

# COMO DESTRUIR EL MEDIO AMBIENTE

por Gordon J. F. MacDonald, U.S.A. 1968

El profesor MacDonald, es director asociado del Instituto de Geofísica y Física Planetaria de la Universidad de California, Los Ángeles. Su investigación abarcó una gran variedad de fenómenos naturales y su actividad profesional se vio ampliada por su participación en las políticas científicas nacionales como miembro del Comité Asesor Científico del Presidente Johnson.



**Capítulo: “A menos que instauremos la paz”**

**- Una previsión científica de nuevas armas -**



**22 de Julio de 1968**

– Viking Adult – ISBN: 978 067 074 1140 / Editado por Nigel Calder

## A menos que instauremos la paz

- Una previsión científica de nuevas armas –



Con su estilo y prosa desapasionada y su mensaje de vida o muerte, este libro extraordinario e importante debe y tiene que encoger el corazón y aclarar los pensamientos del lector.

Nigel Calder es un escritor y editor inglés conocido y respetado. Durante muchos años editó el London's New Scientist, cuya ascendencia trascendió fronteras.

En este volumen dirigió la aportación de 16 científicos reputados, de seis países, y les preguntó cuál serían sus previsiones de la guerra en el futuro.

A cualquier profano que lea esto le será más difícil calificar a la comunidad científica, en su conjunto, de inconsciente e insensible. Algunos autores en el capítulo de guerra química afirmaron: "Podemos plantearnos la pregunta de si todas las ciencias son malditas. Una de dos, o eliminamos la ciencia o eliminamos la guerra"

No podemos tener las dos. "Sin duda existe una escalofriante fascinación en estos saltos al futuro – tanques ciepiés robot con detonadores de bombas de hidrógeno; gases nerviosos; misiles y submarinos refinados; armas bacteriológicas; falacias fatales convertidas en disuasión atómica; potencial para alterar la misma naturaleza; pesadillas científicas y militares que el hombre se esfuerza por hacer realidad. Sin embargo el lector no corre peligro de perder por un momento la perspectiva de los hechos "A menos que llegue la paz" no se trata de un catálogo de extrapolaciones bélicas sino todo lo contrario, de uno de los mayores imperativos morales en la historia de la humanidad.

# COMO DESTRUIR EL MEDIO AMBIENTE

por Gordon J. F. MacDonald, U.S.A.

El profesor MacDonald, es director asociado del Instituto de Geofísica y Física Planetaria de la Universidad de California, Los Ángeles. Su investigación abarcó una gran variedad de fenómenos naturales y su actividad profesional se vio ampliada por su participación en las políticas científicas nacionales como miembro del Comité Asesor Científico del Presidente Johnson.



Entre los medios para lograr objetivos nacionales por la fuerza destaca el potencial del hombre para controlar y manipular el medio ambiente de su planeta. Cuando logre este poder sobre el propio entorno, el hombre tendrá una nueva capacidad para hacer un daño incalculable e indiscriminado. Nuestra comprensión primitiva del cambio deliberado del medio ambiente nos impide imaginar un mundo en el que se practica la guerra geofísica. Este mundo sería uno en el que las armas nucleares estarían prohibidas y las armas de destrucción masiva serían las de catástrofe medio ambiental.

Alternativamente, considero que la estabilidad nuclear actual como consecuencia de una mayor paridad en este ámbito, podrá desestabilizarse debido al desarrollo de tecnología avanzada por parte de una nación para modificar el medio ambiente de la tierra. En ese contexto las armas geofísicas podrán formar parte del arsenal de cada nación. Como explicaré más adelante, estas armas son particularmente apropiadas para guerras secretas o ocultas.

La literatura de ciencia ficción contiene muchas sugerencias sobre como progresarían las guerras si el hombre ciertamente adquiere la capacidad para cambiar el tiempo, el clima, o las corrientes de los océanos. Sin embargo, muchas de estas sugerencias de ficción y otros debates serios, fallan a la hora de tener en cuenta los límites de la naturaleza. Jules Verne dio una perspectiva detallada sobre el desplazamiento de los casquetes polares, para equilibrar las zonas climáticas del mundo.

