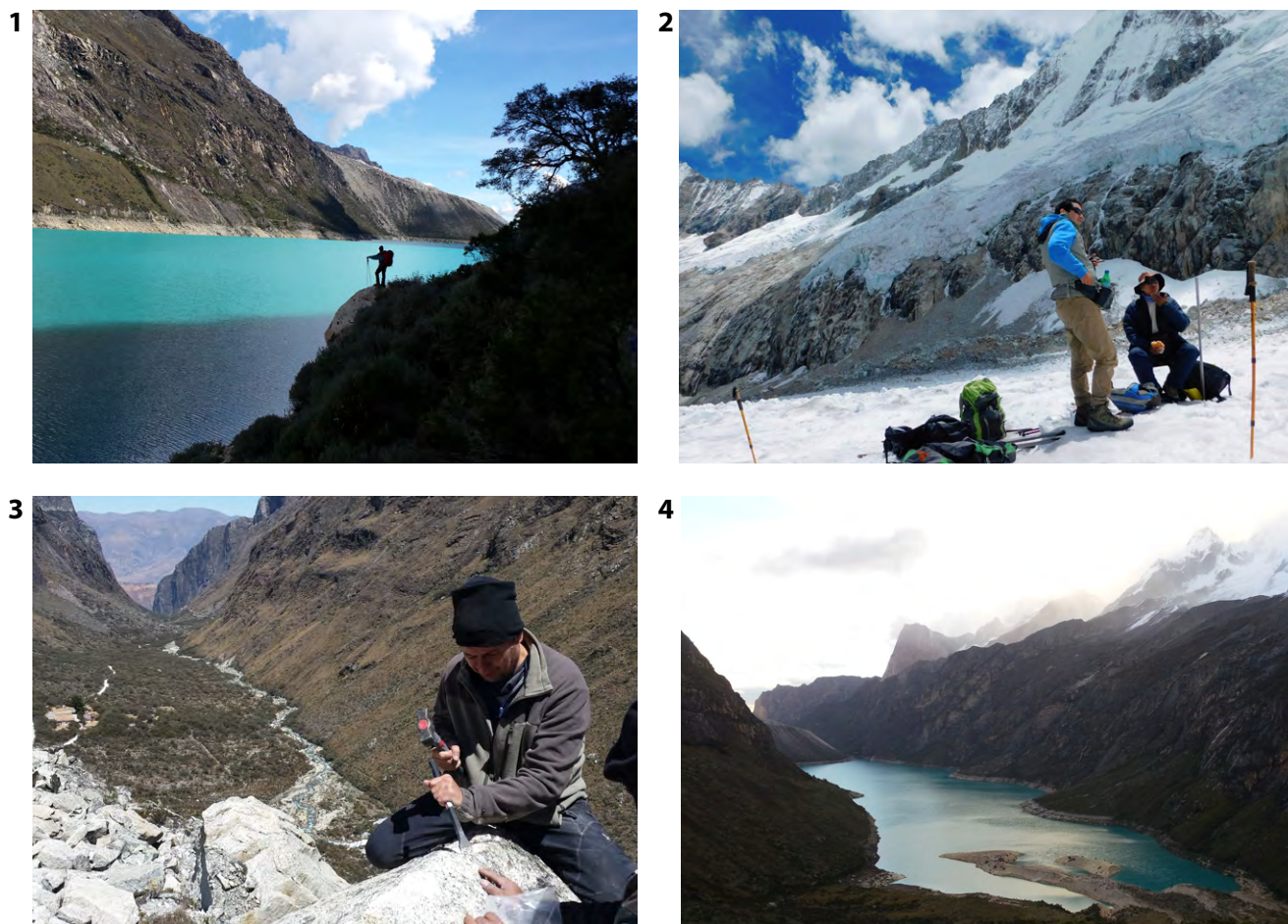


Fig. 1: Mapa de glaciares y paleoglaciares en la cuenca Parón, en líneas se muestra el cálculo de las ELA. Fig. 2: Variación del área vs. la variación de la temperatura. Fig. 3: Variación volumétrica de hielo y su equivalencia en agua.



1. Atardecer en la laguna Parón.

2. Trabajando en la instalación de una Estación Meteorológica en el glaciar Artesonraju.

3. Muestreo de rocas en morrenas para conocer su edad de emplazamiento y entender la evolución glacial del valle Parón.

4. Valle glacial Parón. En la parte alta de la margen derecha se observan glaciares de la montaña Agujas Nevadas.

de la Autoridad Nacional del Agua (UGRH-ANA) en el periodo 2013-2014, es de 5049 m —115 m por debajo de la ELA2016 que se obtuvo mediante este trabajo—. Esa diferencia se debe a que la ELA AABR presentada en este artículo es un valor estadísticamente representativo de los 44 glaciares identificados en 2016 y la ELA medida directamente se refiere exclusivamente al glaciar Artesonraju, más grande, con mayor alimentación y considerablemente más bajo que los demás glaciares de la cuenca.

En segundo lugar, la variación del clima para el año 2016 fue de 0.69°C, ligeramente inferior al calentamiento deducido de registros instrumentales (IPCC, 2013), tanto entre los años 1880 y 2012 (0.85°C), como entre las series 1850-1900/2003-2012 (0.78°C). Los resultados arrojan cierta consistencia con los datos instrumentales, si

se considera que durante los últimos cincuenta a sesenta años la temperatura se ha incrementado 0.1°C/década (Vuille et al.).

Así, los resultados que expongo en este texto son consistentes con las mediciones directas y coinciden, además, con los estudios emprendidos por el INGEMMET (2014-2018) en otras zonas glaciares de los Andes peruanos, en donde se utilizaron los mismos métodos. Esto nos permite validar provisionalmente las ecuaciones empleadas, a la espera de realizar más estudios en nuevas áreas de los Andes centrales. Por último, estas investigaciones podrían servir para elaborar pronósticos y, de esta manera, proporcionar un nuevo enfoque sobre el impacto del cambio climático en los glaciares. Como señalé al inicio, sin la comprensión de estos fenómenos no podremos prevenir ni mitigar sus efectos.

pasado respecto al presente, registrada por la evolución de los glaciares, y arrojó interesantes resultados que pueden visualizarse en los siguientes gráficos:

Como conclusiones encontramos las siguientes. En primer lugar, la ELA obtenida por mediciones directas en el glaciar Artesonraju, hechas por la Unidad de Glaciología

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

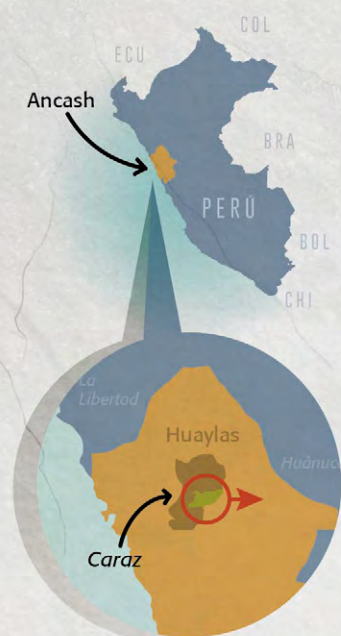
- Benn, D. y Lehmkuhl, F. (2000). «Mass balance and equilibrium line altitudes of glaciers in high mountain environments». *Quaternary International* 65-66 (1), pp. 15-29, 2000. < [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(99\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(99)00034-8)>
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2013). *Climate Change 2013. The physical science basis. Editado por Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Jomelli, V., et al. (2008). «Recalibration of the yellow Rhizocarpon growth curve in the Cordillera Blanca (Peru) and implications for LIA chronology». *Geomorphology* 93 (3-4), pp. 201-212.
- Kaser, G. y Osmaston, H. (2002). *Tropical glaciers*. Cambridge, RU: Cambridge University Press.
- Licciardi, J., et al. (2009). «Holocene glacier fluctuations in the Peruvian Andes indicate northern climate linkages». *Science* 25 (325), pp. 1677-1679. doi: 10.1126/science.1175010.
- Linsbauer, A.; Paul, F. y Haeberli, W. (2012). «Modeling glacier thickness distribution and bed topography over entire mountain ranges with GlabTop: Application of a fast and robust approach». *Journal of Geophysical Research* (117), pp.3-7. doi: 10.1029/2011JF002313.
- Osmaston, H. (2005). «Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area x Altitude, the Area x Altitude Balance Ratio and the Area x Altitude Balance Index methods and their validation». *Quaternary International* (138-139), pp. 22-31.
- Pellitero, R., et al. (2015). «A GIS tool for automatic calculation of glacier equilibriumline altitudes». *Computers & Geosciences* (82), pp. 55-62. <<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.05.005>>.
- Pellitero, R., et al. (2016). «GlaRe, a GIS tool to reconstruct the 3D surface of palaeoglaciers». *Computers & Geosciences* (94), pp. 77-85. <<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.06.008>>.
- Porter, S. (2001). «Snowline depression in the tropics during the last glaciation». *Quaternary Science Reviews* 10 (20), pp. 1067-1091. <[https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00178-5](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00178-5)>.
- Rea, B. (2009). «Defining modern day area-altitude balance ratios (AABRs) and their use in glacier-climate reconstructions». *Quaternary Science Reviews* 3-4 (28), pp. 237- 248. < <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.10.011>>.
- Solomina, O., et al. (2007). «Lichenometry in the Cordillera Blanca, Peru: "Little Ice Age" moraine chronology». *Global and Planetary Change* 1-4 (59), pp. 225-235.
- Sutherland, D. (1984). «Modern glaciers characteristics as a basis for inferring former climates with particular reference to the Loch Lomond Stadial». *Quaternary Science Reviews* 4 (3), pp. 291-309. < [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(84\)90010-6](https://doi.org/10.1016/0277-3791(84)90010-6)>.
- Thompson, L., et al. (1986). «The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap». *Science* 17 (234), pp. 361-364. <[10.1126/science.234.4774.361](https://doi.org/10.1126/science.234.4774.361)>.
- Vuille, M., et al. (2008). «Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future». *Earth-Science Reviews* 3-4 (89), pp. 79-96.

LA ERA DE DESHIELO

Siete científicos peruanos incursionaron en la cuenca Parón de Ancash, para estudiar el proceso de su evolución glacial, teniendo como base el análisis geomorfológico. Estos estudios, pretenden contribuir al conocimiento y comprensión de la dinámica glacial en los Andes Peruanos.

ÁREA DE ESTUDIO

La Cuenca Parón, se ubica en la Cordillera Blanca en los Andes occidentales del norte de Perú, a 60 km de la ciudad de Huaráz.



La Cordillera Blanca se extiende por 200 km en dirección noroeste.

Los nevados Huandoy, Chacaraju, Artesonraju y Pirámide son algunas de las montañas más altas que abarca la cordillera Blanca.



ALTITUD DE LA LÍNEA DE EQUILIBRIO (ELA)

Es la línea, que separa la zona de acumulación (donde predominan los procesos de ganancia de masa), de la zona de ablación (donde prevalecen los fenómenos que provocan pérdida de masa) de un glaciar.

Zona de acumulación

ELA (Equilibrium Line Altitudes)

Zona de ablación

La elevación de la ELA extendería la zona de ablación a toda la masa de hielo condenando al glaciar a desaparecer.

70%

DEL AGUA DULCE DEL MUNDO ESTÁ EN LOS GLACIARES.

39%

DE LOS GLACIARES EN EL PERÚ HAN DESAPARECIDO EN LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS.

EL ESTUDIO DE ELAS Y PALEOELAS SIRVE PARA ELABORAR PRONÓSTICOS SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LOS GLACIALES Y PROPORCIONA UN NUEVO ENFOQUE SOBRE EL IMPACTO DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LOS GLACIARES

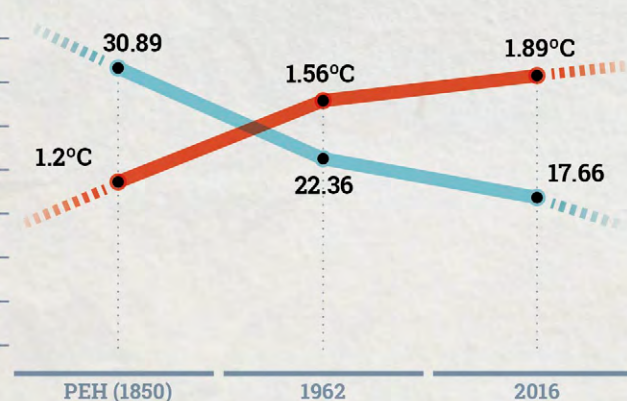


PRONÓSTICO DESFAVORABLE

Según las mediciones realizadas en el estudio, desde 1960 se ha perdido un gran porcentaje de hielo en la cuenca.

