

Artificial Snow in Peru: Analysis of Environmental and Social Risks of its Implementation in Natural Areas

Gonzales García, Carlos Marcelo¹; Guerra Palomino, Adriana²; Valderrama Martel, Genesis Ariana³; Cabrera Mostacero, María José⁴; Sánchez Contreras, Gustavo Adolfo⁵
^{1,4}Universidad Privada del Norte, Perú, N00290485@upn.pe,
N00326958@upn.pe, N00318326@upn.pe, N00289671@upn.pe, gustavo.sanchez@upn.edu.pe

Abstract– This research paper, entitled "Artificial Snow in Peru: Analysis of Environmental and Social Risks of its Implementation in Natural Areas," proposes a critical assessment of the implications of implementing artificial snow in natural ecosystems in Peru, particularly in high Andean regions. The increase in tourist demand in areas where snow is rare has promoted the use of artificial technologies to simulate winter conditions, with the resulting environmental and social consequences. Consequently, a comprehensive analysis is required that meets scientific and technical criteria from a multidisciplinary perspective. A thorough analysis also aims to assess the potential impacts on water resources, biodiversity, and ecological balance; the social impacts on local communities, including displacement, changes in traditional economic activities, and conflicts over water use; and the available environmental management tools and their level of application in this type of project. The study concludes that the implementation of artificial snow, when carried out without an adequate environmental assessment and without the participation of local populations, has irreversible ecological and social effects. For this reason, environmental control mechanisms must be strengthened, a sustainability approach implemented, and tourism alternatives promoted that are compatible with the preservation of the natural environment and respect for Andean communities.

Keywords– Artificial Snow, Environmental Impact, High Andean Regions, Environmental Assessment, Environmental Management, and Sustainability.

Nieve Artificial en el Perú: Análisis de Riesgos Ambientales y Sociales de su Implementación en Zonas Naturales

Cabrera Mostacero, María José¹; Gonzales Garcia, Carlos Marcelo²; Guerra Palomino, Adriana³; Valderrama Martel, Genesis Ariana⁴

^{1,4}Universidad Privada del Norte, Perú, N00289671@upn.pe, N00290485@upn.pe,
N00326958@upn.pe, N00318326@upn.pe

Resumen– El presente trabajo de investigación lleva por título “Nieve Artificial en el Perú: Análisis de Riesgos Ambientales y Sociales de su Implementación en Zonas Naturales” y propone realizar una evaluación crítica sobre las implicaciones de la implementación de nieve artificial en ecosistemas naturales de Perú, particularmente en zonas altoandinas. El incremento de la demanda turística en zonas donde la nieve no es frecuente ha promovido el uso de tecnologías artificiales para simular condiciones invernales, con las consecuencias ambientales y sociales que ello implica. En consecuencia, se requiere de un análisis integral que responda criterios científicos y técnicos desde una perspectiva multidisciplinaria. Con un análisis minucioso se pretende valorar también los posibles impactos en el suministro de agua y la diversidad y equilibrio ecológico; las afectaciones sociales en las comunidades locales, incluyendo desplazamientos, cambios en sus actividades económicas tradicionales, conflictos por el uso del agua; y los instrumentos de gestión ambiental disponibles y su nivel de aplicación ante este tipo de proyectos. El estudio concluye que la implementación de nieve artificial cuando no se realiza sin una adecuada evaluación ambiental y cuando no se cuenta con la participación de las poblaciones locales trae consigo efectos irreversibles tanto a nivel ecológico como social. Por esta razón, se deben fortalecer los mecanismos de control ambiental, implementar un enfoque de sostenibilidad y promover alternativas turísticas que sean compatibles con el mantenimiento del entorno natural y el respeto a las comunidades andinas.

Palabras clave: Nieve Artificial, Impacto Ambiental, Turismo sostenible, Regiones Altoandinas, Evaluación Ambiental, Gestión Ambiental y Sostenibilidad.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos ambientales y sociales del siglo XXI, con impactos particularmente severos en ecosistemas de alta montaña como los Andes tropicales. Según el IPCC (2022), estas regiones experimentan un calentamiento acelerado, superior al promedio global, lo que ha provocado una pérdida significativa de masa glaciar [1]. En Perú, donde más del 70% de los glaciares tropicales del mundo se encuentran, este retroceso afecta directamente la disponibilidad de agua y la estabilidad de los ecosistemas [2].

Este fenómeno no solo afecta el medio físico, sino que también tiene profundas repercusiones sociales. El deshielo glaciar no solo altera los ciclos hidrológicos, sino que también

redefine las relaciones socio ecológicas en comunidades altoandinas, generando lo que se ha denominado “glaciares de la ansiedad” por la incertidumbre que provoca la pérdida de estas fuentes de agua [3]. En el caso del Nevado Pastoruri, esta dinámica se ve agravada por la dependencia histórica de las comunidades locales y del turismo hacia un paisaje glaciado que hoy se desvanece.

En este sentido, la justicia ambiental ofrece un marco crítico para analizar la distribución de los impactos ambientales y el acceso a los recursos naturales entre diferentes grupos sociales [4]. De acuerdo con esta perspectiva, en América Latina, los conflictos socioambientales surgen frecuentemente de la desigualdad en la distribución de cargas ecológicas y de la exclusión de las comunidades en la toma de decisiones [5]. En el contexto peruano, la implementación de proyectos turísticos o de infraestructura en zonas sensibles como las altoandinas suele generar tensiones por el uso del agua, especialmente cuando existen usos competitivos entre el turismo, la agricultura y el consumo humano [6].

La noción de “justicia hídrica” resulta clave para entender cómo la posible instalación de nieve artificial podría exacerbar desigualdades preexistentes. No obstante, la gobernanza ambiental en América Latina se caracteriza por una tensión entre modelos centralizados y la creciente demanda por una gestión participativa y descentralizada [7]. En Perú, si bien existen instrumentos como la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y mecanismos de consulta previa, su aplicación efectiva en zonas remotas suele ser limitada [8].