(Los Viajes Extraordinarios; Sans Dessus Dessous, Metzel, 1889). La propuesta de Verne consistía en eliminar la inclinación de  $23^\circ$  del eje de la tierra situándolo en ángulos apropiados en relación con el plano sol-tierra. No obstante, como Verne señaló correctamente en un debate posterior, la protuberancia ecuatorial estabiliza nuestro planeta e incluso el lanzamiento de un proyectil de 180.000 toneladas podría producir tan solo un desplazamiento de 1/10 micrones.

El senador Estes Kefauver, candidato a la vicepresidencia en las elecciones de 1956, redescubrió la original propuesta de Verne y se enfrascó seriamente en el redireccionamiento de los ejes terrestres aseverando que con un bomba de hidrógeno se podría lograr un desplazamiento de  $10^\circ$ . Ni el senador ni sus asesores científicos ignoraban el papel estabilizador del abultamiento de la tierra. El desplazamiento máximo que se puede esperar con la explosión de una bomba de hidrógeno de 100 megatones es menos de un micrón, como Walter Munk y yo mismo señalamos in nuestro libro "La rotación de la tierra", Cambridge, 1960.

El progreso sustancial de las ciencias medioambientales está supliendo la laguna entre hechos reales y ficticios en relación con la manipulación del entorno físico terrestre. A medida que esta manipulación se hace posible, la historia nos muestra que será utilizada para satisfacer las ambiciones nacionales. Si se quiere considerar las consecuencias de la modificación climática en luchas entre naciones, es preciso considerar la situación actual al respecto y cómo los pretendidos desarrollos podrían llevarnos, en diez o quince años, a sistemas de armamento que utilizarían la naturaleza de forma nueva y quizás inesperada.

La clave de la Guerra geofísica supone la identificación de las inestabilidades a las que la adición de una pequeña cantidad de energía conllevaría a la liberación de enormes cantidades de energía. La inestabilidad climática hace referencia a una situación en la que la naturaleza tiene almacenada más energía de lo habitual en alguna parte de la tierra o sus alrededores. Para desencadenar esta inestabilidad, la energía requerida podría ser introducida de forma violenta mediante explosiones o, menos violenta, mediante pequeños trozos de materiales capaces de producir cambios rápidos actuando como catalizadores o agentes nucleantes. El mecanismo para el almacenamiento de energía puede deberse a la acumulación de presión durante cientos de millones de años en la tierra sólida, o al súper enfriamiento del vapor de agua en la atmósfera mediante corrientes ascendentes en curso durante varias decenas de minutos. Los efectos de la liberación de esta energía podrían darse a nivel mundial, como en el caso de alterar el clima, o a nivel regional, como en el caso de generar terremotos locales o aumentar las precipitaciones.

## **MODIFICACIÓN DEL TIEMPO ATMOSFÉRICO**

La atmósfera de la tierra es un manto de aire que rota, generalmente, a la misma velocidad que la masa terrestre y océanos. El movimiento relativo entre la atmósfera y la tierra surge de fuentes y sumideros de energía que varían su ubicación y fuerza pero que se alimentan de la radiación solar. La cantidad de energía presente en los sistemas climáticos excede sustancialmente la cantidad de energía bajo el control directo del hombre.

Por ejemplo, la cantidad de energía usual en el embudo de un tornado equivale a 50 kilotonnes de explosivos aproximadamente; una sola célula tormentosa intercambia alrededor de diez veces esta energía a lo largo de su desarrollo; un huracán Atlántico de talla moderada puede sacar del mar más de 1.000 megatonnes de energía. Estas enormes cantidades de energía hacen improbable que técnicas de fuerza bruta puedan desembocar en una modificación sensible del clima. Sin embargo se podrían lograr resultados trabajando en las inestabilidades de la atmósfera.