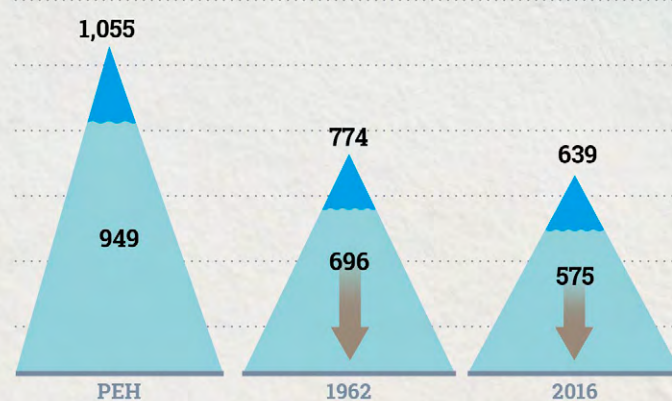
» Variación del área vs la temperatura

Área (km²) Temperatura (°C)



» Variación volumétrica de hielo y su equivalencia en agua

Volúmen de hielo (Mm³) Volúmen de agua (Mm³)



AGUA PARA EL FUTURO

Los glaciares representan una reserva estratégica de agua para el futuro de la población. Su desaparición provocaría la reducción del agua disponible para el consumo, el riego de cultivos y la generación de energía hidráulica. El estudio de evolución de los glaciares es un aporte para plantear cómo aprovechar mejor las reservas de agua.

La siembra y cosecha de agua es una técnica que consiste en captar parte del agua de lluvia y hacer que esta se infiltre para recargar las aguas subterráneas, antes que se pierda, o se vaya al río.

Lo hacen a través de prácticas complementarias que evitan la erosión y la pérdida de fertilidad del suelo, mejorando con ello la disponibilidad del agua.

Las qochas son pequeños depósitos de agua, ubicadas en las cabeceras de cuenca, que retienen y represan el agua de lluvia.



4



INVESTIGACIÓN EN MARCHA

Monitoreo de cabeceras de cuenca con satélites ante cambio climático

De todos los países del mundo, el nuestro es uno de los que más sufrirá los efectos del cambio climático debido a nuestra ubicación geográfica y a nuestros ricos y variados ecosistemas; en especial, el ecosistema que depende del ciclo del agua y que compone las montañas, los glaciares y los ríos.

Como sabemos, nuestro país concentra el 71% de los glaciares tropicales del planeta y sus cuencas son fuentes de agua que nutren a la población, riegan sus alimentos y generan su electricidad. El cambio climático afectará el acceso al agua para consumo directo, para irrigación de cultivos, así como para la producción de electricidad industrial y residencial con los consecuentes conflictos sociales que se puedan generar.

¿Qué está haciendo el Perú para evitar o contrarrestar este nuevo escenario que afectaría la estabilidad de las cabeceras de cuenca y, por ende, la provisión de agua para el consumo humano y subsistencia de los ecosistemas andinos?

El proyecto de investigación denominado "Fortaleciendo la resiliencia de cabeceras de cuenca andinas para afrontar el cambio climático global", el mismo que cuenta con un importante financiamiento del CONCYTEC a través de su brazo ejecutor FONDECYT, buscó identificar situaciones creadas por el hombre o por la naturaleza que de manera conjunta afectan las cuencas. Por ejemplo, aquellos eventos climá-

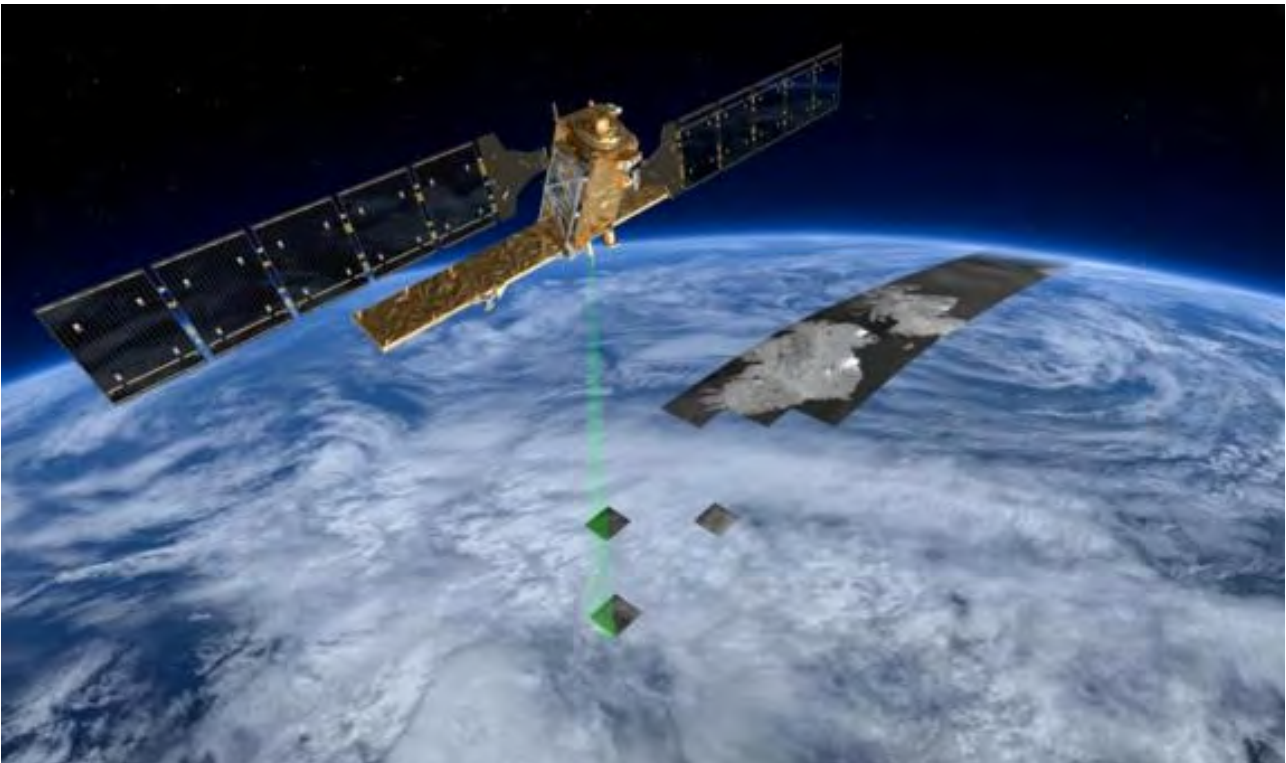
ticos extremos como sequías, heladas o precipitaciones extremas que, en conjunto con actividades del hombre, como construcción de reservorios y trasvases para irrigaciones a gran escala, para minería, etc. ponen en riesgo la cuenca.

Usando imágenes satelitales se identifican y delimitan las zonas activas de las cabeceras y su evolución. También se evalúan las propiedades de los humedales y su relación con la provisión de agua cuenca abajo. Al mismo tiempo, se identifican las actividades humanas relevantes que impactan sobre las cabeceras; y se evalúan los efectos y las causas económicas, sociales y políticas de la actividad humana y su manifestación en conflictos sociales y en políticas de gestión pública.

El equipo de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), fue liderado por el Dr. Bram Leo Willems e integrado por el Dr. Raúl Espinoza Villar, Mg. Fabiola Yeckting, Mg. Eleazar Rufasto, Rossi Taboada, Verónica Vilchez, Gisell Carbajal, María Elena Aauto, Yizet Huamán, Wilmer Moncada, Joel Morales, Jorge García, Mervin Becerra, Jaime Lome, Martín Leyva y Yo-

natan Tarazona, quienes registraron el detalle de las cabeceras de las cuencas de los ríos Piura, Chancay-Lambayeque, Chillón y Cachi, y el sistema integrado Pampas-Ica. Estas cuencas son de vital importancia para las poblaciones y actividades productivas que se desarrollan en éstas, tales como la ganadería, agricultura, producción energética y minería. Es por eso que no basta con entender los procesos naturales que inciden sobre las cabeceras sino también el uso que la actividad humana hace de ellas y todo esto en relación a los ecosistemas que allí funcionan.

Asimismo, colaboraron en el proyecto la Universidad de Arizona (UA), el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo (UNPRG), la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), la Autoridad Nacional del Agua, el Proyecto Especial del Río Cachi, el Ministerio del Ambiente y las Juntas de Regantes, entre otros. Con este proyecto se pone en marcha un sistema de monitoreo por satélite para el estudio de



la evolución de las cabeceras de cuencas andinas y la conformación de escenarios para la toma de decisiones. Gracias a la data que generada, estaremos mejor preparados para tomar decisiones inteligentes y oportunas, así como alertas para enfrentar los efectos del cambio climático y afectar lo menos posible la calidad de vida de la gente.

Se identificó que el año hidrológico empieza en junio y termina en mayo del siguiente año. Respecto al área piloto, que es la quebrada de Millpupampa, se realizaron mediciones de caudal y de parámetros físico-químicos que permiten señalar que el sistema de bofedales cumple una función reguladora y obedece a la estacionalidad regional. Los resultados sobre el ph indican que existen condiciones favorables sobre su calidad.

Sobre el componente 2, para evaluar la calidad del ecosistema, el equipo empleó bioindi-

cadores para establecer vínculos entre la calidad de agua y el bienestar del ecosistema. Dos muestreos han permitido indicar que hubo una disminución de la calidad del ecosistema. Esto posiblemente debido a la variación del nivel del agua en los bofedales. También los resultados indican que es factible que se desarrollen buenas prácticas de conservación del bofedal y uso sostenible del agua, para que coexistan actividades agrícolas, ganaderas y de vivienda.

Para analizar las presiones, identificar los impactos en el ecosistema y el bienestar humano y las respuestas de la comunidad e instituciones se identificaron en el ámbito del Chicllarazo 7 barrios o localidades. Allí el 86% se dedica al ganado alpaquero, que es la principal actividad económica. Con respecto a las actividades domésticas, las personas todavía encuentran su agua en fuentes naturales,

a pesar de que de acuerdo con cifras oficiales el 100% de la población del Chicllarazo cuenta con cobertura de agua potable. A nivel de localidades, 6 de los 7 barrios presentan como condición la inseguridad hídrica y, a nivel comunal el 64% de los encuestados también sostiene esta condición.

Estos resultados fueron presentados en el Centro de Investigación, Desarrollo, Innovación y Emprendimiento Empresarial de la UNSCH, el 6 de noviembre. Desde el 20 de enero, dos investigadores del equipo se encuentran en la Universidad del Oeste de Inglaterra y el Colegio Imperial de Londres como parte del fortalecimiento de capacidades del proyecto. En la siguiente semana, se sumarán dos investigadores para la presentación y discusión de resultados, así como propuestas técnicas para futuros proyectos, en la Universidad del Oeste de Inglaterra.

Nota tomada de: «Impulsando el Futuro», FONDECYT / CONCYTEC. Para más información del proyecto, puede comunicarse con su coordinador Yván Jesús Túpac Valencia (ytupac@ucsp.pe) Teléfono: 054-605630, anexo 373.

La computación evolutiva al servicio del diseño de viviendas contra el cambio climático

Nuestras viviendas también se verán afectadas por el cambio climático. El problema es mayor cuando tomamos en cuenta que los efectos del cambio climático van de la mano con el crecimiento acelerado de las ciudades y las construcciones.

El proyecto «Modelo e implementación computacional de un sistema evolutivo de optimización de edificaciones en arquitectura sostenible con soporte a cambio climático», presentado por la Universidad Católica San Pablo, de la ciudad de Arequipa, ganó en febrero de 2015 un financiamiento del FONDECYT por cerca de 330 000 soles, para hacer posible, en los siguientes 24 meses, un sistema de optimización modelado, implementado y validado, que evalúe y optimice propuestas arquitectónicas basadas en los criterios de sostenibilidad y adaptación al cambio climático.

«En los últimos años se ha tratado de responder a esta urgencia usando un criterio llamado sostenibilidad, mediante el cual se aplican varios criterios al mismo tiempo para lograr la mayor efectividad en el diseño, materiales y construcción. Por ejemplo, es importante la ubicación de las viviendas para el proceso de diseño, morfología y, sobre todo, el diseño con base en la comunidad con prioridad regional. La innovación y la selección de materiales y recursos son cruciales para lograr la mayor eficiencia energética, en consumo y reciclaje del agua», indica el investigador principal del proyecto, el doctor Yván Túpac Valdivia.

En esta investigación, el equipo de científicos aplicó una herramienta

que hace posible que se analice, caso por caso, cada proyecto de construcción y diseño, tomando en cuenta el terreno donde serían ubicadas las construcciones, el tipo de suelo, las fuentes de agua y de energía y los factores climáticos de la zona —como temperaturas, vientos, lluvias, etcétera—. Cada proyecto responde al contexto único que lo rodea; asimismo, aprovecha la naturaleza a su favor.