Sin embargo, la participación de las comunidades locales en la gestión territorial es fundamental para garantizar la sostenibilidad de los proyectos. Rasmussen (2015) demostró que, en ausencia de procesos legítimos de consulta y consentimiento, las intervenciones tecnológicas o turísticas pueden derivar en conflictos sociales y en la erosión de la confianza institucional [9].

Por otro lado, el cambio climático en Perú se ha acelerado en los últimos años, con el acelerado deshielo de sus glaciares andinos como una de sus señales más preocupantes. Especialmente dramático es el caso del Nevado Pastoruri, en la Cordillera Blanca, Áncash, un nevado que durante mucho tiempo fue uno de los mayores atractivos de turistas de la zona.

Ahora, sin embargo, Pastoruri no es más que una pantalla trágica de qué es el cambio climático. Desde 1980 ha perdido más de 650 metros de hielo, es decir, que retrocede a un ritmo anual promedio de 23 metros. Como consecuencia, la tradicional barrera glaciar que marcaba el inicio del río congelado se ha convertido en una pequeña laguna y ahora su caverna glaciar ha desaparecido por completo, dejando tras de sí un paisaje que había sido inmutable. La menor afluencia de turistas por Pastoruri ha llevado en pocos años a que los pueblos de la alta montaña busquen soluciones alternativas para retener a los visitantes, como es la instalación de nieve artificial. No obstante, sus posibles beneficios turísticos más allá, la realidad es que las consecuencias ambientales y sociales de abrir las puertas a esta tecnología que demanda de energía y agua, puede cambiar los paisajes de los andes de manera irreversible. Especialmente en zonas como la de Pastoruri, por ejemplo, donde el acceso a este recurso es limitado y sus vecinos, campesinos, han vivido por generaciones de él. Es decir, es una zona ya marcada por la desertificación, con ríos que aguantan muy pocos meses al año.

Muchos estudios científicos han mostrado la fragilidad de los ecosistemas montañosos cuando las manos humanas intervienen. Investigaciones recientes; por ejemplo, las de Rodríguez y compañeros (2021) y Martínez junto con Silva (2022), dicen que usar nieve falsa en las partes altas de la montaña puede ser muy malo [10]. Esto puede llevar a usar demasiada agua, hacer subir la temperatura de la superficie y cambiar el crecimiento de las plantas y animales cerca. En el Nevado Pastoruri, La Autoridad Nacional del Agua ha encontrado mucho metal como hierro, manganeso y zinc en el agua que viene del deshielo, lo cual es señal de que hay un problema llamado drenaje ácido. Este problema puede contaminar cuerpos hídricos cercanos, afectando tanto al ecosistema como a las personas que dependen de estos recursos.

A pesar de estos esfuerzos, y a pesar de la creación de la "Ruta del Cambio Climático" para educar a los turistas sobre los efectos del deshielo, aún no se ha logrado revertir el impacto negativo sobre el turismo, ni se ha dado un giro hacia un modelo más sostenible. La presión económica por mantener el flujo de visitantes ha fomentado el debate sobre la viabilidad de la nieve artificial, pero muchos de estos proyectos carecen de estudios de impacto ambiental adecuados y de la implicación directa de los habitantes de la zona en la toma de decisiones, lo que genera una falta de consenso sobre las mejores soluciones.

A. *Objetivo:*

Evaluar cómo la instalación de nieve artificial en el Nevado Pastoruri puede afectar tanto el entorno natural como la vida de las comunidades cercanas, con el fin de proponer estrategias de gestión turística sostenible adaptadas a los cambios climáticos que afectan la zona con el fin de Explorar cómo la disminución de los glaciares afecta tanto la cantidad como la calidad del agua disponible en la región, al mismo tiempo que se identifican los posibles daños ecológicos asociados a la introducción de nieve artificial en ambientes de alta montaña. A partir de este análisis, se busca plantear propuestas de turismo que sean respetuosas

con el entorno natural y que resulten beneficiosas y sostenibles para las poblaciones locales.

II. IMPACTO DEL RETROCESO DEL GLACIAR EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

La disminución de los glaciares representa un desafío significativo para la gestión del agua en zonas donde estos han sido históricamente esenciales como fuente principal para múltiples actividades humanas. En regiones como la del Nevado Pastoruri, la reducción del hielo glaciar afecta tanto la cantidad como la calidad del recurso hídrico disponible, generando consecuencias directas en la vida cotidiana de las comunidades y en el funcionamiento de los ecosistemas locales.

Disminución de fuentes hídricas: Los glaciares han jugado un papel clave como fuentes de agua en las regiones montañosas, alimentando ríos y humedales que son cruciales para la agricultura, el consumo humano y los ecosistemas. La disminución de estos glaciares, como es el caso del Nevado Pastoruri, ha resultado en una reducción significativa de esta fuente hídrica. La pérdida de hielo glaciar ocasiona una disminución en el volumen de agua disponible, lo que repercute directamente en el acceso al recurso hídrico por parte de las comunidades cercanas, RPP (2024) en una entrevista a Hugo -ciudadano, indica que la cobertura glaciar del Pastoruri presenta una desglaciación acelerada ya que presenta una cobertura glaciar 0.7 Km2 lo cual permite predecir que estará disponible en un tiempo máximo de 10 a 15 años; según se indica en la entrevista las condiciones de la cobertura glaciar hace algunos años, permitía realizar algunos deportes de aventura. Asimismo, indica que el Pastoruri junto a otros nevados conforman la denominada ruta del cambio climático ya que presentan las mismas características de haber perdido grandes masas de cobertura glaciar. Estas precisiones concuerdan con lo indicado en la COP 20 (2014) en donde se indica que la cobertura glaciar del Pastoruri y otros glaciares ya no permite la visita con fines turísticos como tal, sino que son usados ahora con fines más educacionales para mostrar a los turistas los efectos del cambio climático [12].

