

Porque no se realizan Operaciones de aumento de nieve en glaciares andinos peruanos

El retroceso glaciar acelerado en los Andes, por el calentamiento global antropogénico CGA, ha sido monitoreado y modelado en algunas montañas, han desaparecido muchos con cotas inferiores a 5,000 msnm, y viene asociado a una pérdida en el recurso agua para la época de estiaje (Junio--Setiembre), afecta sensiblemente a diferentes sectores agro, energía, salud (ej. agua para el 70% de la población peruana asentada en valles de la costa desértica). Existen en marcha variados proyectos en la comunidad andina para atender las consecuencias del acelerado retroceso glaciar, ninguno para atender o mitigar el proceso.

Ciertamente, la recuperación de estos bancos de agua sólida, valiosos para los ecosistemas andinos de montaña, costeros y amazónicos, pasa por una lucha contra los forzantes antropogénicos del calentamiento global, el abatimiento de las emisiones de GI gases invernadero, de forma que eventualmente pueda lograrse primero una estabilización y luego el retorno de los contenidos atmosféricos por debajo de 350 ppm (hoy en 387 ppm creciendo a tasas de 2.5 ppm anual). Siendo técnicamente factible el paso a una civilización post-petróleo, acelerar el cambio es un imperativo. Validar este acierto es relativamente sencillo, basta contabilizar los usos de la energía globales, ~15 Tera Kw, y calcular bajo supuestos de la "constante solar en superficie" y la eficiencia actual de los sistemas de energía solar, que área sería necesaria cubrir; se encuentra que con un cuadrado de 500Km de lado, superficie que cabe en muchos desiertos, sería más que suficiente para suplir las demandas de energía de toda la humanidad. Si añadimos la ingente energía hidroeléctrica, eólica, biomasa, tal migración de fuentes de energía es ciertamente posible, esencialmente requiere voluntades políticas para cambiar la dirección de las inversiones actuales de energías globales en combustibles fósiles, a fuentes limpias y renovables, el futuro es hoy pero la mentalidad social energética está literalmente fosilizada.

Además, siendo el CGA la razón principal del Cambio Climático Planetario CCP, existe un sesgo en la discusión a observar exclusivamente la variable temperatura, o los forzantes GEI antropogénicos, sin embargo una fundamentación más correcta del CCP, requiere tomar en cuenta todos los componentes de forzamiento de la radiación terrestre, que hoy muestra un desbalance positivo de $\sim 1.6 \text{ w/m}^2$ de calentamiento adicional (1.6 MW/Km^2), ver gráfico IPCC2007. Este muestra la ciencia apropiada a tomar en cuenta en las discusiones para lograr acuerdos para la estabilización del clima planetario, la física correcta. El sesgo justifica los actuales Mercados del Carbono MC y STE Sistemas de Transacción de Emisiones, que negocian el continuar emitiendo, compensando económicamente teóricas sustracciones y reducciones, mediante forestación e inversiones en tecnologías emisoras más eficientes o limpias.

Sería deseable dar paso a un Mercado de Forzantes MF (de la radiación terrestre) y su STF Sistema de Transacción de Forzamientos (donde los MC y STE son un caso particular), facilitaría la negociación justa, con responsabilidades diferenciadas entre países, respecto al problema del CGA, equidad que se manifestaría de principio por ej., al considerar el STF los forzamientos actuales de gases invernadero, que son producto de su acumulación histórica, factor ignorado en las actuales negociaciones, así mismo tomar en cuenta otros forzantes y albedo de las superficies glaciares y uso de la tierra, igualmente no considerados, que hoy se introducen en los MC bajo artificiales justificaciones de carbón equivalente, siendo factores físicos reales de

forzamiento de la radiación terrestre (entre la radiación incidente del Sol y la re-emitada por el planeta al espacio exterior).