«Propusimos usar el método llamado SB Method de la International Initiative for a Sustainable Built Environment (IISBE), que nos da un soporte para evaluar el rendimiento de sostenibilidad de construcciones y proyectos. Esto permite aumentar o reducir los criterios necesarios a cada contexto de acuerdo con el grado de complejidad que se requiera analizar, y posibilita ajustar los grados de importancia de cada criterio según las características y contextos de cada localidad», agrega el Dr. Túpac.

Los criterios de sostenibilidad del SB Method ayudan a definir la sostenibilidad del proyecto y se ejecutan con una herramienta denominada SB Tools. Este hace posible modelar e implementar un sistema computacional de evaluación llamado «computación evolutiva» que permite que la propuesta arquitectónica se pueda ajustar progresivamente en el tiempo para aplicar los mejores criterios de sostenibilidad.

«Existe mucha evidencia de resultados sorprendentes cuando se aplican métodos y tecnologías de ciencia e inteligencia computacional en arquitectura y urbanismo —o Urban Computing— como la computación evolutiva que acá proponemos. Su buen uso ha permitido obtener herramientas con resultados impresionantes en áreas como el comercio, la industria, la ingeniería y el ambiente», completa el Dr. Túpac.

Económicamente se espera que la herramienta contribuya al diseño y ajuste de propuestas arquitectónicas que mejoren sus criterios de sostenibilidad y, por tanto, logren un ahorro en costos de construcción en el corto plazo y aseguren el uso eficiente de recursos energéticos para la climatización en el mediano plazo. En todos los casos, en el largo plazo se genera un ahorro en inversión tanto en la construcción y en la reconstrucción, como en la rehabilitación.

En la actualidad, la UCSP está gestionando con los municipios y el gobierno regional algunas alianzas estratégicas para el uso de esta herramienta en campo, que permita mejorar las condiciones de pobladores, evaluar los riesgos de nuevos asentamientos e invasiones y aprovechar las ventajas de determinadas zonas que pueden ser urbanizadas, según indica el Dr. Túpac.

Nota tomada de: «Impulsando el Futuro», FONDECYT / CONCYTEC. Para más información del proyecto, puede comunicarse con su coordinador Yván Jesús Túpac Valencia (ytupac@ucsp.pe) Teléfono: 054-605630, anexo 373.

El carbono negro, uno de los principales agentes del retroceso glaciar

Desde 1970 hasta ahora, principalmente debido al cambio climático, el Perú ha perdido el 42% de la superficie glaciar de sus 18 cordilleras. En estas últimas décadas, también, la actividad humana ha incrementado las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido, entre otros factores, al uso de combustibles fósiles, los incendios forestales, la quema de residuos agrícolas, el uso de biomasa (madera) para cocinar y ciertas actividades industriales. Todo ello ha provocado la aparición de partículas de carbón negro: el enemigo casi imperceptible de nuestros glaciares.

El carbono negro que afecta los glaciares está compuesto comúnmente por diminutas partículas sólidas conocidas como «hollín», cuyo tamaño puede ser menor al grosor de un cabello humano. Por lo general, los especialistas lo llaman «material particulado PM2.5» que tiene una fuerte capacidad para la absorción de la energía solar y es producido durante la combustión incompleta provocada por incendios forestales, el uso cotidiano de leña como combustible doméstico o el parque automotor de las ciudades próximas a los glaciares. Cabe mencionar que aproximadamente el 60% de la población rural usa leña como combustible en el hogar.

Este hollín de color negro, al depositarse sobre los glaciares, los ennegrece y reduce su capacidad de reflejar la luz solar. Esto implica que los glaciares absorban más energía solar y, por lo tanto, calor, lo cual genera su derretimiento acelerado.

Sin embargo, debemos precisar que todas las partículas

presentes en los glaciares no necesariamente son de carbono negro; hay también sedimentos finos de roca, polvo mineral, carbono orgánico y otros, que son transportados por el viento hasta los glaciares. Lo que sí puede afirmarse es que todas las partículas relativamente oscuras tienen un impacto negativo en los glaciares.

En este escenario, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), con sede en la ciudad de Huaraz, está desarrollando el proyecto «Estimación de la contribución del carbono negro a la fusión de nieve de los glaciares de la Cordillera Blanca», con el objetivo de medir el impacto del carbono negro en el derretimiento de la nieve glaciar.

Desde octubre de 2015 se han recogido muestras de nieve en los glaciares Yanapaccha y Shallap de la Cordillera Blanca, en Áncash; y en mayo de 2016, de los glaciares Sullcón, Paccha y Ticlla de la Cordillera Central, con la finalidad de determinar la

cantidad de carbono negro presente en la nieve de cada glaciar.

El equipo del INAIGEM, encargado de esta investigación y liderado por los científicos Wilmer Esteban Sánchez Rodríguez y Carl Schmitt, este último del National Center of Atmospheric Research (NCAR), reporta que sus trabajos de recolección de información han involucrado diferentes muestras en distintas altitudes de cada glaciar. Así, se tomó una muestra de nieve a una altitud aproximada de 5000 msnm en los glaciares Yanapaccha y Shallap, y posteriormente se recogieron tres muestras de nieve desde la parte más alta (cerca de la cumbre), a mitad del glaciar y la parte baja, con el fin de comprobar si el carbono negro se deposita de manera uniforme en todo el glaciar. De la misma forma, esta recolección ha incluido glaciares más próximos a la ciudad de Huaraz, como los nevados Tocllaraju y Vallunaraju, para saber si los glaciares más cercanos a las ciudades presentan más carbono negro en relación con otros

que están más alejados, ya que —como se mencionó antes— una de las principales fuentes del carbono negro es el parque automotor de las ciudades.

Los resultados parciales de los estudios llevados a cabo por el INAIGEM revelan que, durante la estación seca en los Andes centrales, la cantidad de carbono negro en los glaciares es mayor; en efecto, los incendios forestales, la quema de pastizales y el parque automotor son las fuentes que generan ingentes cantidades de carbono negro. El glaciar Shallap —el más cercano a Huaraz— presenta mayor cantidad de carbono negro en comparación con el glaciar Yanapaccha de la provincia de Yungay.

El muestreo durante el periodo de un año hidrológico muestra que el glaciar Shallap presenta aproximadamente el doble de carbono negro. Sin embargo, durante los incendios forestales en los meses octubre y noviembre de 2016, ambos glaciares presentaron elevadas y similares cantidades de carbono negro. Además, es importante mencionar que en un primer muestreo obtenido de los glaciares de la Cordillera Central se han encontrado cantidades relativamente altas de carbono negro después de la temporada de lluvias.

¿Qué implica más carbono negro en los glaciares? Sin duda, la disminución de la reflectividad de la luz solar y, por ende, el aumento de la absorción de la radiación solar que se produce como resultado del oscurecimiento de la nieve, al

que se denomina «mecanismo de forzamiento radiactivo positivo», ya que involucra el calentamiento y la pérdida acelerada de la nieve. Además, debemos entender que parte del hollín que producimos en los valles llegará a depositarse sobre los glaciares, los cuales oscurecerá y derretirá con más rapidez.

«El muestreo durante el periodo de un año hidrológico muestra que el glaciar Shallap presenta aproximadamente el doble de carbono negro. Sin embargo, durante los incendios forestales en los meses octubre y noviembre de 2016, ambos glaciares presentaron elevadas y similares cantidades de carbono negro».

Entonces, ¿qué podemos hacer? En lo posible, evitar los incendios forestales, la quema de residuos agrícolas y la quema de pastizales; asimismo, se deben mejorar las cocinas rurales que utilizan biomasa. En el sector transporte, se deben realizar, con regularidad, el mantenimiento de motores y la supervisión de la calidad de los combustibles; igualmente, es preciso adaptarse a nuevas tecnologías para minimizar las emisiones de carbono negro en el sector industrial.

Las partículas absorbentes de luz (LAP, por sus siglas en inglés) pueden tener un impacto significativo en el albedo de la

nieve (porcentaje de radiación que una superficie refleja respecto a la radiación que recibe). Las LAP absorben la radiación solar que calienta la nieve circundante, lo que aumenta las tasas de fusión o sublimación. Un artículo surgido a partir del proyecto y publicado en agosto 2019 en The Cryosphere (European Geosciences Union) arroja que las LAP concentradas en la superficie de la nieve pueden afectar sustancialmente el albedo y las estrategias típicas de muestreo; en consecuencia, los protocolos de reporte pueden conducir a estimaciones altamente erróneas del albedo.

Los cálculos teóricos y las mediciones muestran que la reducción en el albedo debido a las LAP puede ser el doble de fuerte cuando las partículas se concentran en la superficie en lugar de mezclarse dentro de la capa delgada superior de nieve. Las estrategias actuales de muestreo comúnmente utilizadas no son suficientes para determinar la información necesaria para evaluar el impacto de las LAP de superficie en el albedo de la capa de nieve.

Para facilitar estimaciones de albedo más precisas, se propone una nueva estrategia de muestreo para caracterizar mejor la distribución de las LAP en y sobre acumulaciones de nieve. Los cálculos teóricos y las mediciones experimentales muestran que el albedo de la capa de nieve puede caracterizarse mucho mejor cuando se utiliza la estrategia de muestreo sugerida para determinar la distribución de las LAP presentes.

Nota tomada de: «El carbono negro y la extinción de los glaciares», INAIGEM; y de «The measurement and impact of light absorbing particles on snow surfaces», en The Cryosphere.

Para más información del proyecto, puede comunicarse con su coordinador Wilmer Sánchez Rodríguez (wilmersr.acsp@gmail.com)

Científicos usaron biotecnología para hacer a la quinua resistente a las heladas

Ante el riesgo por heladas, científicos plantean alternativa biotecnológica. Investigadores utilizan microorganismos benéficos tolerantes al frío.

El Perú es uno de los mayores exportadores de quinua en el mundo y su cultivo ha mejorado la situación económica de muchos agricultores. Sin embargo, las heladas en el altiplano son una amenaza constante para este cultivo, sobre todo cuando estos eventos climáticos se fortalecen año a año debido al cambio climático.

Pero, ¿por qué sufre la quinua con el frío? La temperatura muy baja genera condiciones de estrés en las plantas, lo que ocasiona que estas entren en shock térmico y puedan decaer o morir. Todas las plantas expresan ciertos genes en condiciones normales. Cuando se presenta alguna condición de estrés —ya sea frío, calor, falta de nutrientes, etcétera—, la expresión de los genes cambia y se activan o desactivan ciertos sistemas que permiten que la planta pueda sobrevivir a estas condiciones.

Por ello, un reto para los investigadores en el Perú ha sido encontrar, desde la ciencia y la tecnología, las mejores posibilidades para enfrentar el riesgo de disminución de la producción de quinua debido a las heladas. Es así que desde 2015, y gracias al financiamiento del FONDECYT, un equipo de científicos peruanos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, el Institu-

to de Biociencia y Birrecursos (CRN) y la Universidad Nacional Mayor de San Marcos ha estado trabajando en un proyecto que busca hacer que este grano nativo de los Andes sea tolerante a las heladas.

«La investigación permitirá un mejor conocimiento de la interacción entre la planta de la quinua y ciertos microorganismos criotolerantes. Se podrían utilizar estas interacciones para mejorar la productividad del cultivo de manera sostenible y sin impactos en el medio ambiente», señala la doctora Doris Zúñiga quien, junto a la bióloga Katty Ogata Gutiérrez, son las dos investigadoras principales de este proyecto.

Uno de los objetivos de este proyecto fue llegar a entender las reacciones de la planta y las de los microorganismos que se asocian a ella en condiciones de frío. «Queremos identificar los compuestos que la planta produce para protegerse del frío y ver si tienen alguna relación con los microorganismos asociados», indica la doctora Zúñiga.

En otras palabras, se le inocula una bacteria a la quinua, se somete a la planta a bajas temperaturas y los científicos estudian cómo esta responde en esta interacción con la bacteria, a partir de la hipótesis de que la quinua reproducirá los

mecanismos de protección contra el frío de la bacteria. En efecto, el incremento del rendimiento agrícola en estas zonas generará, a su vez, un aumento en los ingresos de la canasta familiar de los productores, así como un crecimiento en las exportaciones.

Cabe resaltar que este estudio fue escogido como uno de los de mayor expectativa entre los impulsados y seguidos por el Programa Nacional Transversal de Biotecnología del CONCYTEC, ya que responde a una línea de investigación prioritaria para el desarrollo del país, que es el mejoramiento animal y vegetal.

«Si podemos entender bien la relación planta-microorganismo, podríamos usar a los microorganismos como herramientas económicas que permitan proteger la producción de quinua en zonas con heladas», sostiene la bióloga Ogata.