Los datos cuantitativos reflejados en la siguiente tabla sintetizan la significativa disminución del glaciar Pastoruri entre 1995 y 2019. Durante este periodo, el glaciar ha perdido alrededor del 70% de su cobertura inicial, evidenciando una acelerada desglaciación que pone en riesgo tanto la estabilidad ecológica como los recursos hídricos asociados [13].

TABLA I
Evolución de la Superficie Glaciar Pastoruri

Año	Área (km²) según año	Pérdida de área (%) según periodo
1995	1,796	Inicio
2001	1,379	23 %
2005	1,174	12 %
2010	0,968	12 %
2015	0,822	8 %
2019	0,545	15 %

Fuente: ANA (2021)

El análisis multitemporal del área glaciar en la Cordillera Blanca muestra una tendencia persistente y acelerada de retroceso. La regresión lineal de los datos históricos revela una fuerte correlación ($r = -0.976$) entre la pérdida de superficie y el tiempo. La proyección indica que, de mantenerse la tasa actual, para 2050 la cobertura glaciar se reducirá a unas 500 hectáreas, reflejando la pérdida inminente de un recurso hídrico y patrimonial esencial. Este escenario resalta la urgencia de implementar medidas locales para mitigar los impactos, como la producción de nieve artificial, que podría servir como una estrategia adaptativa para contrarrestar la pérdida hídrica y apoyar la sustentabilidad en las comunidades afectadas.

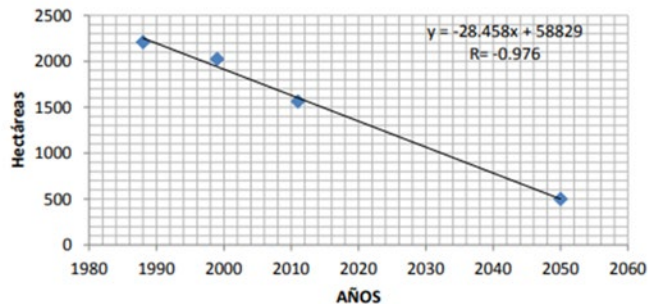


Figura 1. Proyección de escenarios futuros
Fuente: Tarazona Coronel, Y. (2012)

Impacto en la calidad del recurso hídrico: El retroceso de los glaciares ha traído consigo una disminución en la pureza del agua. En el caso del Nevado Pastoruri, se ha identificado un incremento en los niveles de metales, como el hierro, manganeso y zinc en el agua proveniente del deshielo, lo que indica la presencia de drenaje ácido. Este fenómeno puede ocasionar la contaminación de las fuentes hídricas, poniendo en riesgo tanto los ecosistemas acuáticos como a las personas que dependen de estas aguas para su vida cotidiana.

Conflictos por el recurso hídrico: A medida que aumenta la demanda de agua en las zonas cercanas a los glaciares, se agudizan los conflictos por el uso de este recurso. La escasez de agua en algunas áreas, ya de por sí limitada, se ve intensificada por la reducción de las fuentes glaciales, lo que genera tensiones entre las actividades turísticas, agrícolas y las necesidades básicas de las poblaciones locales.

Tecnologías alternativas y sus repercusiones: Como respuesta al retroceso glaciar, algunos lugares están considerando el uso de tecnologías para generar nieve artificial. No obstante, estas soluciones requieren grandes cantidades de agua y energía, lo que incrementa aún más la presión sobre los recursos hídricos limitados. Aunque podrían proporcionar una solución temporal para el sector turístico, los efectos ecológicos y la viabilidad a largo plazo de estas tecnologías deben ser evaluados con cautela.

III. TECNOLOGÍAS DE APLICACIÓN PARA NIEVE ARTIFICIAL

Ante la realidad del calentamiento global y la disminución sostenida de la nieve originaria de las montañas, diversas

tecnologías han sido desarrolladas para generar nieve artificial como alternativa para mantener la actividad turística, especialmente en zonas de alta montaña. A continuación, se describen los sistemas más relevantes, sus principios de funcionamiento y las condiciones necesarias para su operación.

A. Sistemas mecánicos y químicos:

Existen diferentes tecnologías para la producción de nieve artificial, las cuales pueden clasificarse en mecánicas y químicas, dependiendo del tipo de proceso utilizado. Las principales son:

- 1) **Cañones ventiladores:** Estos equipos pulverizan una mezcla de agua y aire comprimido en el ambiente. El aire frío del entorno ayuda a que las pequeñas gotas de agua se congelen antes de tocar el suelo. Son capaces de producir grandes volúmenes de nieve y se usan comúnmente en estaciones de esquí.

Proceso de generación de nieve:

Este comienza con la atomización de agua, donde el cañón recibe agua a presión y la pulveriza en minúsculas gotas, casi como una fina niebla; simultáneamente, un compresor inyecta aire a alta presión, mezclándose con las gotas y enfriándose al expandirse, lo que ayuda a formar pequeños cristales de hielo iniciales o "núcleos de hielo" que sirven de semilla para los copos de nieve. Luego, un potente ventilador impulsa esta mezcla hacia el aire frío del entorno, permitiendo que las gotas restantes se congelen alrededor de los núcleos y finalmente, se adhieran y caigan por gravedad como pequeños cristales, generando la nieve artificial de manera eficiente y continua.

- 2) **Lanzas de nieve:** Estas estructuras más delgadas y altas aprovechan la gravedad y la presión natural del agua para dispersar las gotas. Requieren menos energía que los cañones de ventilador y son más silenciosas, pero su producción de nieve es más dependiente de las condiciones atmosféricas.

Proceso de generación de nieve:

El agua a presión y el aire comprimido son bombeados hasta la parte superior de la lanza, donde se mezclan en la boquilla y se liberan en pequeñas gotas junto con núcleos de cristalización. Al caer desde la altura de la lanza, estas gotas y núcleos tienen tiempo para enfriarse en contacto con el aire frío ambiente, y los núcleos actúan como semillas para que el agua se congele alrededor de ellos. Durante el descenso, las gotas se convierten en cristales de nieve debido a las bajas temperaturas y el tiempo de exposición al aire frío, y finalmente caen al suelo como nieve artificial.