Apenas estamos empezando a comprender los distintos tipos de inestabilidad atmosférica. Las gotas de agua súper enfriada en nubes frías son inestables pero se mantienen líquidas durante periodos sustanciales a menos que se aporten núcleos con los que puedan congelarse. La conversión de gotas de agua a hielo mediante la introducción de núcleos artificiales puede generar una fuente puntual de energía. Esta energía liberada puede causar la formación de corrientes de aire que a su vez conlleva a una mayor formación de agua súper enfriada. Este proceso puede desembocar en precipitaciones mayores que las que se hubieran registrado sin la nucleación artificial. Por otro lado, podría surgir una segunda inestabilidad cuando el vapor de agua se condensa para formar agua, lo que afectaría de nuevo la distribución de una determinada energía. A una escala mucho mayor nos encontramos con la denominada inestabilidad baroclínica de las ondas atmosféricas que rodea el planeta. El desequilibrio de temperatura entre el ecuador y el polo hace que se almacene la energía de esta inestabilidad para ser liberada en la creación de grandes tormentas ciclónicas en las zonas templadas. Existen otras inestabilidades menos conocidas capaces de afectar el clima, de las que hablaré más tarde.

¿Cuál es la situación actual en relación con la modificación climática y cuáles serían las expectativas razonables en el futuro? Los experimentos llevados a cabo los últimos 18 años han demostrado inequívocamente que las nubes compuestas por gotas de agua súper enfriada pueden transformarse en nubes de cristales de hielo si se las siembra con yoduro de plata, "hielo seco" (dióxido de carbono congelado) y otros agentes químicos apropiados. Este descubrimiento ha sido aplicado de forma operativa para despejar los aeropuertos cubiertos por niebla baja súper fría.

No existe una técnica análoga hasta la fecha para despejar la niebla de irradiación aunque se están investigando algunas fórmulas prometedoras. En el caso de nieblas de irradiación, la inestabilidad atmosférica surge del hecho que el vapor de agua distribuido en pequeñas gotas contiene más superficie energética que el mismo agua distribuida en gotas más grandes. El quid para despejar este tipo de niebla sería descubrir la forma de lograr que las pequeñas gotas se organizaran ellas mismas para formar gotas mayores y caer al suelo.

Cada vez hay más evidencias, aunque no concluyentes, de que las precipitaciones de nubes y algunas células tormentosas en regiones templadas pueden aumentar de diez a quince por ciento con la siembra. Evidencias más controvertidas indican que la precipitación de cúmulos tropicales puede aumentar mediante técnicas similares a las empleadas en regiones templadas. Experimentos preliminares con huracanes buscan disparar las nubes alrededor del ojo del huracán con el fin de dispersar su energía y reducir su fuerza. Los resultados han sido controvertidos pero indican que la siembra puede, en algunos casos, aumentar el crecimiento de la nube sembrada. Esta

posibilidad influiría en la modificación del huracán, pero los experimentos no permiten concluirlo definitivamente.

En relación con la supresión de los relámpagos, existen evidencias variadas pero prometedoras de que la frecuencia de nubes con descargas a tierra puede reducirse mediante la introducción de 'chaff', virutas de aluminio como las que se utilizan para generar ecos falsos en el radar del enemigo. En el futuro está claro que se llevarán a cabo grandes avances en el ámbito de la modificación climática. Hoy, tanto el transporte militar como el civil se benefician de los progresos de dispersión de la niebla. Un mayor progreso en la tecnología de aplicar el agente de siembra a la niebla hace pensar que este tipo de dispersión será rutinaria. En cierto sentido, la dispersión de la niebla es la primera aplicación militar de manipulación deliberada del tiempo, pero es, desde luego muy limitada.

Los Estados Unidos están llevando a cabo programas de envergadura para explorar una mayor posibilidad de aumentar las precipitaciones, particularmente en los estados del oeste y noreste del país. En las zonas altas del oeste, la nieve de las tormentas invernales, procuran la mayor parte de la humedad del país. Se están llevando a cabo investigaciones para ver de qué forma la siembra puede aumentar las nevadas y mejorar los recursos hídricos.