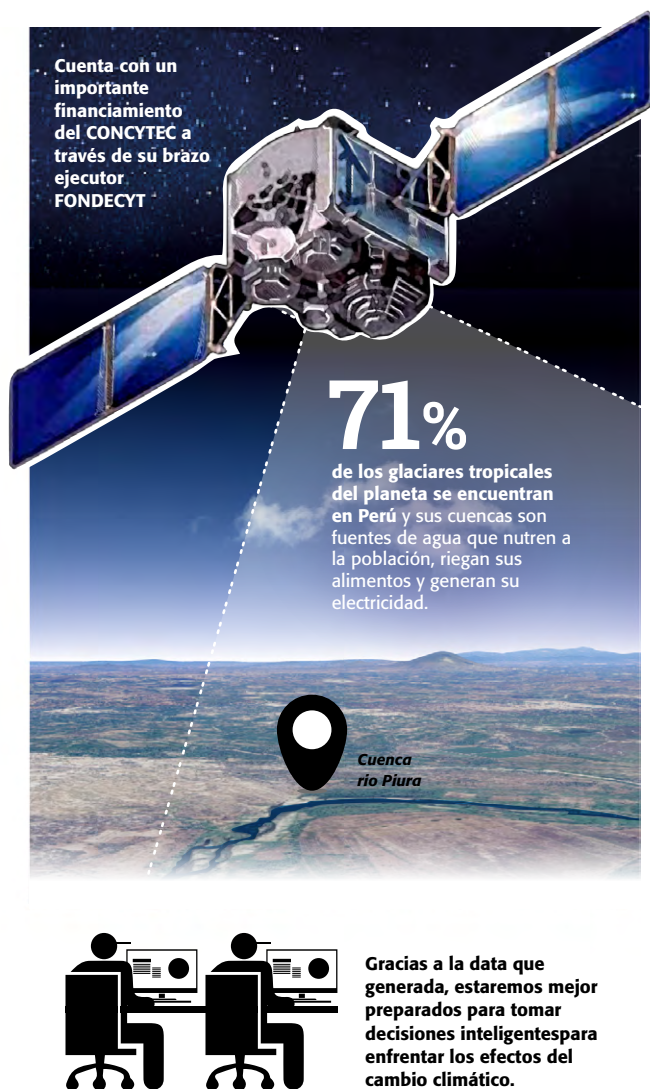
La doctora Zúñiga señala que, si bien la etapa de investigación en campo ya fue agotada en el desarrollo del proyecto, las investigaciones continúan en laboratorio, donde se podrá conocer más sobre estas interacciones y dar una propuesta que pueda ser objeto de transferencia a los agricultores de la zona; esto es, ciencia aplicable a la mejora efectiva de sus cultivos.

Nota tomada de: «Impulsando el futuro», FONDECYT / CONCYTEC.

Para más información del proyecto, puede comunicarse con su coordinadora Dra. Doris Zúñiga

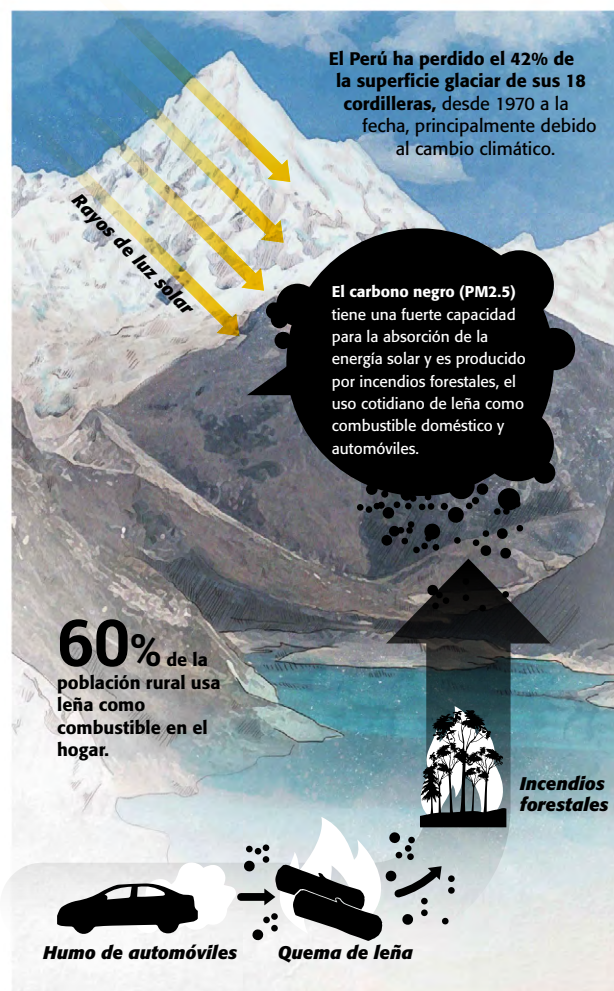
INVESTIGACIÓN EN MARCHA

Existen una serie de proyectos científicos en desarrollo orientados a mitigar las consecuencias del cambio climático en el Perú. Todos ellos cuentan con profesionales de primer nivel preocupados por ser generadores de cambio desde la ciencia y la tecnología.



SATÉLITES ANTE CAMBIO CLIMÁTICO

El proyecto de investigación **Fortaleciendo la resiliencia de cabeceras de cuenca andinas para afrontar el cambio climático global busca identificar situaciones que afectan las cuencas.** Usando imágenes satelitales se identifican y delimitan las zonas activas de las cabeceras y su evolución.



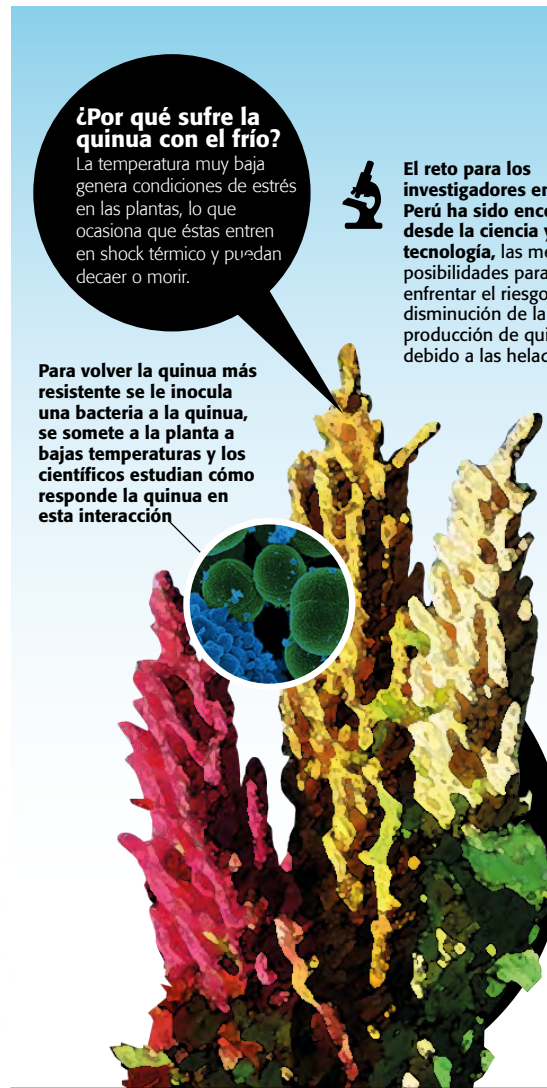
BATALLA CONTRA EL CARBONO NEGRO

En estas últimas décadas la actividad humana ha incrementado las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido entre otros, al uso de combustibles fósiles, los incendios forestales, la quema de residuos agrícolas, el uso de biomasa (madera) para cocinar y ciertas actividades industriales, todo ello provocando la aparición de partículas de carbón negro: el enemigo casi imperceptible de nuestros glaciares.



VIVIENDAS PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO

¿Cómo construir viviendas a gran escala de manera más inteligente? Lo ideal es tomar en cuenta todos los factores externos e internos de una vivienda para lograr el diseño más útil, y el más eficiente y eficaz uso de energía y agua. ¿Cómo lograr esto al más bajo costo, con la mayor efectividad y seguridad? Un grupo de científicos peruanos ha trabajado en ello.



QUINUA RESISTENTE A LAS HELADAS

Ante riesgo por heladas científicos plantean alternativa biotecnológica. Investigadores utilizan microorganismos benéficos tolerantes al frío para mejorar la productividad del cultivo de quinua de manera sostenible y sin impactos en el medio ambiente.

5



FRONTERAS DE LA CIENCIA

«Cada vez que damos un paso adelante en el conocimiento, damos un paso adelante para la humanidad y para la vida cotidiana»

Entrevista a Reina Camacho

¿Cuál fue su primer contacto con la física? ¿Qué factores influyeron en su decisión de elegir esta ciencia como profesión?

Mi primer contacto con la física como disciplina fue en la escuela secundaria. Tener profesores apasionados por la ciencia fue un factor decisivo en mi caso para escogerla como carrera. Pero, más allá de eso, creo que es importante desarrollar el pensamiento crítico y no coartar la curiosidad de las niñas y los niños desde una edad temprana, tanto en la escuela como en la casa.

Recuerdo que las clases de ciencia en la escuela eran poco estimulantes porque carecían de métodos que atrajeran a los alumnos. ¿Cree usted que la enseñanza de las ciencias en las escuelas influye en la poca motivación que tienen los estudiantes respecto a estos temas?

Prefiero no generalizar. Lo que sí puedo decir es que, en mi opinión, existen tres valores fundamentales que deben fomentarse si queremos motivar a los estudiantes en los cursos de ciencia: curiosidad para entender cómo funciona el mundo a nuestro alrededor, creatividad para probar nuevas ideas y resolver los problemas que nos rodean, y perseverancia para seguir mejorando y desarrollando nuestras ideas.

En nuestras comunidades latinoamericanas muchas veces los recursos son limitados, pero la era del internet nos permite ingresar a una gran cantidad de recursos online para mejorar las clases, los cuales pueden ser adaptados a los currículos nacionales.

Esta revista busca hacer más accesible el conocimiento científico para el público no especializado. Uno de los desafíos que enfrentamos es lograr explicar sencillamente los conceptos de la ciencia. Desde su experiencia, ¿existen formas de explicar con facilidad a los estudiantes las definiciones de la mecánica cuántica, por ejemplo?

Sí, existen formas de explicar conceptos de física moderna a estudiantes de bachillerato o secundaria desde un punto de vista conceptual. Este punto es importante porque, en la mayoría de sistemas educativos, el programa de física en secundaria llega hasta la física clásica; esto es mecánica clásica, electricidad y magnetismo. No se discuten temas de actualidad y nuestro conocimiento del mundo ha avanzado muchísimo luego del 1900! Por supuesto, hay que tener cuidado de no banalizar los conceptos ni los desarrollos científicos; para ser un científico hay que dominar el lenguaje de las matemáticas y estar entrenado a un nivel bastante alto.

Pero, si se aplica la explicación conceptual, la ciencia puede ser explicada incluso a niñas y niños desde una edad muy temprana.

Para mí, la educación y la divulgación científica son muy importantes no solo para comunicar nuestro trabajo sino también para incrementar la diversidad en el campo científico y atraer a más mujeres a este ámbito.

¿Cuál es el camino que debe seguir un joven científico latinoamericano para ser parte del CERN?

No hay un camino establecido, cada historia de colegas latinoamericanos tiene sus propios matices. A manera general, diría que el primer paso es ir a la universidad y estudiar física o ingeniería. En este nivel, el CERN ofrece programas de verano anuales. Muchos de mis colegas han hecho su maestría y doctorado en instituciones latinoamericanas que participan en experimentos en el CERN en Colombia, Argentina, Chile, el Perú y Brasil.

Parte del esfuerzo del programa «Física Sin Fronteras» del Centro Internacional de Física Teórica (ICTP, por sus siglas en inglés) y del Centro Virtual de Altos Estudios de Altas Energías (CEVALE2VE) es justamente dar a conocer las diversas oportunidades de estudios y pasantías que existen en el área de la física de partículas. Motivación, constancia y networking son fundamentales



La entrevistada, Reina Camacho, en la sede del CERN.

para quienes quieran seguir una carrera en ciencias en el siglo XXI.

Este año empieza el proyecto Alianza Latinoamericana para el desarrollo de capacidades en física avanzada (LA-CoNGA Physics, por sus siglas en inglés) que desarrollará un programa de maestría semivirtual en el área de física experimental de partículas. El programa es financiado por la Unión Europea y en él participan ocho instituciones latinoamericanas en Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú (Universidad Nacional Mayor de San Marcos y la Universidad Nacional de Ingeniería). Es un programa que busca fortalecer los lazos entre las instituciones y crear redes virtuales de enseñanza e investigación.

¿Tiene algún libro de física favorito?

Tengo varios libros técnicos pero para el propósito divulgativo de la revista puedo decir que mis favoritos son *Una breve historia del tiempo*, de Steven Hawking, y las lecturas de física escritas por Richard Feynman, un gran científico y divulgador científico.

¿Las bibliotecas de su país contribuyeron a su formación científica?

¿De qué manera lo hicieron?