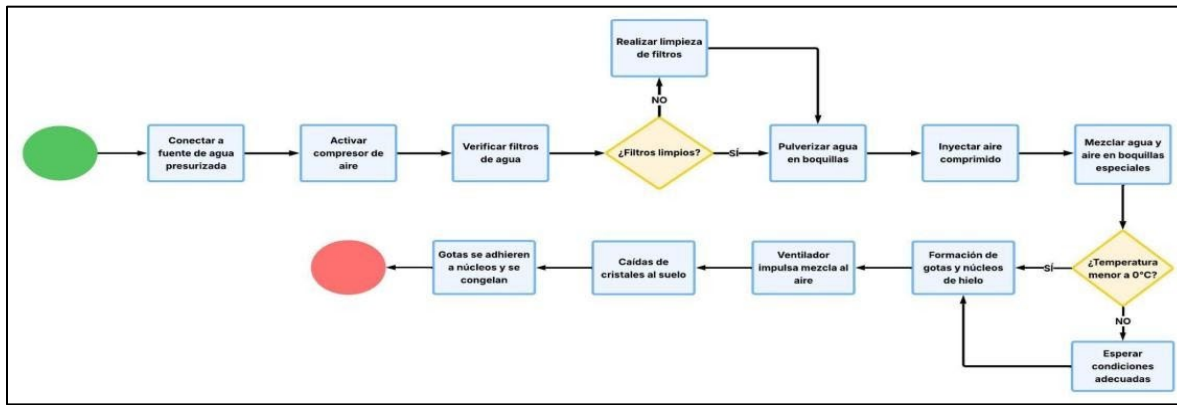


Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de Cañones ventiladores.
Elaboración propia

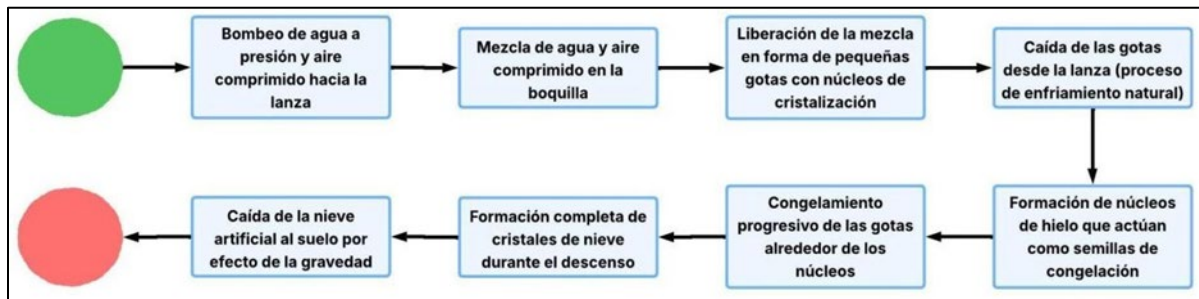


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de lanzas de nieve.
Elaboración propia

- 3) **Sistemas de nieve (Snow Factory):** Estas tecnologías son más recientes y están diseñadas para producir nieve incluso en temperaturas por encima del punto de congelación, lo que las hace atractivas para regiones con inviernos cada vez más cálidos. En lugar de atomizar agua directamente al aire libre, el agua se congela dentro de un contenedor o sistema de refrigeración, y luego el hielo resultante se tritura en forma de nieve. Algunos utilizan refrigerantes naturales.

Proceso de generación de nieve:

Consiste en una refrigeración interna del agua mediante una tecnología avanzada que enfría el agua a muy bajas temperaturas dentro de un circuito cerrado, sin necesidad de bajas temperaturas ambientales. Luego, el agua superenfriada se pulveriza o pasa por un evaporador refrigerado donde se convierte en pequeños fragmentos de hielo o “nieve granulada” dentro de un contenedor. Finalmente, la nieve formada es expulsada fuera del módulo de Snow Factory, pudiendo ser almacenada o transportada a través de tuberías subterráneas o superficiales para su distribución en las áreas deseadas.

- 4) **Sistemas de producción de nieve en interiores (cámaras climáticas):** Son instalaciones cerradas y controladas que pueden producir nieve de alta calidad en cualquier condición climática exterior. La nieve se genera en un ambiente donde la temperatura y la humedad se regulan estrictamente para crear las condiciones óptimas de cristalización del agua.

Proceso de generación de nieve:

Comienza con la refrigeración y humidificación del aire dentro de una cámara o sala aislada, donde el aire se enfría activamente a temperaturas bajo cero. Luego, se pulveriza agua finamente atomizada en este aire frío y húmedo, mientras se introducen núcleos de hielo microscópicos mediante aire comprimido muy frío o vibración ultrasónica, que actúan como "semillas" para la cristalización. La nieve formada cae y se acumula dentro de la cámara, pudiendo ser luego recogida manualmente, transportada por sistemas de cinta o tuberías, o expulsada al exterior para su uso o almacenamiento.