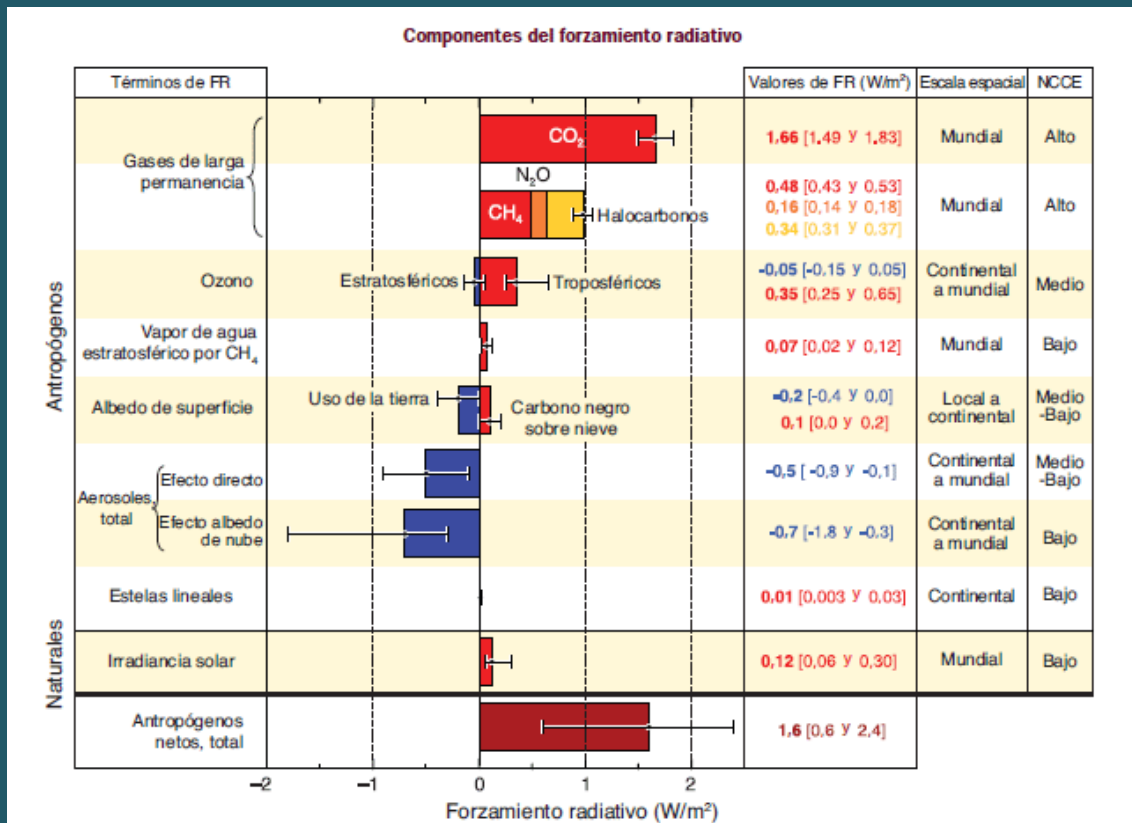


Figura 2.4. Promedio mundial del forzamiento radiativo (FR) en 2005 (estimaciones óptimas y horquilla de incertidumbres del 5 al 95%) respecto de 1750 para CO₂, CH₄, N₂O y otros agentes y mecanismos importantes, extensión geográfica típica (escala espacial) del forzamiento, y nivel de conocimiento científico (NDCC) evaluado. Los aerosoles procedentes de erupciones volcánicas explosivas añaden un término de enfriamiento episódico durante cierto número de años después de una erupción. En el intervalo de valores de las estelas de condensación lineales no se incluyen otros posibles efectos de la aviación sobre la nubosidad. (GTI Figura RRP.2)

Sirva la discusión previa para mostrar que en la lucha contra el cambio climático, el mayor reto de la humanidad del siglo XXI, o del milenio según declaraciones de las UN, no podrá ser abordado correctamente sin la física apropiada, y que si bien el forzamiento de calentamiento de los GI es el más importante, existen forzamientos de naturaleza diferente, que juegan un rol importante en el balance de radiación planetario, negativos o de enfriamiento (ej. albedo por uso de la tierra, superficies glaciares, aerosoles), que no pueden ser ignorados y que, para buscar la estabilización del clima planetario, deben ser tratados de manera diferenciada, su atención no puede ser supeditada al sesgo de la exclusiva mitigación de los GEI, STE y MC.