El gran interés en esta forma de modificación climática junto a una mayor investigación de la física de las nubes conllevará a una modificación efectiva de las nubes en los próximos diez a quince años. Hoy por hoy, los efectos se miden con fines de medición a nivel estadístico y no se ha avanzado mucho en la observación de las nubes antes y después de la siembra de manera que se pueda precisar el tipo de nubes más idóneo.

En cuanto a las operaciones militares se refiere, me atrevo a pronosticar que el aumento de las precipitaciones tendrá un valor limitado en situaciones tácticas clásicas, y eso solo en el futuro cuando se tenga más conocimiento sobre el control. Podemos imaginarnos comandos de tierra solicitando un aumento de las precipitaciones locales con el fin de ocultar o de impedir avances en las operaciones. En este caso podría utilizarse estratégicamente el uso alternativo de la siembra de nubes. En la actualidad tenemos dudas sobre el efecto de la siembra en las precipitaciones con el viento a favor desde las nubes sembradas. Análisis preliminares sugieren que no hay efecto en 322 – 483 km en esas condiciones, pero que la siembra continuada sobre una zona amplia de tierra seca podría extraer claramente la suficiente humedad para impedir la lluvia 1.609 km viento abajo. Este efecto ampliado aporta la posibilidad de extraer humedad de la atmósfera de forma encubierta, así que un país que dependa del vapor de agua que atraviese un país rival podría verse sometido a años de sequía. La operación podría ocultarse mediante la irregularidad estadística de la atmósfera. Una nación que posea una tecnología superior de manipulación medio ambiental podría dañar a un adversario sin revelar su intención.

La modificación de las tormentas, también, podría tener implicaciones estratégicas mayores. Como he dicho antes, se han llevado a cabo experimentos preliminares sobre la siembra de huracanes. La dinámica de los huracanes y los mecanismos por los cuales se transfiere la energía desde el océano a la atmósfera alimentando al huracán no se entienden. No obstante podemos imaginar varios esquemas tanto para

su disipación como para su generación. Si bien los huracanes se originan en regiones tropicales pueden viajar a latitudes templadas como bien saben los residentes de Nueva Inglaterra. Un huracán controlado podría utilizarse como arma para aterrorizar a los oponentes en vastas zonas pobladas del mundo.

Existe la suposición generalizada de que un huracán obtiene la mayor parte de su energía del mar sobre el cual se desplaza. El necesario proceso de la transferencia de calor depende de la acción de las olas que permite al aire entrar en contacto con un volumen de agua. Esta interacción entre el aire y el agua agita también las capas altas de la atmósfera y permite al huracán sacar mayores reservas de calor de las que simplemente saca del agua templada de la superficie. Si se utilizaran films monomoleculares como el de los materiales con los que se cubren los depósitos para reducir la evaporación, sería posible disminuir la interacción local entre el mar y el aire e impedir que el océano alimente de energía al huracán de forma acelerada. Este proceso, unido al de la siembra selectiva podría aportar mecanismos de guía del huracán. En el momento actual no disponemos de los datos básicos ni del conocimiento necesario para llevar a cabo tales experimentos; sin embargo, la posibilidad a largo plazo de desarrollar y aplicar esas técnicas bajo el ardid de las irregularidades de la naturaleza, presenta prospectivas alarmantes.