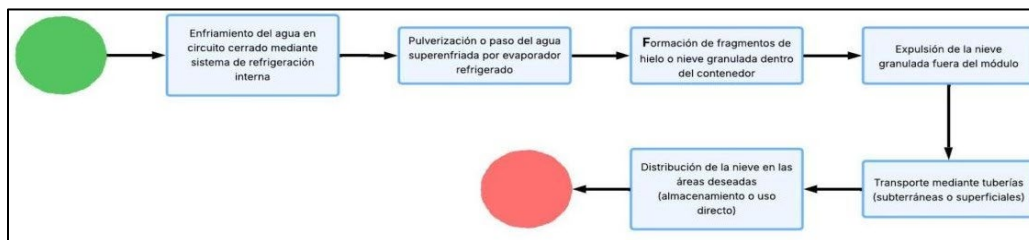


Figura 4. Diagrama de flujo de proceso de Snow Factory.
Elaboración propia

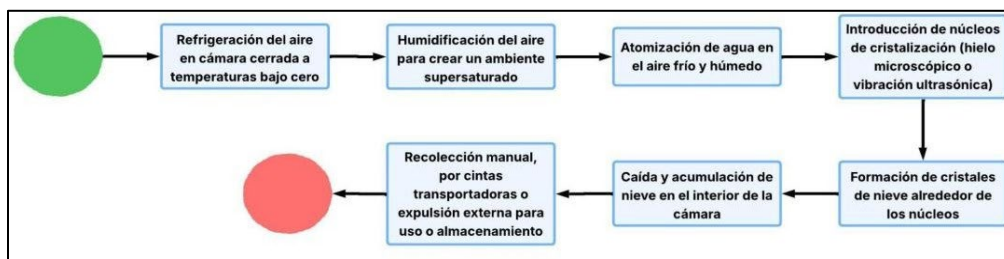


Figura 5. Diagrama de flujo de proceso de Cámaras climáticas.
Elaboración propia

B. Casos de referencia internacional:

Una prueba de la aplicación de tecnologías para la creación de nieve artificial se encuentra en la estación de esquí Val Thorens, ubicada en Francia, donde se utilizan cañones de nieve para ampliar los kilómetros de cobertura en las zonas más bajas de la montaña. Gracias a esta tecnología, se garantiza que cada remonte tenga acceso al menos a una pista con nieve, asegurando así la operatividad y la experiencia del usuario durante toda la temporada, incluso en condiciones climáticas adversas [15].

Otro ejemplo representativo del uso de tecnologías avanzadas para la generación de nieve artificial se dio en los Juegos Olímpicos de Invierno PyeongChang 2018, realizados en Corea del Sur, donde se implementaron sistemas tipo Snow Factory capaces de producir nieve de manera continua sin depender de temperaturas bajo cero [16]. Gracias a esta tecnología, se logró cubrir las pistas desde semanas antes del inicio de la competencia, asegurando así condiciones óptimas para los atletas y la organización del evento, incluso ante variaciones climáticas naturales [17].

IV. JUSTIFICACIÓN Y RIESGOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NIEVE ARTIFICIAL

El cambio climático ha acelerado significativamente el retroceso glaciar en los Andes peruanos, afectando tanto a los ecosistemas como a las actividades económicas dependientes del turismo de alta montaña. Un ejemplo representativo es el nevado Pastoruri, ubicado en el Parque Nacional Huascarán, que en décadas anteriores constituía uno de los principales atractivos turísticos de la región de Áncash. La pérdida progresiva de su cobertura de nieve ha reducido su atractivo visual y recreativo, provocando una disminución en la afluencia

de visitantes y, con ello, una merma en los ingresos de las comunidades locales.

Ante este escenario, la implementación de sistemas de nieve artificial ha sido considerada como una medida alternativa para mantener el flujo turístico, recuperar parte del atractivo paisajístico perdido y sensibilizar a los visitantes sobre los efectos del cambio climático. No obstante, esta solución tecnológica, si bien presenta potenciales beneficios socioeconómicos, también implica riesgos ecológicos, sociales y de gobernanza que deben ser cuidadosamente evaluados antes de su aplicación.

A. Justificación socioeconómica

La producción de nieve artificial podría contribuir a revitalizar el turismo en la zona, generando oportunidades económicas para las comunidades que dependen de esta actividad. Además, su uso podría integrarse en programas de educación ambiental para concienciar a los visitantes sobre la problemática del retroceso glaciar y la necesidad de adoptar prácticas sostenibles.

B. Riesgos e impactos ambientales

Uno de los principales riesgos de la implementación de nieve artificial en ecosistemas de alta montaña es su elevado consumo de agua y energía, recursos especialmente sensibles en regiones donde la disponibilidad hídrica es limitada. La extracción de agua para llevar a cabo la producción de nieve artificial podría afectar negativamente en el uso doméstico y agrícola de este recurso en las comunidades locales. Asimismo, el uso de sistemas mecánicos y refrigerantes podría contribuir a la alteración de microclimas, afectar especies endémicas de flora y fauna, y generar residuos o vertimientos que deterioren la calidad del suelo y cuerpos de agua.

- 1) Impacto ambiental en los recursos naturales: Según el informe interactivo de la EEA titulado Europe's changing climate hazards, se observa que las temporadas de nieve se han acortado en Europa, especialmente en las regiones del norte, oeste y este, debido a un deshielo más temprano en primavera. Además, se proyecta que la duración de la temporada de nieve disminuirá sustancialmente en el futuro, con reducciones de más de 100 días para finales de siglo en algunas regiones. Por ello, el uso de nieve artificial se ha visto en ascenso, lo cual resulta problemático en los siguientes ámbitos:

Alteración de los ecosistemas y la biodiversidad:

Diversos estudios han demostrado que la producción intensiva de nieve artificial genera alteraciones significativas en la composición vegetal de los ecosistemas de alta montaña, en particular, investigaciones realizadas en la cobertura glaciar de los Alpes suizos evidencian que las condiciones micro climáticas y del suelo inducidas por este tipo de intervención favorecen el desarrollo de especies generalistas, como ciertas leguminosas, en detrimento de la flora nativa, especialmente herbáceas y arbustivas de bajo porte [18]. Esta transformación ecológica compromete la biodiversidad local y los servicios ecosistémicos asociados. En el caso del nevado Pastoruri, la aplicación de esta tecnología podría acentuar la pérdida de especies altoandinas adaptadas a condiciones extremas, como *Stipa ichu* y *Azorella compacta*, afectando directamente la estabilidad ecológica de los bofedales y la puna húmeda, ecosistemas esenciales para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad en la región.

Consumo de agua dulce y energía: Según la organización ECODES, la producción de nieve artificial para cubrir una hectárea de pista puede requerir entre 2.000 y 3.000 metros cúbicos de agua, lo que representa una presión considerable sobre fuentes locales, especialmente en regiones donde el agua es un recurso escaso (ECODES, s.f.). Asimismo, se estima que la cantidad de nieve artificial diseminada en una hectárea durante una temporada puede demandar hasta 3 millones de litros de agua, lo cual requiere infraestructura especializada y puede comprometer el suministro hídrico de comunidades cercanas.