Colateralmente, una reciente publicación de la Royal Society sobre: “Geo-Ingeniería del Clima”, da luces sobre el tema de la modificación intencional y planificada del clima a gran escala. Separa dos grandes tipos de metodos, aquellos para Atrapar y Secuestrar el Carbono ASC, (CO₂, CH₄ atmosféricos), de otros que tratan del Manejo de la Radiación Solar MRS. La re (y) forestación, clasificables dentro de los ASC no son consideradas geo-ingeniería, y en general concluye que se debe preferir ASC al MRS, que en muchos casos los costos de su implementación son mayores que la aplicación oportuna de las políticas de mitigación por forestación y migración a fuentes de energía limpias, y que la geo-ingeniería del clima propone métodos complementarios para evitar el cambio climático peligroso.

Para comparar las diferentes técnicas ASC(CDR) & MRS(MRS), se utilizan criterios de: efectividad, costos, impacto ambiental, riesgos, restricciones, efectos laterales, etc. se muestra cuadros resumen, tomados del Informe sobre Geo Ingeniería del Clima - Royal Society 2009.

Table 2.9. Comparison of maximum effectiveness of the different CDR methods

Deployed to remove 1 GtC/Yr						
Technique	Cost	Impact of anticipated environmental effects	Risk of unanticipated environmental effects	Ultimate constraint	Max reduction in CO ₂ (ppm)	Reference
Land use and afforestation	Low	Low	Low	Competition with other land uses, especially agriculture	n/a	Canadell & Raupach (2008); Naidoo <i>et al.</i> (2008)
Biomass with carbon sequestration (BECS)	Medium	Medium	Medium	Competition with other land uses, especially agriculture. Availability of sequestration sites	50 to 150	Read & Parshotam (2007); Korobeinikov <i>et al.</i> (2008)
Biomass and biochar	Medium	Medium	Medium	Supply of agricultural / forestry waste	10 to 50	Gaunt & Lehmann (2008)
Enhanced weathering on land	Medium	Medium	Low	Extraction and energy costs	n/a	Schuiling & Krijgeman (2006)
Enhanced weathering—increasing ocean alkalinity	Medium	Medium	Medium	Extraction and energy costs, ocean carbonate precipitation	n/a	Kheshgi (1995); Rau (2008)
Chemical air capture and carbon sequestration	High	Low	Low	Cost availability of sequestration sites	no obvious limit	Keith <i>et al.</i> (2005)
Ocean Fe fertilisation	Low	Medium	High	Dynamics of ocean carbon system	10 to 30	Aumont & Bopp (2006)
Ocean N and P fertilisation	Medium	Medium	High	Cost and availability of nutrients	5 to 20	Lenton & Vaughan (2009)
Ocean upwelling, downwelling	Not possible				1 to 5	Zhou & Flynn (2005)

Table 3.6. Comparison of SRM techniques

SRM technique	Maximum radiative forcing (W/m ²)	Cost per year per unit of radiative forcing (\$10 ⁹ /yr/W/m ²)	Possible side-effects	Risk (at max likely level)
Human Settlement Albedo ^(a)	-0.2	2000	Regional Climate Change	L
Grassland and Crop Albedo ^(b)	-1	n/a	Regional Climate Change Reduction in Crop Yields	M L
Desert Surface Albedo ^(c)	-3	1000	Regional Climate Change Ecosystem impacts	H H
Cloud Albedo ^(d)	-4	0.2	Termination effect ^(h) Regional Climate Change	H H
Stratospheric Aerosols ^(e)	Unlimited	0.2	Termination effect Regional Climate Change Changes in Strat. Chem.	H M M
Space-based Reflectors ^(f)	Unlimited	5	Termination effect Regional Climate Change Reduction in Crop Yields	H M L
Conventional Mitigation ^(g) (for comparison only)	-2 to -5 ^(a)	200 ^(g)	Reduction in Crop Yields	L

Es notable que, los métodos de modificación artificial de la precipitación no sean considerados, probablemente por el sesgo hacia la temperatura como mayor conductor del cambio del clima.