Sin duda alguna. Estos espacios han sido importantes para mí desde

mi niñez. Cuando era niña, mis padres trabajaban jornada completa y la oficina de mi madre quedaba al frente de la biblioteca Luis Fadul Hernández, en Barinas, Venezuela. Por esta razón, durante la primaria, luego de clases, pasaba la tarde en la biblioteca hasta que mi madre salía del trabajo; allí hacía mis tareas y creo que leí cada libro en la sección infantil. Además, mis trabajos de verano eran como ayudante de los planes vacacionales infantiles de la biblioteca. Luego, durante mi época universitaria, y aún hoy en día, siguen siendo espacios que visito con frecuencia. Me encanta visitar las bibliotecas nacionales y tengo una debilidad por los libros impresos, aun cuando hago un uso exagerado de mi computadora y del Kindle.

La actividad científica requiere mucha dedicación. ¿Encuentra usted tiempo para cultivar pasatiempos o proyectos personales?

Para mí es sumamente importante lograr un equilibrio entre el trabajo y mi vida personal, aunque hay épocas en el trabajo en que no es posible, sobre todo al final de un proyecto. Trato, en lo posible, de encontrar el tiempo para mis pasatiempos favoritos. Me gustan mucho las actividades al aire libre, en particular en la montaña. Además ¡muchas veces

la inspiración se encuentra precisamente lejos de la oficina!

El premio nobel de física Kip Thorne colaboró en los aspectos científicos de la película *Interstellar* y el nobel de química Joachim Frank es autor de varias obras de ciencia ficción. ¿Hay una relación fructífera entre la ficción y la ciencia?

Creo que existe una relación interesante entre ciencia y ciencia ficción. Muchos científicos e ingenieros reconocen que la ciencia ficción ayudó a despertar su imaginación respecto de lo que era posible hacer en la ciencia. Por ejemplo, muchos de mis colegas me han comentado que su interés en ciencia empezó con películas como *Star Trek* y *Star Wars*. De otro lado, los autores de ciencia ficción se inspiran en las posibilidades científicas futuras.

¿Cuál cree que es el efecto que tiene en nuestras vidas y en la sociedad el estudio que se realiza con el experimento ATLAS?

En primer lugar, mejora nuestro conocimiento sobre el mundo que nos rodea. Somos seres curiosos por naturaleza. El descubrimiento del bosón de Higgs, por ejemplo, es clave para entender cómo las partículas fundamentales que componen la

materia adquieren su masa; sin eso la vida en la tierra no sería posible. Aún hay tantas cosas que no entendemos de nuestro universo: qué es la materia oscura, la relación entre la gravedad y otras fuerzas de la naturaleza. Es difícil predecir cuál será el próximo descubrimiento dentro del CERN, así que nuestros experimentos tratan de explorar un espectro amplio de posibilidades.

Por otro lado, para lograr nuestros objetivos científicos necesitamos desarrollar nuevas herramientas como el acelerador de alta tecnología y los detectores. Estas tecnologías se transfieren a la sociedad. Los ejemplos de innovaciones que el CERN ha transferido a la sociedad abarcan desde la World Wide Web hasta los aceleradores que se usan hoy en día para tratar tumores, para diseñar instrumentación médica y muchos otros.

De manera más general, cada vez que damos un paso adelante en el conocimiento, tarde o temprano este tiene un impacto en el progreso. Algunos ejemplos famosos que podemos citar son la mecánica cuántica y la relatividad general. Estas dos teorías parecen ser abstractas y alejadas de la vida cotidiana, pero sin la mecánica cuántica no habría transistores, por lo tanto nuestras vidas sería muy diferentes, y sin relatividad general nuestros instrumentos GPS no funcionarían. Entonces, cada vez que damos un paso adelante en el conocimiento, siempre hay un paso adelante para la humanidad y para la vida cotidiana.

¿Cómo se realizan el almacenamiento, el procesamiento y la distribución de datos en el experimento ATLAS?

Actualmente, cada segundo se producen seiscientos millones de colisiones de partículas. Las partículas chocan a altas energías dentro del detector, a partir de lo cual

se crean nuevas partículas que se descomponen en formas complejas a medida que se mueven a través de capas de subdetectores. Los subdetectores registran el paso de cada partícula y los microprocesadores convierten los caminos y las energías de las partículas en señales eléctricas, combinando la información para crear un resumen digital la colisión. Todo este proceso genera unos 25GB por segundo en ATLAS. No tenemos la capacidad de procesamiento y almacenamiento para todos esos datos, así que se ha implementado un sistema de filtro de eventos que selecciona eventos interesantes y solo guarda alrededor de 200 colisiones por segundo (equivalente a un CD y medio de datos). Estos datos se guardan y se hacen disponibles para los físicos que pertenecen a la colaboración ATLAS en el mundo.

El procesamiento de esta montaña de datos se hace usando un sistema de cómputo global o distribuido llamado «Grid» que tiene computadoras en diversos países. En primer lugar, ejecuta algoritmos escritos por físicos para reducir el número de eventos y seleccionar aquellos considerados interesantes. El análisis puede centrarse en los datos más importantes, es decir, en los que podrían obtenerse nuevas mediciones físicas o descubrimientos.

¿Cómo es la vida de un investigador que trabaja en colaboración con otros científicos en el CERN? ¿Es el trabajo colaborativo masivo el futuro de la investigación científica?

Personalmente creo que hay dos palabras claves en el futuro de la ciencia en general: colaboración y multidisciplinariedad. Y por supuesto la física de partículas no escapa a esta tendencia. Ningún país solo puede construir y ejecutar un proyecto como el LHC. Tenemos que

compartir las instalaciones para optimizar los recursos humanos, tecnológicos y financieros.

En un experimento como ATLAS, que está constituido por tres mil quinientos científicos e ingenieros que vienen de ciento setenta y cinco instituciones alrededor del mundo, el ambiente es de colaboración pero también se mantiene un poco de competencia, que siempre es muy saludable y muy estimulante. Toma tiempo adaptarse al sistema pero se aprende mucho cada día de investigadores con más experiencia y también de los jóvenes estudiantes que empiezan su carrera científica. También es muy interesante, desde el punto de vista social, conocer nuevas culturas e idiomas. La diversidad enriquece mucho a la ciencia global del siglo XXI.

El conocido escándalo de Schön, el fraude en investigación sobre semiconductores, originó un debate sobre la rigurosidad en cuanto a la revisión por pares en las publicaciones científicas. ¿Cuáles son los filtros y controles para evaluar los resultados de las investigaciones en el experimento ATLAS?

En ATLAS (y otros experimentos dentro del CERN también) hay un proceso interno de discusión y evaluación de los resultados. El tamaño de los grupos de trabajo varía dependiendo del análisis. Durante el proceso, tanto los métodos como los resultados son sometidos a evaluación y cualquier miembro de la colaboración puede participar en la discusión. El proceso de evaluación puede durar varios meses. Una vez que los resultados son aprobados, se consideran públicos, son enviados a arXiv —un sistema público de archivos en línea muy usado

en el campo—, se presentan en conferencias y pueden (o no) ser enviados a publicaciones científicas en las cuales tiene lugar la revisión por pares.

¿Cuáles son los próximos retos del CERN? ¿Qué nuevos experimentos se desarrollarán? ¿Cómo ve la posibilidad de un colisionador de muones?

Mantener un programa científico diverso que nos permita explorar las incógnitas del universo. Son tan numerosas y difíciles estas preguntas que un solo enfoque no es suficiente. El LHC jugará un rol importante, bien sea que se hagan nuevos descubrimientos o no. Pero también ya se inician las discusiones sobre nuevos experimentos en las áreas de innovación y desarrollo de aceleradores y de futuros colisionadores de altas energías, incluidos CLIC, FCC en Europa y CEPC en China. Recuerden que el LHC requirió unos treinta años desde las primeras ideas hasta la primera operación, así que no es demasiado pronto para comenzar.

Por ahora estos proyectos se enfocan en colisiones de electrones y positrones o protones, que son partículas que sabemos manejar y que tienen un tipo de vida muy largo, así que podemos acelerarlas por días. También algunos hablan de la posibilidad de un colisionador de muones. Los muones permitirían lograr energías de colisión más altas; sin embargo, su tiempo de vida es muy corto, por lo que manejar un haz de muones es un gran reto experimental por el momento. Lo importante a estas alturas es explorar varias ideas para escoger la mejor desde el punto de vista científico, pero también desde el punto de vista práctico.

¿Qué piensa del desarrollo de la investigación científica en Latinoamérica? ¿La aplicación de la fórmula presupuesto más educación bastaría para fomentar el desarrollo científico en nuestra región?

Lo creo, pero tenemos que tener en cuenta que al hablar de educación no solo nos referimos a la educación universitaria. Esta debe iniciar en los niños, fomentando su curiosidad, y terminar con los adultos. En general, vivimos en una cultura que no conoce o aprecia el valor de la ciencia e innovación tecnológica, y eso no es solo en Latinoamérica; también se ve en menor escala en otras latitudes.

Decía Bertrand Russell: «Encuentro poca satisfacción al contemplar la raza humana y sus locuras. Soy más feliz pensando en la Nebulosa de Andrómeda que pensando en Gengis Kan». Siguiendo esta premisa, ¿es usted feliz en el mundo de la física porque encuentra «poca satisfacción al contemplar la raza humana y sus locuras»?

No es mi caso ni el de muchos de mis colegas. Hay que quitarnos de la cabeza el estereotipo del científico aislado y extraño, encerrado en su laboratorio. Los proyectos científicos actuales son cada vez más sociales.

El Proyecto Manhattan, con sus grandes descubrimientos y terribles consecuencias, fue tal vez el mayor emprendimiento de colaboración científica previo a la creación del CERN. ¿Cuál es la responsabilidad moral de un científico que trabaja en un proyecto colaborativo? ¿Puede abstraerse de las consecuencias de su investigación?

El científico debe estar conectado con las implicaciones sociales y económicas de sus investigaciones. Actualmente la ética es un punto importante de discusión en proyectos

relacionados con genética, desarrollo de automóviles sin conductor e inteligencia artificial.

Sabemos que a muchos físicos no les gusta el término «partícula de Dios» para hablar del bosón de Higgs. ¿Cuál es su posición como científica respecto a Dios? ¿Cree usted que la idea de dios es contraria a la ciencia?

La física y la religión no son incompatibles, en el sentido de que la física no va a demostrar que Dios existe ni tampoco que no existe. La religión está en el plano personal y cultural y por eso existen científicos creyentes y no creyentes. Respecto al término «partícula de Dios», este tiene su origen en una mala traducción. Originalmente el ganador del Premio Nobel de Física Leon Lederman quería publicar un libro en 1990 sobre el bosón de Higgs llamado *The Goddamn Particle* (la partícula maldita), en alusión a lo difícil que era encontrarla, proceso que tomó cerca de cincuenta años y al más potente acelerador de partículas jamás creado para encontrarla, el LHC. Sin embargo, los editores no estaban contentos con este título, así que lo cambiaron a *The God Particle* (la partícula de Dios).

El poeta Keats decía que Newton había destruido la poesía del arcoíris al reducirla a los colores del prisma. ¿Qué le respondería usted?

El conocimiento y las artes son características que nos distinguen de los animales. En ambas disciplinas usamos lenguajes distintos para explicar lo que vemos en la naturaleza. Yo particularmente encuentro arte dentro de la ciencia y hay muchos ejemplos de colaboraciones exitosas entre físicos de partículas y artistas que vale la pena conocer y valorar.



6

CIENCIA SOBRE PAPEL

Mariano Eduardo de Rivero y Ustáriz: Evocaciones

Martín López

Las ciencias naturales son de primera necesidad en el Perú, atendidos los frutos que él ofrece, y han sido las más olvidadas. No presentando giro ni premio, casi nadie las ha cultivado: así todo lo que depende de ellas, o se ha dejado de hacer, o se ha practicado por un ciego empirismo¹.

Hipólito Unanue, autor de la cita que encabeza este texto, vislumbraba la riqueza potencial que significaban los ingentes, y para la época casi desconocidos o subexplotados, recursos naturales del país. Solo a través de la aplicación práctica de las ciencias se alcanzaría el pleno desarrollo de la minería y la agricultura, lo que a su vez propiciaría el auge del comercio y la industria; en suma, el progreso del país. Unanue hablaba con la autoridad del científico polifacético que se iniciaba en el conocimiento de su patria a través del ejercicio de la medicina, la botánica, la enseñanza universitaria y la historia, y que más tarde desarrollaría una exitosa carrera como estadista.

El vacío advertido por Unanue en el desarrollo de las ciencias por el desinterés hacia ellas y la falta de estímulos cuando el Perú todavía se encontraba bajo dominio español fue cubierto en parte, alcanzada la independencia, por otro joven científico: Mariano Eduardo Rivero y Ustáriz. En este ensayo abordaremos los aspectos más sobresalientes de la trayectoria de Rivero, destacando su paso

por el Museo Nacional, la gestación de su obra culmen *Antigüedades peruanas* y algunos rasgos de su personalidad.