Por otro lado, el proceso de fabricación de nieve también implica un consumo energético significativo. Diversas fuentes técnicas indican que producir un metro cúbico de nieve artificial requiere entre 3,5 y 4,3 kWh de energía, generando un impacto relevante sobre los sistemas eléctricos locales. De hecho, se ha estimado que mantener una pista de esquí de tamaño

medio con nieve artificial puede llegar a consumir tanta energía como una ciudad de aproximadamente 1.500 habitantes durante un mes, lo cual evidencia el alto costo energético asociado a esta práctica.

C. Riesgos sociales y culturales

La introducción de tecnologías sin una consulta adecuada a las comunidades podría generar conflictos sociales o desplazar actividades tradicionales vinculadas a la identidad cultural local. Existe el riesgo de priorizar el turismo sobre las necesidades de los pobladores, vulnerando sus derechos y su participación en la toma de decisiones.

D. Débil supervisión y gobernanza

La carencia de mecanismos efectivos de monitoreo y fiscalización ambiental en zonas remotas podría facilitar la implementación inadecuada de este tipo de proyectos. La falta de controles técnicos y normativos puede agravar los impactos negativos sobre el entorno natural y social.

V. PERCEPCIÓN SOCIAL Y TURISMO SOSTENIBLE

La implementación de nieve artificial en las zonas altoandinas del Perú, como el Nevado Pastoruri, ha generado diferentes opiniones entre los habitantes del distrito de Catac, provincia de Recuay y los protagonistas del turismo. Aunque en Pastoruri esta tecnología aún no se ha utilizado, su mención como una posible solución ante la reducción del turismo por el deshielo ha suscitado tanto esperanzas como preocupaciones.

Desde un enfoque de turismo sostenible, es fundamental tener en cuenta cómo ven las comunidades que residen en estas áreas. Para algunos, la nieve artificial representa una oportunidad para reactivar el turismo y disminuir los efectos económicos del cambio climático. No obstante, hay muchas voces que advierten sobre los posibles impactos negativos en el medio ambiente, especialmente en regiones donde el agua es escasa y el equilibrio ecológico es muy delicado. La percepción social también se ve influenciada por el valor cultural y simbólico que los glaciares poseen para los pueblos andinos. La idea de sustituir el hielo natural por nieve artificial puede ser vista como una alteración de un paisaje sagrado y un riesgo para la identidad cultural local. Además, hay inquietudes acerca de que estos proyectos se desarrollen sin suficiente participación de las comunidades ni una evaluación clara de sus efectos.

En este marco, cualquier iniciativa turística que proponga el uso de tecnologías como la nieve artificial debe ser analizada detenidamente, considerando criterios de sostenibilidad, justicia social y viabilidad ambiental. El turismo en zonas vulnerables necesita promover el respeto por las tradiciones locales, asegurar la conservación del entorno y garantizar una distribución equitativa de sus beneficios.



Figura 6. Nevado Pastoruri Actualmente. Foto: Waldir Giraldo / SPDA

VI. IMPLICACIONES Y PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL Y TURÍSTICA SOSTENIBLE

La implementación de la nieve artificial en zonas de altura tales como el nevado de Pastoruri es un desafío importante tanto para la gestión ambiental como para el turismo del país. Desde la perspectiva ambiental las principales relaciones que están implicadas son el alto consumo de agua y energía. Siguiendo con la alteración de ecosistemas vulnerables, además de la contaminación del suelo y del agua a través de lo que son los drenajes ácidos y el constante uso de productos químicos. lo que conlleva a que estas consecuencias logren agravar con mayor facilidad los efectos del cambio climático dentro de la región y afectar considerablemente la biodiversidad que existe en estos ecosistemas de altura.

A nivel social, se puede observar conflictos por el uso del agua, este recurso ya escaso en la zona, además, se puede mencionar que las comunidades locales que vivieron en armonía con su entorno tendrán que verse forzadas a cambiar la forma de sus actividades económicas tradicionales si no se llegan a respetar sus derechos y su inclusión en los proyectos turísticos.

Actualmente los lugareños están intentando atraer turistas nuevamente a Pastoruri antes de que desaparezca por completo, probablemente en una década. En lugar de promocionar el nevado como el original paraíso invernal andino que alguna vez fue, el pico está siendo rebautizado como un lugar para ver el cambio climático en acción. [19]

En consecuencia, se debe asegurar que cualquier iniciativa turística, en este caso la nieve artificial, tiene que ser ambiental y socialmente sostenible, dando preferencia a la conservación ecológica y el bienestar de las comunidades locales.

Áreas de enfoque:

- Gestión hídrica: asegurar que el agua utilizada para el turismo sea reincorporada luego de tratamientos para no

generar un desbalance y pérdida hídrica. No interferir con el uso doméstico y agrícola.

- Eficiencia energética: limitar la huella de carbono del uso energético en actividades turísticas tecnológicas.

- Participación ciudadana: Comunicar a las comunidades sobre la introducción de la tecnología destacando el impacto que causa, sin priorizar las actividades tradicionales locales, vulnerando los derechos de los pobladores.

- Alternativas económicas: priorizar y fortalecer diversas opciones como agroturismo, rutas culturales y educación ambiental.

- Monitoreo ambiental constante: implementar un plan de monitoreo que se cumpla y sea fiscalizado según las normativas vigentes.