La Royal Society recomienda que, previo a cualquier experimentación desarrollo o implementación futura de métodos de geo-ingeniería, se deben considerar los siguientes criterios: 1) Legalidad 2) Efectividad 3) Temporalidad (para la implementación y efectos sobre el clima) 4) Impactos ambientales, sociales y económicos (incluyendo consecuencias inesperadas) 5) Costos 6) Mecanismos de financiamiento 7) Aceptación Pública 8) Reversibilidad (tecnológica, política, social y económica).

Acá, se usa dichos criterios para responder al título del artículo, bajo la asunción implícita de que: un glaciar de montaña en retroceso requiere para su recuperación primordialmente ingresos adicionales de nieve. Esto es una tarea ambientalmente deseable de lucha contra el cambio climático local; teniendo claro que, reducir la temperatura es también necesario pero que, la mitigación del calentamiento global es obligación ética planetaria.

Además, entendiendo que es un problema secular cuya solución involucra múltiples sectores, el autor ha propuesto reiteradamente, a distintos estamentos del estado, se invierta en un perfil SNIP para formalizar: Operaciones Recurrentes de Aumento de Nieve en Glaciares Ecosistémicamente, ORANGE, donde se propone trabajar con comunidades alto andinas tareas peri-glaciares de andenería con agro-forestación nativa, para mejorar las condiciones del albedo y humedad circundantes o de la zona de amortiguamiento; y con la alianza y concurso de la cooperación técnica internacional, junto a múltiples instituciones nacionales y academia, utilizar técnicas de la física de nubes para mejorar la eficiencia natural de precipitación de nieve, operando físicamente sobre nubes súper-frías no precipitadas. Se evalúa esta propuesta.

- 1) **Legalidad:** La ley de aguas peruana encarga al estado velar por el cuidado de las fuentes de agua, sin especificar cómo hacerlo en el caso de los glaciares, en tanto que los cualesquiera usos del agua recaen en la autoridad nacional de agua ANA, que pertenece al sector agricultura, y tiene entre sus oficinas una unidad de glaciología; la calidad del agua recae en Salud bajo la superintendencia nacional del agua y servicios de saneamiento SUNASS; los usos energéticos recaen en el Ministerio de Energía; el Ministerio del ambiente cuenta con oficinas de Valoración de Recursos Naturales y Cambio Climático, además del IGP y SENAMHI (Instituto Geofísico Peruano y Servicio nacional de meteorología e hidrología) dentro de su mandato, previéndose que la ANA lo haga pronto, por lo que este sería el sector ejecutivo encargado. En la fecha, La Comisión de Pueblos Andinos Amazónicos y Afro-Peruanos del Congreso, tiene interés en propulsar un proyecto de ley para mitigar el retroceso glaciar. En conclusión hay un limbo entre el vacío legal específico y mandatos genéricos no asumidos.
- 2) **Efectividad:** el retroceso glaciar da lugar a un entorno seco rocoso de bajo albedo, que provee un reforzamiento al calentamiento local; un modelo virtuoso de servicios ambientales, donde las poblaciones a lo largo de la cuenca acordaran enviar sus residuos orgánicos tratados a la cabecera de cuencas, para realizar andenerías de agro-forestación peri-glaciar con especies nativas, reduciría este forzamiento proveyendo reducción del albedo y aumento de humedad local, junto a trabajo y medios a comunidades en extrema pobreza, involucradas en una estrategia para la preservación de la biodiversidad al

implementar áreas de migración ad hoc. De otro lado, con el calentamiento global es de esperar una reducción en la eficiencia natural de precipitación como nieve en las zonas glaciares, las zonas de mayor cobertura nubosa por excelencia. Se observa con relativa frecuencia en estas zonas, nubes cargadas que pueden precipitar sin realizarlo, donde la dispersión de agentes catalíticos (humos Agl algunos gramos o, se-CO₂ o N₂-Líquido unos Kg, etc.) facilitaría completar este proceso. Declara la Organización Meteorológica Mundial OMM sobre las distintas técnicas MAT de Modificación Artificial del Tiempo atmosférico, que en todas existen dudas, excepto en la disipación de nieblas frías (T<-5°C) donde la eficiencia es tan alta que ni se ha evaluado cuanto. Este tipo de nubes o nieblas son las presentes sobre los glaciares, y su disipación da lugar a precipitación sólida, siendo el mejor tiempo de operación la madrugada. Adicionalmente, aunque en otros contextos latitudinales, las operaciones de aumento de nieve durante el invierno se realizan desde hace más de medio siglo en USA, China, Rusia, declarando ingresos adicionales entre 15 a 20% anuales, por lo que extrapolando por altitud, ante la ausencia de pruebas experimentales locales a la fecha, se estima que la efectividad de la propuesta ORANGE sea similar, lo que es mediana a alta efectividad, comparado al actual estado de inacción.