La génesis de un sabio

Durante su niñez en el seno de una acomodada familia arequipeña, Rivero alcanzó una sólida formación en latín y filosofía en el Seminario de San Jerónimo. Aun en edad escolar fue enviado a Europa a profundizar sus estudios y acudió a reputados centros de enseñanza de Londres y París. Eminentes científicos de la época como Georges Cuvier (el primero en clasificar a los animales según su morfología), Alexandre Brongniart (recordado por sus estudios sobre los fósiles de trilobite) y Louis Joseph Gay-Lussac (célebre por sus principios sobre los gases) fueron algunos de sus profesores. Mientras que en Inglaterra mostró preferencias por la Química, en Francia se especializó en Mineralogía. En Alemania realizó varios estudios relacionados con la Metalurgia. Un nuevo mineral por entonces descubierto por August Breithaupt, denominado provisionalmente como *resina*

de hierro, fue analizado y descrito por él, proponiendo renombrarlo como *Humboldtina* en homenaje al científico que había estudiado y recorrido América, en un informe a la Academia de Ciencias del Instituto de Francia en 1821. Recorrió España realizando diversos estudios geológicos y mineralógicos, especialmente sobre los yacimientos de magnesita de Vallecas. Para 1822 era un reputado científico.

Ese mismo año retorna a América a instancias del ministro gran colombiano en Europa Francisco Antonio Zea. Destacado botánico en su patria, Zea gestionó la contratación de Rivero a la cabeza de un equipo de condiscípulos y amigos con la finalidad de reactivar la minería en la región con la creación de una escuela de minas y otras instituciones². Dicho equipo realizó varios viajes de exploración en Colombia y Venezuela³, complementados con estudios meteorológicos, barométricos, geológicos y botánicos. Rivero llegó a ser muy estimado por el mismo Simón Bolívar. Además de fundar la Escuela de Minas, en 1823 organizó el Museo de Histo-

¹ Hipólito Unanue, *Decadencia y restauración del Perú*.

² Las obligaciones y responsabilidades de Rivero y la remuneración acordada, mucho más alta que la de cualquier otro miembro de la misión así lo confirman. Véase Vezga (1936, p. 178).

³ Sobre sus trabajos en Venezuela véase Urbani (1992).



Figura 1. Lámina IV del atlas de Antigüedades peruanas (1851): Momia cubierta en su parte inferior por un manto de algodón. De la colección del antiguo Museo Nacional.

ria Natural de Colombia, siendo su director desde 1824. La disolución de la Gran Colombia en 1830 y el desinterés del Estado determinaron el fin de estas instituciones.

Los recursos naturales del Perú

Fueron reiterados sus llamados al Estado peruano para aprovechar convenientemente sus recursos naturales. En 1827 Rivero escribe sus *Memorias sobre el guano de*

pájaros del Perú donde además de ensayar un recuento de los antecedentes de su uso como abono y los estudios practicados para establecer su composición (cuando todavía se discutía si era de origen mineral o animal), advierte la necesidad de la intervención del Estado para tomar «medidas en favor de la reproducción de este abono, castigando severamente a los que ahuyentan los pájaros de las islas». Si bien al poco tiempo el

Estado declara libre su extracción como incentivo a la agricultura, su explotación sufrió un cambio radical al convertirse desde 1840 en el principal producto de exportación a Europa y de ingresos del Perú a lo largo de una época de auge económico conocida como la «era del guano». Paradójicamente, Rivero también dio a conocer en Europa en 1821 el nitrato de sosa o salitre de Tarapacá, riqueza que se perdería de-

bido a la guerra con Chile. Otro recurso que Rivero consideró tan valioso como el guano y el salitre fue la lana de alpaca y de vicuña por lo que propuso el lanificio de los camélidos andinos como una alternativa generadora de riqueza frente al eventual agotamiento de los otros recursos.

Como Director General de Minería se concentró en aplicar los conocimientos y experiencias obtenidos en Europa y estudió con detalle la problemática que aquejaba a la actividad minera en Pasco (por ese entonces parte de Junín), Huancavelica y Puno. Trascendiendo a sus funciones, ensayó un *Diccionario de las principales voces técnicas de la mineralogía peruana* de más de doscientas voces, varias de origen quechua, recogidas durante sus visitas de campo, la revisión de la documentación de la Dirección de Minería, y un trabajo similar publicado anteriormente en el *Mercurio Peruano* de 1791 (Alcalde, 1954: 126).

La gestación del Museo Nacional

Desde la Conquista, los restos monumentales de las antiguas culturas o *huacas* habían sido saqueados y destruidos para satisfacer primero el ansia del oro de los invasores (Unanue, 1791:203), y con el tiempo, la curiosidad y demanda de un incipiente mercado de coleccionistas.

Si bien el coleccionismo de antigüedades existió desde tiempo atrás, cobró más fuerza en Europa desde el Renacimiento italiano, cuando varias excavaciones revelaron la existencia de copias romanas de estatuas griegas del periodo clásico, y se intensificó con los viajes de exploración que

revelaron territorios inexplorados, civilizaciones desconocidas para el mundo occidental y nuevas especies. El interés por los textos clásicos, especialmente las epopeyas también motivó la búsqueda de los lugares que habían sido el teatro de las aventuras de sus protagonistas. Esta fiebre por lo exótico y lo antiguo dio origen a los «gabinetes de curiosidades o antigüedades», embriones de los modernos museos de arte y de historia natural. El coleccionismo y luego la Ilustración impulsaron más tarde el desarrollo de la Arqueología y de la Museología.

Tardíamente en relación a dicho contexto se produce la fundación del Museo Nacional del Perú. En la primera página de la *Gaceta del Gobierno* de 2 de marzo de 1822 se invocaba el concurso del público para enriquecer «tanto la Biblioteca como el Museo Nacional, cuyo establecimiento ha emprendido el gobierno con la eficacia que a todos consta, y con intenciones que no pueden frustrarse, si todos coadyuvan a ellas en la parte que les toca». Días después, el 16 de marzo de 1822, se reafirmaba la intención del gobierno de «establecer un museo nacional en el mismo edificio destinado a la biblioteca», reiterando la convocatoria a la ciudadanía para contribuir a su formación proporcionando objetos pertenecientes a «los tres reinos de la naturaleza» y restos del imperio de los Incas, así como «pinturas clásicas, estatuas o bustos y colecciones de monedas»; se infiere que la concepción del Museo respondía a los cánones de un gabinete de curiosidades. El 2 de abril de 1822 se emite un Decreto que prohibía «la extrac-

ción de piedras minerales, obras antiguas de alfarería, tejidos y demás objetos que se encuentren en las huacas», mencionándose nuevamente al proyectado Museo como destino de las piezas incautadas. En la *Guía de Forasteros*, elaborada entre fines de mayo y primeros días de noviembre de 1822, se volvía a anunciar que la «Biblioteca y Museo Nacional se organiza a la mayor brevedad en la casa donde estaba antes situado el Colegio de la Libertad» (Paredes, 1822: 36). No obstante, el Museo no llegó a establecerse en el edificio de la Biblioteca Nacional, donde al parecer los objetos que lograron acopiarse permanecieron en custodia provisional (Vargas, 2009: 45). Por decreto de 2 de diciembre de 1825 el Consejo de Gobierno presidido por Unanue cede parte del local de la Inquisición para una sociedad filarmónica y para establecer un Museo de Pintura, lo cual tampoco se concretó.

Razones familiares y comerciales (había sido comisionado por una compañía inglesa para la localización de minas) determinaron el retorno de Rivero al Perú a fines de 1825. En mérito a su experiencia en Colombia fue designado como director general de Minería, Agricultura y Museo⁴, a lo que se sumó la dirección de Instrucción Pública⁵. El Museo Nacional pudo establecerse entonces en «la sala de enjuiciamientos del tribunal inquisitorial» (Núñez, 1973: 332). En la Inquisición funcionó además el despacho de la Dirección General de Minería (Ayllón, 2015: 37). Aunque concebido por Rivero como un Museo de Historia Natural semejante al fundado en Colombia, su deno-

⁴ Aviso oficial inserto en la *Gaceta del gobierno* de 29 de marzo de 1826, p. 4.

⁵ Resolución suprema de 2 de mayo de 1826.

minación varió frecuentemente a través del tiempo.

Su colección estuvo inicialmente integrada por «antigüedades peruanas»: cuatro momias (Tristán, 2003: 484) ubicadas en cada esquina de la sala en cajas de vidrio (Núñez, 1973: 331-332), huacos, vasos, etc.; conchas, y una colección ornitológica, objetos tal vez provenientes del Museo de Antigüedades y el de Historia Natural que habían dejado los jesuitas en el local del Colegio Máximo de San Pablo (Núñez, 1971: 52), a lo que se añadió entre 1834-1836 una colección de retratos de virreyes y gobernadores provenientes del Palacio de Gobierno (Vivero, 1909: 6). También había una importante colección mineralógica que fue incrementada principalmente por el mismo Rivero (Ayllón, 2015: 36) durante sus viajes a provincias, teniendo oportunidad además de realizar excavaciones que tuvieron como objeto incrementar la sección de «antigüedades», como sucedió en Chavín donde se obtuvieron algunos vasos ceremoniales. Rivero se sirvió de varias piezas del Museo para sus estudios y reprodujo algunas en su célebre obra *Antigüedades peruanas*.

Rivero poco pudo hacer por el Museo debido a su escaso presupuesto, a lo que se sumó su breve permanencia en el cargo, pues fue despedido en 1829 y tuvo que exiliarse en Chile a raíz del golpe de Estado de Antonio Gutiérrez de la Fuente. No obstante, Rivero volvería a ejercer intermitentemente el cargo de director del Museo después de su regreso al Perú en 1832, aunque las penurias económicas y la indiferencia del gobierno proseguían como

lo advirtió Flora Tristán a su paso por Lima en 1834: «El señor de Rivero, hombre instruido que ha vivido en Francia, es el fundador de este Museo. Hace todo cuanto puede por enriquecerlo, pero no se ve secundado por nadie. La República no concede fondos para este objeto y sus esfuerzos no tienen éxito alguno» (2003: 484). Rivero permaneció al frente del Museo hasta 1836, para retornar nuevamente en 1840. Después de él, el Museo continuó sometido al mismo estado de abandono por parte del Estado como lo atestiguaron viajeros como Tschudi, Markham y Scherzer, por citar algunos.

El Museo sería trasladado a otros ambientes (Tschudi, 1847:81), encontrándose ya en la capilla de la Inquisición cuando por Decreto de 3 de junio de 1836 se dispuso su traslado al solar donde tuviera su sede el Hospital del Espíritu Santo en la calle del mismo nombre. Años más tarde, por decreto de 16 de abril de 1839 se ordena el traslado del Museo al local de la Biblioteca Nacional, lo que se hizo efectivo en 1840 (Carrasco, 1846: 48), pasando a ocupar dos salones «en el ala izquierda» (Tschudi, 1847: 81). Luego fue transferido a la Sociedad de Bellas Artes fundada en 1871. Reubicado en el Palacio de la Exposición por decreto de 17 de mayo de 1872, sufrió el saqueo de casi la totalidad de su colección durante la ocupación chilena de Lima en la guerra del Pacífico.

Cuando estuvo al frente del Museo, Rivero propuso además la formación del Ateneo Peruano en uno de los salones de la Inquisición⁶, como órgano académico de investigación y difusión de la

cultura que estaría integrado por una treintena de especialistas en diversas ramas, iniciativa que fue aprobada en junio de 1826. En 1828 funda la Escuela de Minas de Lima, proyecto que al igual que el Ateneo no sobrevivió al final de la influencia bolivariana en el Perú (Deustua, 2017: 58). También se dio tiempo para editar con su propio peculio (junto con su amigo el subdirector del Museo y naturalista arequipeño Nicolás de Piérola, futuro padre del presidente del mismo nombre y director del Museo entre 1845 y 1851) el *Memorial de Ciencias Naturales y de industria nacional y extranjera* «primer periódico científico fundado, editado y escrito por peruanos» (Alcalde, 1954: 85), que lamentablemente tuvo una corta existencia (1827-1828) por falta de apoyo gubernamental.

Antigüedades peruanas

Uno de los tópicos más utilizados por los patriotas durante la Independencia fue la reivindicación del pasado imperial incaico que se estimaba grandioso. Sin contar los estudios sobre el quechua, justificados en gran medida por las dificultades inherentes a la evangelización de los naturales y la conquista de los nuevos territorios, el conocimiento sobre aquel periodo devino escaso y nebuloso, como ya se advertía en las primeras páginas del *Mercurio Peruano* de 1791⁷. Crónicas ahora tan conocidas como las de Felipe Guamán Poma de Ayala (*Nueva Crónica y buen gobierno*) o Bernabé Cobo (*Historia del nuevo mundo*) no serían conocidas sino varios siglos después de redactadas. La iconografía fantasiosa de los primeros libros donde se na-

⁶ El detalle de los inventarios de la colección del museo en Tello, J. C., y Mejía, T. (1967).