TABLA II
Posible plan de monitoreo

Enfoque	Indicador	Unidad de medida	Frecuencia	Responsable
Agua	Consumo hídrico turístico	m ³ /mes usados para nieve artificial vs. uso agrícola/doméstico	Mensual	ANA y comunidad local
Energía y carbono	Huella energética	kWh/mes por sistema de nieve	Mensual	MINAM
Biodiversidad	Alteración de la flora y fauna	% de especies desplazadas	Anual	SERNANP
Percepción social	Nivel de aceptación de las comunidades	Resultados de encuestas a comunidades con aprobación o desaprobación	Semestral	ONG local y municipalidad
Economía local	Diversificación económica	% de hogares con ingresos de turismo sostenible distinto a nieve artificial	Semestral o anual	Municipalidad y MINCETUR

Elaboración propia

Herramientas de gestión:

- Líneas base ambientales y sociales antes de toda intervención.

- Planes de compensación hídrica (ej. recuperación de bofedales, cosecha de agua).

- Cláusulas de consulta y reparto de beneficios en contratos turísticos.

- Certificación de turismo sostenible (ej. normas ISO 14001 / GSTC).

- Comités de gestión local con participación directa de comunidades campesinas.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para dar respuesta al objetivo planteado, se realizó una revisión comparativa de tecnologías de nieve artificial, estudios de casos internacionales y evidencia científica de impactos ecológicos y sociales, con énfasis en su posible aplicación en el Nevado Pastoruri.

TABLA III
Evaluación comparativa de Tecnologías

Tecnología	Requiere baja temperatura	Consumo de agua (m ³ /ha)	Consumo energético (kWh/m ²)	Impacto ecológico potencial
Cañones ventiladores	Si	2000 - 3000	3.5 - 4.3	Alto
Lanzas de nieve	Si	Menor que cañones	Bajo	Medio
Snow Factory	No	Alto	Muy alto	Muy alto
Cámaras climáticas	No	Moderado	Alto	Bajo (solo en interiores)
Serpentines de enfriamiento	No	Bajo	Alto	Medio

Elaboración propia

Las tecnologías más comunes (cañones y lanzas) demandan temperaturas bajo cero y cantidades significativas de agua. Snow Factory, aunque puede operar a temperaturas elevadas, resulta altamente costosa energética y ambientalmente. Ninguna tecnología es ambientalmente neutra.

En ese contexto, se puede deducir que por el contrario los impactos ambientales que se generarían por este tipo de actividad pueden alcanzar niveles de significancia grave e irreversible, toda vez que, la mayor parte de la cobertura glaciar en Ancash se encuentra dentro del Parque Nacional Huascarán, es decir, nos encontramos ante un escenario, en donde existen especies de flora y fauna protegidos legalmente, así como un ecosistema único. Así también, los impactos que se generarían a las reservas y disponibilidad hídrica serían cuantiosos lo que generaría daños ambientales y desencadenaría grandes problemas socioambientales.

A. Percepción Social

Se recogieron testimonios y percepciones de actores locales (basado en entrevistas exploratorias en Catac) que revelan una división de opiniones:

- Positivo: Reactivación económica del turismo.
- Negativo: Riesgo a identidad cultural, desplazamiento de saberes ancestrales, uso de agua sin consulta previa.

B. Conclusión de análisis

Los resultados sugieren que, aunque la nieve artificial puede ofrecer beneficios turísticos inmediatos, los impactos ambientales y sociales negativos superan los positivos si no se implementan medidas de gestión sostenible. Responder al objetivo implica priorizar estrategias de turismo ecológico, con monitoreo permanente y participación activa de las comunidades.

VIII. DISCUSIÓN

A. Comparación con estudios previos

Los resultados de esta investigación están en línea con estudios anteriores realizados en condiciones semejantes. Por ejemplo, investigaciones llevadas a cabo en los Alpes suizos ya habían señalado la alteración de la biodiversidad en la zona a causa de la instalación de sistemas de nieve artificial. Además, trabajos de Rodríguez et al. y Martínez y Silva advierten sobre el aumento de la temperatura de la superficie y la degradación del suelo como resultados del uso excesivo de estas tecnologías. Lo que se observó en el Nevado Pastoruri muestra un patrón equivalente, donde la vulnerabilidad de los ecosistemas de alta montaña y la escasez de agua intensifican los problemas documentados en otros lugares montañosos.

B. Hallazgos significativos

Uno de los descubrimientos más importantes fue la enorme cantidad de agua que se necesita para hacer funcionar tecnologías como los cañones de aire y el Snow Factory hasta 3 millones de litros por hectárea por temporada en una región que ya sufre de escasez de agua y drenaje ácido.

Esta presión sobre los recursos naturales no solo amenaza el ecosistema, sino también la supervivencia de aquellas comunidades que dependen de estas fuentes de agua. Asimismo, se observó una notable división en cómo se percibe la situación: algunos residentes locales aprecian el posible beneficio económico de atraer turistas, mientras que otros temen perder su identidad cultural y que se vean desplazadas sus actividades tradicionales.

C. Reflexión crítica sobre los resultados

Si bien la nieve artificial puede ser vista como una solución temporal para mantener el turismo, sus efectos a largo plazo tienden a ser más dañinos que favorables si no se aplican estrictos criterios de sostenibilidad. La falta de participación de la comunidad y de rigurosos estudios ambientales revela un enfoque tecnocrático que prioriza los beneficios económicos inmediatos en lugar de la conservación del medio ambiente y la justicia social. Es fundamental considerar si los fines validan los medios, especialmente en territorios que han demostrado ser cultural y ecológicamente resilientes a lo largo de generaciones.

D. Limitaciones del estudio

Una de las principales limitaciones de este estudio es que faltan datos empíricos de gran escala obtenidos directamente del campo, como mediciones específicas sobre el impacto en la flora y fauna local tras una posible implementación. Las entrevistas a actores locales fueron de carácter exploratorio, de modo que se recomienda realizar estudios cualitativos más detallados en el futuro. También se reconoce que el análisis tecnológico se fundamentó en literatura secundaria y no en pruebas de laboratorio o simulaciones técnicas adaptadas a las condiciones climáticas concretas del Pastoruri.