- 3) **Temporalidad:** La implementación de servicios ambientales en tareas comunales para el aseguramiento de agua, construyendo andenes agro-forestales con especies nativas, requiere de acuerdos de cuenca, para la provisión de compensaciones mediante materia orgánica tratada, y remuneraciones, así como la construcción, la siembra y crecimiento de las especies, por lo que efectos sensibles de aumento de humedad y cambio de albedo en la zona de amortiguamiento pueden tomar unos años, pero sus permanentes efectos benéficos de regulación hidrológica lo ameritan. Por otro lado, las operaciones de modificación inducida de la precipitación sólida, desde nubes frías, son una tarea de montaje de tecnologías existentes, que en contextos políticos, institucionales y financieros apropiados, puede efectuarse en plazos muy cortos, semanas a meses, siendo sus efectos sobre el clima, ingresos adicionales de nieve sobre glaciares en retroceso, inmediatos, aunque dependientes de las condiciones naturales del año hidrológico (de seco a per-húmedo) como de la eficacia física-científica de la siembra. Es la combinación de ambas tareas lo que garantizaría su mutuo suceso.
- 4) **Impactos ambientales, sociales y económicos:** Los impactos ambientales de frenar el retroceso glaciar y eventualmente recuperar glaciares en los Andes, son los de mantener los actuales beneficios brindados a los ecosistemas de montaña, costeños, amazónicos y la perspectiva de preservación de la biodiversidad vs desertificación, invaluable. Socialmente las tareas de construcción de andenes tienen un alto valor estratégico, significa recuperar técnicas ancestrales y recobrar la memoria histórica, preservando la cosmogonía local. El impacto económico es altamente positivo sobre las comunidades, pues se revierte una situación de riesgo de pérdidas por escases, a otra de ampliación de la frontera agro-forestal, logrando beneficios de los residuos orgánicos que actualmente generan contaminación por acumulación, mas aseguramiento de fuentes de agua tradicionales. En caso de que las operaciones de modificación artificial del tiempo no se dieran de manera científicamente controlada, existe riesgo de generar exceso de precipitaciones, riesgo que aumenta sin realizar estas operaciones, creciente bajo los modelos actuales de evolución del clima, y pérdida del efecto temperante y regulador por

la presencia de las masas glaciares, Apus de la cosmogonía Andina. La apropiación local de la ciencia atmosférica aplicada, es un valor estratégico cultural asociado a la propuesta.