⁷ En 1998 el Fondo Editorial de la Cámara de Comercio e Industria de Arequipa publicó una edición facsimilar al parecer de tiraje limitado.

rraba la conquista (por ejemplo los célebres grabados de Theodore de Bry) contribuyó a popularizar en Europa una imagen distorsionada sobre las antiguas civilizaciones americanas.

Con el artículo *Idea general de los monumentos del antiguo Perú* publicado por Unanue bajo el seudónimo de *Aristio* (1791) se intenta despertar el interés por el estudio y la comprensión del período anterior a la conquista ibérica. La gran variedad de notas que tomó Alexander von Humboldt a su paso por el Perú en 1802 incluían observaciones sobre sitios arqueológicos. Si a esto añadimos que Humboldt adquirió los doce tomos del *Mercurio peruano*, es probable que durante las conversaciones que sostuviera el sabio alemán con Rivero en París naciera en este último «el deseo de buscar las huellas de ese pasado incaico que los patriotas exaltaban en sus afanes independentistas» (Alape-rriine-Bouyer, 1999: 21).

No está probado que Rivero hacia el final de su estadía en Colombia haya participado en la exploración que ejecutó «la copia y mensura» de las estatuas y mesas de piedra del conjunto arqueológico de San Agustín emprendida por el sacerdote aficionado a la botánica Juan María Céspedes y el pintor botánico Francisco Javier Matiz (Sánchez, 2013: 356) como así lo afirmara Vezga en 1860 (1936: 183), o que haya estado ahí en su ruta de regreso al Perú. Sin embargo, Rivero había tenido el pensamiento de «publicar una obrita sobre los monumentos de los Yndios antiguos de Cundinamarca» con la asistencia de Roulin. De haber concretado su idea y ampliado sus investiga-

ciones, Rivero sería considerado hoy como el primero en estudiar científicamente las estatuas megalíticas de San Agustín⁸. Rivero alcanzó a publicar las primeras reproducciones que se conocen de estas estatuas (Sánchez, 2013, p. 355) y otros restos de origen colombiano en el atlas de *Antigüedades peruanas* de 1851 (estatuas encima de la cornisa de la Portada del Sol del frontispicio, láminas XXXIII fig. 3, XXXIX, XL, primera de la XLI, XLII, y LIII), existiendo la posibilidad de que se basara en los dibujos de Matiz, hoy perdidos.

A la vista de estos antecedentes es discutible la opinión de Raimondi de que el manejo frecuente de los objetos arqueológicos del Museo fue lo que despertó en Rivero «el deseo de hacer un estudio prolijo de las antigüedades del Perú» (1874: 32), si bien el desempeño de su cargo directoral pudo haber sido decisivo para concretarlo.

Rivero emprende sus primeros trabajos sobre el antiguo Perú a través de sendos artículos publicados en el *Memorial de Ciencias Naturales y de Industria* bajo el encabezamiento de *Antigüedades peruanas* (Alcalde, 1954:100); *Descripción de unos ídolos de plata, oro, barro; y Quipos*. Fueron la simiente de un trabajo más extenso publicado en 1841 y que, notablemente aumentado, concluyera en la edición en español de 1851 de Viena, consistente en un volumen de texto acompañado por un majestuoso atlas de 58 láminas. Esta edición se realizó en coautoría con el naturalista y filólogo suizo Johann Jakob von Tschudi, destacado peruanista. Sin mediar retribución económica, Tschudi colaboró activamente

en los textos y sus correcciones, e incluso, se encargó personalmente de la logística relativa a su edición, impresión y comercialización (Ugarte y Ugarte, 1965). A pesar de la crítica favorable, los vaivenes de la política europea, el idioma de la obra y la especialización del tema hicieron que en Europa su venta se espaciara hasta poco antes del fallecimiento de Rivero (Ugarte y Ugarte, 1965: [345] y 358). En el Perú corrió una suerte similar. Aun así, se tradujo al inglés (New York, 1853 a 1858) y al francés (París, 1859).

Varios años después, la crítica de ciertos sectores que refutaban algunos postulados de la obra obligó a Tschudi a especificar que se había limitado a la elaboración del segundo capítulo (sobre cráneos peruanos), el quinto capítulo (sobre el quechua), la supervisión de la ejecución de las láminas, la provisión de algunos objetos de su propia colección, y la supresión de aserciones e hipótesis sin sustento científico (Coloma, 1994: 64). Seguramente ofuscado por los ataques que recibió, declaró que su nombre figuró en la obra a despecho suyo. Kaulicke confirma la coautoría de Tschudi y más aún, concluye que respecto a la edición de *Antigüedades* de 1851 «le corresponde más a él [Tschudi] la autoría que a Rivero» (Kaulicke, 2008:179), basándose en las semejanzas halladas producto de la comparación de su texto con pasajes de *Peru. Reiseskizzen aus den Jahren 1838-1842* de Tschudi (Kaulicke, 2001: 86-91), aunque algunas de estas pudieron deberse a referencias textuales que Rivero vio por conveniente extractar de la obra de Tschudi que este mismo le proporcionara para

⁸ Se reconoce como descubridor de estos restos al ingeniero Agustín Codazzi que al mando de la Comisión Corográfica exploró San Agustín en 1857, y modernamente al alemán Konrad Theodore Preuss, quien la estudió entre 1913 y 1914.

la edición conjunta.

De cualquier forma, la obra cumbre de Rivero resultó siendo *Antigüedades*, no solo por su carácter de estudio pionero, la calidad de sus ilustraciones o su difusión en otras lenguas; sino por todos los años dedicados al paciente acopio de datos, el contraste de fuentes, la observación directa y el cuidado en la representación de sitios y piezas. Mérito considerable además, si se toman en cuenta los incontables peligros que suponía en aquella época la realización de viajes de exploración en zonas agrestes poco conocidas o vírgenes, aunado a la inestabilidad política del país; y por supuesto, los fuertes gastos que ello demandó a su autor, casi sin apoyo estatal.

Antigüedades peruanas es el mejor testimonio de la persistencia y dedicación de Rivero al estudio integral de la civilización inca, «la nación tal vez más culta del Nuevo Mundo» (Rivero, 1851:308). No ahondaremos en el análisis de esta obra⁹ realizada en palabras de su autor «arrastrado por el interés que inspiran los sucesos de épocas tan lejanas, y prendado, por así decirlo, del estudio de las antigüedades de mi patria» (Rivero, 1857, t. 1: 178). Basta resaltar algunas cuestiones para despertar la curiosidad del lector: la advertencia sobre la parcialidad del Inca Garcilaso y las contradicciones entre los cronistas; la «autocracia teocrática» de los gobernantes incas, reconocida como una forma de absolutismo superior incluso a la de las monarquías europeas de la época; la evidencia empírica de restos y objetos debidos a pueblos anteriores a los incas, aunque no se las pudiera datar por las limi-

taciones técnicas de la época. Rivero fue «el primer peruano que se interesó y ocupó de las ruinas de Chavín», aunque supuso que el famoso Castillo pertenecía a la época de los incas, y contemplando su estado ruinoso, supuso erróneamente que su destrucción se debió a la conquista española (Kauffmann, 1964: 165-167). Reflejo de los cánones moralistas de la época es la mención de un huaco erótico y la imposibilidad de representarlo: «Hay una pieza anterior del arte, conservada en el museo nacional de Lima, que representa a un hombre y una mujer en posición tan lúbrica y tan cínica, que no hemos juzgado conveniente publicarla en nuestro Atlas, ofreciendo además sólo la expresión voluptuosa de la cara del hombre un interés artístico» (Rivero, 1851: 227-228).

Raimondi y Wiener (Coloma, 1994, pp. 7 y 9) destacaron tempranamente su valía como el primer intento de estudiar científicamente el periodo prehispánico. *Antigüedades peruanas* fue una de las obras que necesariamente debían figurar en la reconstruida Biblioteca Nacional luego de la guerra de 1879 y así lo reconoció el mismo Palma al adquirirla en 1884: «Las *Antigüedades peruanas* de Rivero, con su valioso tomo de grabados, las obras de los limeños Olavide y Valdés y otras no menos importantes de antiguos escritores nacionales, eran indispensables en la Biblioteca de Lima» (Palma, 1949, p. 105). La edición de 1851 fue parcialmente publicada en el Perú recién en 1958 en un tiraje popular de la serie *Primer festival del libro arequipeño* distribuida por la editorial Mejía Baca. No incluyó el capítulo «Relaciones de ambos hemisferios entre sí antes

de los descubrimientos de Colón» y la discusión sobre la antigüedad del hombre peruano, por tratarse de estudios que «han sido superados a la fecha» (Rivero, 1958, p. 7); tampoco el capítulo décimo sobre «Monumentos antiguos» y el atlas de ilustraciones. Coloma (1994) tuvo el mérito de publicar algunos facsimilares de las primeras versiones de *Antigüedades peruanas*, concretamente el artículo publicado bajo este acápite titulado *Descripción de unos ídolos de plata, oro, barro* de 1827 y la edición de 1841. Recientemente, la Universidad Nacional del Altiplano publicó el facsimilar de la edición de 1851, aunque su tirada fue de solo mil ejemplares y tampoco incluyó el atlas.

Su trayectoria pública y sus ideales

Además de director general de minería y museo, Rivero desempeñó otros cargos públicos: diputado por Cailloma en 1832, Consejero de Estado en 1835 y 1843, prefecto del departamento de Junín (cuando comprendía además Huánuco y Pasco); prefecto de Moquegua y, hacia el final de su vida, cónsul general en Bélgica. Numerosas fueron las sociedades científicas a las que perteneció. También fue distinguido como caballero de la Orden de Dannebrog (Dinamarca) y de Leopoldo (Bélgica).

Rivero fue un viajero impenitente, y sus exploraciones no se limitaban a un sitio o aspecto en particular, ni a la mera descripción científica. Aunque él mismo advirtiera que por la naturaleza de su especialización sus trabajos no eran «de un interés bastante general» (Rivero, 1857, t. 1 p. I), se advierte una prosa sencilla y

⁹ Una sucinta revisión de contenido y crítica puede encontrarse en Rivasplata (2010).

directa, sin pretensiones. Además de las Ciencias Naturales, son evidentes sus incursiones en Geografía, Antropología, Arqueología, Historia, etc. En ese sentido, el trabajo y esfuerzo desplegado por Rivero solo es comparable al emprendido posteriormente por Antonio Raimondi entre 1851 y 1869.

Rivero fue un científico idealista que confiaba en la ciencia y en el progreso. Cada descubrimiento o exploración no tenía en el fondo otro propósito que la prosperidad y gloria nacional (Rivero, 1841, p. II) y el de la humanidad en general. Sus escritos están impregnados de reflexiones filosóficas sobre la aplicación de la ciencia y el conocimiento para lograr el bienestar de los pueblos, así como meditaciones políticas sobre las causas de su atraso. Se suscribe entusiasta partidario de «la libertad política que mueve, inspira grandes ideas, propaga las luces y ensancha la esfera de nuestros conocimientos» (Rivero, 1851, p. [III]).

Deslumbrado por la vastedad de lo que falta por descubrir, por las interrogantes que surgen con cada nuevo avance y abrumado por la brevedad de la vida, considera un deber de la humanidad aprovechar su estancia en este mundo dedicando sus esfuerzos al engrandecimiento de la sociedad.

Siempre por cuenta suya, Rivero editó su *Colección de memorias científicas, agrícolas é industriales*, recopilación de sus trabajos científicos publicados y algunos otros inéditos. No lo hizo motivado por el afán del reconocimiento o la fama. Era consciente que a pesar de las buenas intenciones de algunos presidentes, la anarquía política en el Perú no hubiera permitido solventar proyectos similares a los realizados por ejemplo en Chile por el francés Claudio

Gay, quien desde 1844 venía publicando su monumental obra *Historia física y política de Chile* a expensas del gobierno de ese país (Rivero, 1851, p. VI) y que alcanzó finalmente treinta volúmenes. Como lo calificara acertadamente Alcalde (1954, p. 84), Rivero fue un apóstol de la ciencia en el Perú en medio de una época política convulsa.

En *Antigüedades* de 1841 declara su fe en la consecución final del progreso de la Nación, a despecho de las luchas intestinas que se prolongarían por espacio de una treintena de años desde la Independencia: «Esperemos, no obstante, que escarmentados con tanto sufrimiento y con tan lamentables desórdenes, que ya demandan una terminación positiva, volvamos sobre nosotros mismos, seamos dignos de llamarnos Nación soberana, y puedan algún día escribirse con honor, con decoro y orgullo, los fastos de nuestra historia» (Rivero, 1841, p. 26). Más de una década después advierte tristemente que la lacra de la inestabilidad política persistía, aunque nunca dejó de proclamar su optimismo en el país y en especial en su juventud (Rivero, 1857, t. 1 p. VIII).