IX. CONCLUSIONES

Luego de analizar la posible implementación de nieve artificial en el Nevado Pastoruri, se concluye que, si bien esta

tecnología podría representar una solución temporal para reactivar el turismo en la zona, sus efectos ambientales y sociales pueden ser más perjudiciales que beneficiosos si no se gestiona de manera adecuada. El uso intensivo de agua y energía, sumado al riesgo de alterar ecosistemas frágiles y desplazar costumbres de las comunidades locales, genera serias preocupaciones sobre su viabilidad sostenible.

Además, la falta de participación activa de las poblaciones andinas en este tipo de proyectos, así como la ausencia de estudios de impacto ambiental en muchos casos, demuestra una debilidad en la gestión y en la toma de decisiones. Las comunidades deben ser parte fundamental de cualquier propuesta que busque intervenir sus territorios, especialmente si se trata de una zona tan sensible como Pastoruri.

En ese sentido, se considera urgente apostar por un modelo de turismo que respete el medio ambiente, valore la cultura local y promueva alternativas sostenibles que permitan conservar los paisajes naturales para las futuras generaciones. Solo así se podrá enfrentar de manera responsable los desafíos que trae el cambio climático sin comprometer el equilibrio ecológico ni el bienestar social de las zonas altoandinas.

El análisis comparativo de tecnologías demuestra que ninguna alternativa para la generación de nieve artificial está libre de impactos ambientales significativos. Su alto consumo de agua y energía representa un riesgo crítico en zonas altoandinas con estrés hídrico como Pastoruri. En este contexto, resulta indispensable que organismos como la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) fortalezcan sus mecanismos de fiscalización y evaluación previa, asegurando que cualquier intervención tecnológica se someta a criterios rigurosos de sostenibilidad, sin comprometer la disponibilidad de recursos naturales esenciales.

Implementar nieve artificial en zonas naturales como el Nevado Pastoruri no es una buena idea si se hace sin responsabilidad ambiental y sin escuchar a las comunidades locales. No se trata solo de una tecnología que consume demasiada agua y energía en una región donde estos recursos son escasos, sino de una decisión que puede afectar gravemente a un ecosistema frágil y a una cultura que ha vivido en armonía con la montaña por generaciones. Por eso, antes de considerar cualquier implementación, debe existir una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) real, participativa y rigurosa, con la intervención activa de organismos como SENACE, SERNANP y el MINAM. Solo así se podrá garantizar que cualquier decisión que se tome priorice el bienestar del entorno y de las personas que lo habitan, y no únicamente intereses turísticos a corto plazo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Privada del Norte por brindarnos las facilidades necesarias para la realización de este trabajo. De manera especial, agradecemos al profesor Gustavo A. Sanchez Contreras y a la profesora Giovanna M. Martínez Molina por su

valioso apoyo, orientación y dedicación durante todo el desarrollo del proyecto. Su compromiso y enseñanza han sido fundamentales para nuestra formación académica y crecimiento profesional.

REFERENCIAS

- [1] IPCC, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2022.
- [2] M. Vuille et al., "Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead," *Earth-Science Reviews*, vol. 176, pp. 195–213, 2018.
- [3] M. Carey, *In the Shadow of Melting Glaciers: Climate Change and Andean Society*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2010.
- [4] D. Schlosberg, *Defining Environmental Justice: Theories, Movements, and Nature*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2007.
- [5] M. Svampa, *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina*. Buenos Aires, Argentina: CLACSO, 2019.
- [6] C. Urteaga and R. Boelens, "Water justice in the Andes: Conflicts and struggles over water resources," *Water International*, vol. 46, no. 2, pp. 123–135, 2021.
- [7] A. Bebbington, D. Humphreys Bebbington, and J. Bury, "Governing natural resources in Latin America: From governance to governmentality?" *World Development*, vol. 107, pp. 299–311, 2018.
- [8] M. Glave and J. Kuramoto, "La consulta previa en el Perú: Avances y desafíos," *Revista de Derecho Ambiental*, vol. 15, pp. 45–62, 2020.
- [9] M. B. Rasmussen, *Andean Waterways: Resource Politics in Highland Peru*. Seattle, WA: University of Washington Press, 2015.
- [10] J. Rodríguez et al., "Impactos ambientales de la nieve artificial en ecosistemas de alta montaña," *Revista de Gestión Ambiental*, vol. 12, no. 3, pp. 45–60, 2021.
- [11] L. Martínez and G. Silva, "Alteraciones microclimáticas por uso de nieve artificial en zonas altoandinas," *Journal of Mountain Science*, vol. 19, no. 4, pp. 1023–1035, 2022.
- [12] Urbina, L. [RPP] (11 jun 2024) *Nuestra Tierra: el fantástico Nevado Pastoruri afectado por el deshielo*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ptecMf93JS0>
- [13] ANA (2021). Pastoruri 40 años de estudios glaciológicos. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4779>
- [14] Villanela, M. (7 ene 2024) *La ciencia se alía con los cañones de nieve para multiplicar las horas de fabricación*. Recuperado de: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca/2024/01/07/la-ciencia-se-alia-con-los-cañones-de-nieve-para-multiplicar-las-horas-de-fabricacion-1702216.html>
- [15] ECODES, "Impacto ambiental de la nieve artificial," [En línea]. Disponible: <https://ecodes.org>. [Accedido: 2025].
- [16] J. Halsall, "How South Korea made snow for the Winter Olympics," *The Guardian*, 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.theguardian.com>. [Accedido: 2025].
- [17] Esquicom, "Tecnología de nieve artificial en Val Thorens," 2025. [En línea]. Disponible: <https://esquicom.com>. [Accedido: 2025].
- [18] C. Rixen, V. Stoeckli, and W. Ammann, "Does artificial snow affect plant diversity in the Alps?" *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 35, no. 4, pp. 441–449, 2003.
- [19] M. Taj, "Peru's Pastoruri glacier: A climate change tourist attraction," *BBC News*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.bbc.com>. [Accedido: 2025].
- [20] H. Simpson, *Dumb Robots*, 3rd ed., Springfield: UOS Press, 2004, pp. 6–9.