- 5) **Costos:** La construcción de andenes en las zonas peri-glaciares requiere de piedras para los muros, que existiendo ahí en abundancia, su costo es nulo; el material orgánico residual proveído por las poblaciones de la cuenca, tendría costos de procesamiento y transporte. Además, los costos de mano de obra se pueden estimar por m^2 vertical de muro de piedra, y m^2 horizontal de adecuación de terreno fértil e insumos de siembra, donde una media arbitraria de $\$5/m^2$ para ambas puede ser apropiada, y da lugar a valores millonarios, para dimensiones de decenas de km^2 por glaciar, aparentemente altos, ello se justifica bajo una óptica andina más adelante. Los costos operacionales anuales pueden asumirse en 250K\$, iguales a la media de inversión realizada durante las operaciones para aumento de lluvia realizadas en la Sierra Central Peruana el año hidrológico 92-93, a falta de otro, pudiendo ser sensiblemente menores por zona glaciar. Sin embargo son requeridos costos iniciales en instrumental científico de monitoreo y operacional especializado del orden de 500K\$, para un generador de nitrógeno líquido, un vehículo aéreo no tripulado, generadores superficiales remotos de humos de AgI, LIDAR atmosférico, radar meteorológico, estaciones automáticas de monitoreo glaciar.
- 6) **Mecanismos de financiamiento:** Bajo la óptica de los mercados occidentales hasta el siglo XX, economías de la Banca Mundial basan su rentabilidad exclusiva en base al interés de corto plazo generado en dinero. Bajo esta perspectiva proyectos de recuperación de ecosistemas no tienen lógica, y el planeta está aún condenado. Sin embargo, una economía moderna (necesaria dadas las crisis globales generadas por la economía convencional, que ha interferido con el clima planetario tornándolo peligroso al desarrollo humano), no puede seguir operando bajo supuestos de empresas como sistemas cerrados, si no abiertos a un entorno que afecta y puede afectarlo. Se habla entonces de sostenibilidad ambiental como requisito fundamental. Así por ejemplo, en la discusión inicial se propone evolucionar los mercados del carbono y su sistema de transacción de emisiones, para lograr una negociación del clima planetario con mayor equidad, a los sistemas de transacción de forzantes para buscar el balance de radiación terrestre, donde el uso de la tierra y albedo son componentes físicos con igual realidad que la acumulación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. De lograr estos contextos el financiamiento estaría garantizado, en tanto ello se da, se deberá recurrir a los fondos para la mitigación de desastres proveídos por la “buena voluntad de los países desarrollados” y la cooperación técnica internacional voluntaria, para cubrir costos de implementación inicial. Los costos de mantenimiento anual u operacionales, se podrán cubrir bajo los mecanismos de servicios ambientales de los ecosistemas, con la participación de las empresas beneficiadas, generadoras eléctricas, agrícolas y mineras con responsabilidad social. Sin embargo, todo ello requiere primordialmente subsanar criterios de legalidad.
- 7) **Aceptación Pública:** la realización de operaciones para la recuperación glaciar es una propuesta original del autor, mereció ser presentada en la cartera de proyectos presentada por RREE en la cumbre del desarrollo sostenible Johannesburgo 2002; y esta en los Planes de Manejo de la Comunidad Campesina Área de Conservación Privada Huayllapa en la Cordillera Huayhuash; sin mediar participación del proponente ha sido incorporada en el Plan de Desarrollo de la cuenca alta del río Rimac (Ordenanza Municipal

Cocachacra); en la Agenda Climática Macro centro (Huancavelica, Pasco, Ayacucho y Huancayo); la Agenda Social de Emergencia del llamado Mundial a la acción contra la pobreza; ha sido presentada en múltiples eventos universitarios científicos locales como el ECI, se comento en Radios de provincias y en RPP, mereció la atención de reportajes televisivos, y medios como El Comercio y Caretas le han dedicado extensos titulares, es difundida en redes ambientalistas de internet. Esta positiva expectativa en la sociedad ante la propuesta, choca contra la indiferencia y extraña mala lectura de instituciones consultadas, que por ej. leen proyecto donde se escribe propuesta sin perfil ni unidad formuladora, ...“por tanto declaran inviable”.

- 8) Reversibilidad (tecnológica, política, social y económica):** No existe nunca buen motivo para deshacer andenes. Igualmente, las inversiones propuestas en tecnología siempre serán útiles para mejorar la modelación atmosférica, y las operaciones de modificación artificial del tiempo, pueden detenerse a voluntad cualquier momento.

Conclusiones:

¿Por qué no se realizan Operaciones de Aumento de Nieve en Glaciares Peruanos?

-  No existen contextos de ética de conservación globales
-  No existen los contextos legales ni institucionales nacionales
-  Existe una inercia política y social negligente que debe ser evitada
-  Una opción de contingencia de interés público, se detiene por opiniones personales
-  Las instituciones se limitan a sus competencias de mandato, no amplían sus funciones operativas. El estado se siente incapaz de invertir en un perfil ORANGE.

Recomendación: se invierta en un perfil SNIP – ORANGE en contextos oficiales.

Ramiro Valdivia H. Físico 2k9

Este artículo fue presentado en

[Conferencia: Cambio Climático en la Cuenca del Mantaro - IGP](#)