Reflexión final

Próximos a celebrar el bicentenario de la Independencia, en el recuento de los personajes más representativos en la construcción de la Peruanidad, comprobamos que salvo *Antigüedades peruanas* (de la cual carecemos de una edición crítica), el resto de la obra de Rivero, aunque importantísima, no ha sido convenientemente estudiada, valorada y debatida al nivel por ejemplo de *El Perú* de Raimondi (Deustua, 2017, p. 54).

En 2017 en que se conmemoraron los ciento cincuenta años de su muerte, de no ser por una reseña en el diario oficial (Tamariz, 2017), y dos ensayos en el ámbito académico -uno sobre la obra de Rivero entendida como el intento de establecer un «diálogo tecnológico» con el territorio y la historia andina articulando elementos en conflicto tales como cultura y naturaleza (Rosas Buendía, 2017), y otro sobre Rivero y el contexto de la actividad minera en los primeros años de la República (Deustua, 2017)-, hubiera sido una efeméride desapercibida. Mucha documentación relativa al sabio se encuentra inédita en los países europeos donde se formara como científico, como lo advirtiera Coloma (1994, p. 13) y lo evidenciara Alaperri-ne-Bouyer (1999). En Colombia, y en la misma Arequipa también existe valiosa documentación poco estudiada (Deustua, 2017, p. 55; Rivero, 1998, p. XXXI). Dada la modestia que caracterizaba al sabio, es casi seguro que existan trabajos que no hayan sido previamente publicados o incluidos en su *Colección de Memorias* ni en el *Memorial de Ciencias Naturales*. Otros aspectos de su trayectoria como funcionario público permanecen desconocidos, al igual que sus relaciones con otros personajes contemporáneos.

En ese contexto, nos permitimos insistir en la edición crítica de su *Colección de Memorias* ya sugerida por Deustua (2017, p. 54) con el concurso de especialistas. Así, el Estado podría saldar parte de la deuda moral que aún mantiene con el sabio por el reconocimiento de sus aportes al progreso material del Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaperrine-Bouyer, M. (1999). *Mariano Eduardo de Rivero en algunas de sus cartas al Barón Alexander von Humboldt*. Arequipa: UNSA, Centro de Estudios Arequipeños, Claustro Mayor.
- Alcalde, A. (1954). «Memorial de ciencias naturales. Lima, 1827-1828. Contribución a la bibliografía de Mariano E. de Rivero y Ustáriz». Separata del *Boletín Bibliográfico UNMSM* 24, pp. 82-150.
- Ayllón, F. (2015). *El Museo del Perú: historia del Museo del Congreso y de la Inquisición*. <http://www.congreso.gob.pe/Docs/participacion/museo/files/web-historia-museo-17-08-2015-02.pdf>
- Carrasco, E. (1846). *Calendario y guía de forasteros de la república peruana para el año de 1846*. Lima: Imp. de Instrucción peruana.
- Coloma, C. (1994). *Los inicios de la arqueología en el Perú o "Antigüedades peruanas" de Mariano Eduardo de Rivero*. Lima: Instituto Latinoamericano de Cultura y Desarrollo.
- Deustua, J. R. (2017). Sociedad, ciencia y tecnología: Mariano de Rivero, la minería y el nacimiento del Perú como República, 1820-1850. *Apuntes* 44 (80), pp. [51]-77.
- Herndon, W. L., y Gibbon, L. (1854). *Exploration of the valley of the Amazon, made under direction of the Navy Department*. Washington: Robert Armstrong. Pt. I.
- Kauffmann, F. (1967). Los estudios de Chavín (1553-1919). *Fénix. Revista de la Biblioteca Nacional* (14), pp. 165-167.
- Kaulicke, P. (Ed.). (2001). *Aportes y vigencia de Johann Jakob von Tschudi (1818-1889)*. Lima: Fondo Editorial PUCP.
- Kaulicke, P. (2008). Observaciones acerca de «¿La mirada imperialista? Los alemanes y la arqueología peruana» de Stefanie Gänger. *Histórica* 32 (2), pp. [171]-181.
- Markham, C. R. (1856). *Cuzco: A journey to the ancient capital of Peru ... and Lima: a visit to the capital and provinces of modern Peru*. London: Chapman and Hall.
- Núñez, E. (1969). *Cuatro viajeros alemanes al Perú*. Lima: UNMSM.
- Núñez, E. (1971). Mariano José de Arce, primer bibliotecario. *Fénix. Revista de la Biblioteca Nacional* (21), pp. [44]-57.
- Núñez, E. (1973). *Relaciones de viajeros*. Lima: Comisión del Sesquicentenario de la Independencia del Perú. Vol. 4.
- Palma, R. (1949). *Epistolario*. Lima: Editorial Cultura Antártica. V. 1.
- Paredes, J. G. (1822). *Guía de forasteros de Lima, corregida para el año de 1822*. Lima: Imp. del Estado.
- Raimondi, A. (1874). *El Perú*. Lima: Imp. del Estado. T. 1.
- Rivasplata, P. E. (2010). La Proto-arqueología en el Perú en el siglo XIX. *Temas americanistas* (24), pp. 63-106.
- Rivero, M. E. de (1841). *Antigüedades peruanas. Parte primera*. Lima: Imp. de José Masías.
- Rivero, M. E. de (1851). *Antigüedades peruanas*. Viena: Imp. Imperial de la Corte y del Estado, 1 v. + Atlas.
- Rivero, M. E. de (1857). *Colección de memorias científicas, agrícolas e industriales, publicadas en distintas épocas*. Bruselas: Imp. de H. Goemaere.
- Rivero, M. E. de (1958). *Antigüedades peruanas*. Arequipa: Edit. Lumen.
- Rivero, M. E. de (1998). *Memorial de ciencias naturales y de industria nacional y extranjera*. Arequipa: Fondo Editorial de la Cámara de Comercio e Industria de Arequipa.
- Rodríguez, M. P. (2010, enero-junio). Investigación y museo: Museo de historia natural de Colombia 1822-1830. *Cuadernos de Música, Artes Visuales y Artes Escénicas* 5 (1), pp. 87-108.
- Rosas Buendía, M. (2017, enero-junio). Mariano de Rivero y un diálogo tecnológico con el mundo andino. *Sílex* 7 (1), pp. 143-164.
- Sánchez, E. (2013, diciembre). Agustín Codazzi y el descubrimiento de San Agustín. *Boletín de Historia y Antigüedades* C (857), pp. [353]-376.
- Tamariz, D. (2017, 30 de abril). Mariano Eduardo de Rivero. El científico peruano del siglo XIX. *El Peruano*. <http://www.elperuano.pe/noticia-el-cientifico-peruano-del-siglo-xix-54409.aspx>
- Tello, J. C., y Mejía, T. (1967). Historia de los Museos Nacionales del Perú 1822-1946. *Arqueológicas. Publicaciones del Instituto de Investigaciones Antropológicas* (10). 268 pp.
- Tristán, F. (2003). *Peregrinaciones de una paria*. Lima: UNMSM.
- Tschudi, J. J. von (1847). *Travels in Peru during the years 1838-42*. London: David Bogue.
- Ugarte y Ugarte, E. L. (1965). Cartas de Johann Jakob von Tschudi a Mariano Eduardo de Rivero (1847-1857). *Revista, órgano de la Universidad de San Agustín de Arequipa* (50-51), pp. [227-367]
- Unanue, H. (1791). Idea general de los monumentos del antiguo Perú. *Mercurio peruano* 1 (22), fs. 201-208.
- Unanue, H. (1793, 3 de febrero). Decadencia y restauración del Perú. *Mercurio peruano* 7 (218), fs. 82-89.
- Urbani, F. (1992). *Mariano Eduardo de Rivero y Ustáriz (1798-1857)*. http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/criterioopinion/sillon_XXVI/Notas_biograficas_Mariano_Eduardo_de_Rivero_y_Ustari-z_1798-1857-Urbani-1992.pdf
- Vargas, D. (2009). *Los orígenes de la Biblioteca y Museo Nacional del Perú, 1822-1825*. Lima, [s.n.].
- Vezga, F. (1936). *La expedición botánica*. Bogotá: Edit. Mierva.
- Vivero, D. de (1909). *Galería de retratos de los gobernadores y virreyes del Perú (1532-1824)*. Barcelona: Casa Editorial Maucci.

Colaboraron en este número



Reina Camacho

Investigadora del Centro Nacional de Investigación Francés (CNRS)-LPNHE. Miembro de la colaboración ATLAS del LHC en el CERN. Miembro de CEVALE2VE y co-coordinadora del proyecto LA-CoNGA Physics



Mark Carey

Profesor de historia y estudios ambientales, y actualmente es Director del Programa de Estudios Ambientales, en la Universidad de Oregon en Estados Unidos. Es autor del libro *In the Shadow of Melting Glaciers: Climate Change and Andean Society* (Oxford, 2010), que ganó el Premio Elinor Melville como mejor libro sobre historia ambiental latinoamericana. Carey trabajó recientemente como uno de los autores del Quinto informe de evaluación (2014) y del Informe especial sobre el océano y la criosfera en un clima cambiante (2019) para el Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC). Es co-fundador y co-director del Red de Investigación Transdisciplinaria Andina (TARN) que involucra el trabajo colaborativo de investigación de colegas provenientes de Estados Unidos, Canadá y Perú.



Ronald Concha

Ingeniero Geólogo, egresado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Especialista en Geomorfología Glacial, Cambio Climático y Peligros Geológicos. Sus investigaciones están enfocadas al estudio de los procesos glaciales y peri-glaciales andinos y de la isla Rey Jorge (Antártida), para entender la evolución del paisaje natural y su impacto frente a los cambios climáticos, así como también la evaluación de peligros geológicos. Su principal interés es la cartografía geomorfológica. Mediante el uso de diversas técnicas de dataciones, interpreto y reconstruyo la cronología glaciar en los Andes, y mediante técnicas de teledetección y procesamiento GIS realizo modelamientos de glaciares y paleo glaciares.



Sonia Delgado

Doctora en Arquitectura por la Universidad Politécnica de Madrid (España). Profesora de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).



Miguel Figueroa

Biólogo, especialista en comportamiento humano primitivo. Difusor científico, con una maestría en psicología organizacional, postgrado en lenguaje no verbal y detección de mentiras. Director de contenidos y conductor del programa de televisión: La Neurona Reina. Entrenador en comunicación y lenguaje no verbal a líderes corporativos y políticos de Latinoamérica. Ha publicado los libros *Rompe el miedo y habla en público, secretos del lenguaje no verbal* y *101 tips para presentaciones persuasivas*.



Martín López

Licenciado en Bibliotecología y Ciencias de la Información por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Ha realizado cursos de especialización sobre microfilmación en Venezuela (1996) y sobre bibliotecas públicas en España (2006). Desde el año 1993 labora en la Biblioteca Nacional del Perú, institución en la cual se ha desempeñado tanto como técnico en biblioteca como en el nivel profesional en varias de sus dependencias. Además, ha ejercido diversos cargos directivos en la citada institución, como director ejecutivo, director general y Jefe del Equipo de Servicios Bibliotecarios.



Benjamín Marticorena

Doctor en Física por la Universidad de Grenoble, Francia, y especialista en políticas de ciencia, tecnología e innovación. Se ha desempeñado como investigador en el Centro de Estudios Nucleares de Grenoble (1969-1972); profesor en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (1972-1987); presidente del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2001-2006); vicerrector de la Universidad Antonio Ruiz de Montoya (2008-2009); gerente Académico de la Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas (2009-2010); y jefe de la Oficina de Evaluación de la Investigación y de la Oficina de Internacionalización de la Investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú (2011-2017). Actualmente es consultor para organismos nacionales e internacionales para proyectos de energía, medio ambiente y educación.



Alejandra Martínez

Economista por la UNALM, Mag. En Ecología y Gestión Ambiental por la URP, y actualmente doctoranda en Antropología por la PUCP. Es investigadora científica asociada del Instituto Geofísico del Perú, en el área de Geofísica & Sociedad. Su investigación actual está enfocada en los impactos socioeconómicos de los fenómenos geofísicos en la sociedad y su desarrollo, especialmente en los temas de vulnerabilidad, adaptación y gestión de desastres naturales, y la relación entre Estado - Ambiente - Sociedad.

Instituto Geofísico del Perú – IGP. Correo electrónico: amartinez@igp.gob.pe



Silvana Vargas

Ph.D. en Sociología Rural y Demografía por la Pennsylvania State University (Estados Unidos). Profesora del Departamento de Ciencias Sociales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