## **MODIFICACIÓN CLIMÁTICA**

Con independencia de que la modificación climática sea o no posible, es útil examinar las variaciones climáticas en condiciones naturales. Existen evidencias geológicas firmes de largas secuencias de edades de hielo, en un pasado reciente, que muestran que el clima mundial se ha mantenido en un estado de evolución lenta. También existen considerables evidencias geológicas, arqueológicas e históricas de patrones menores de fluctuaciones más rápidas que se superponen a la lenta evolución del cambio. Por ejemplo, en Europa el clima del primer periodo subsiguiente a la última edad de hielo fue continental, con veranos calientes e inviernos fríos. En el sexto milenio antes de Cristo, hubo un cambio hacia un clima cálido y húmedo con una temperatura promedio de 5° Fahrenheit por encima de la nuestra y una lluvia intensa que generó un aumento considerable de la turba. Este periodo, conocido como óptimo climático se acentuó en Escandinavia concretándose en el hundimiento del terreno que permitió un mayor flujo del agua cálida del Atlántico en el mar Báltico.

El óptimo climático fue peculiar. Mientras globalmente se registró una disminución gradual de las precipitaciones, la disminución se vio interrumpida por largos periodos de sequía durante los cuales se secó la turba de la superficie. Esta fluctuación ocurrió varias veces, los principales periodos de sequía oscilan desde 2000 al 1900, 1200 a 1000 y de 700 a 500 antes de Cristo. La última, una ola de calor duró aproximadamente 200 años, fue la más desarrollada. La sequía, aunque no fue tan intensa como para interrumpir el constante desarrollo forestal, causó emigraciones extensivas de personas a regiones más húmedas.

El cambio a condiciones más frías y húmedas en Europa apareció hacia el 500 AC y fue con mucho la alteración climática más abrupta desde el final de la última edad del hielo. Tuvo un efecto catastrófico en la temprana civilización de Europa: grandes bosques quedaron destruidos por el rápido aumento de turba y el nivel de los lagos

Alpinos subió de repente, inundando muchos asentamientos. Este cambio climático no duró mucho; al principio de la era cristiana, las condiciones no diferían de las actuales. Considerando que se habían sucedido variaciones climáticas y que ninguna había sido tan dramática como la del 500 AC, la perturbación conocida como la pequeña edad de hielo del siglo XVII es un ejemplo digno de mención. La causa de estos cambios históricos en el clima se mantiene envuelta en el misterio. Los rápidos cambios climáticos en el pasado sugieren a muchos que existen inestabilidades que afectan el equilibrio de la radiación solar.

Ciertamente, el clima está determinado directamente por el equilibrio entre las ondas cortas entrantes del sol (principalmente luz) y la pérdida de la radiación de onda larga saliente (principalmente calor).

El equilibrio está dominado por tres factores: la energía del sol, el carácter de la superficie de las regiones terrestres (agua, hielo, vegetación, desierto, etc..) y la transparencia de la atmósfera de la tierra a distintas formas de energía radiada. En última instancia, el impacto de las nubes para refrescar los días, y noches relativamente templadas es algo que nos resulta familiar. Sin embargo, las nubes son una manifestación, más que un determinante original del tiempo y del clima; el efecto de los gases en la atmósfera que absorben mucha de la radiación en tránsito del sol a la tierra o de la tierra al espacio, son de la mayor importancia. Los rayos X intensos y los rayos ultravioletas del sol, junto a partículas atómicas, quedan bloqueados en la alta atmósfera. Solamente la banda estrecha de luz visible y algunas ondas cortas de radio atraviesan la atmósfera sin mayores bloqueos.

En los últimos años ha habido mucha controversia sobre las conjeturas de los efectos sobre el clima mundial de la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera, procedente de hornos y motores a base de carburantes fósiles, y sobre las posibles influencias de los gases de combustión de los cohetes en la transparencia de la alta atmósfera. El dióxido de carbono depositado en la atmósfera desde el inicio de la revolución industrial ha producido un aumento promedio en la temperatura en la baja atmósfera de unas décimas de grado Fahrenheit. El vapor de agua que puede introducirse en la estratosfera como consecuencia del transporte supersónico puede también resultar en un aumento similar. En principio podría ser factible introducir material en la alta atmósfera que absorbiera tanto la luz entrante (enfriando por lo tanto la superficie) como el calor saliente (calentando por lo tanto la superficie). En la práctica, en la enrarecida y ventosa alta atmósfera, el material se dispersaría rápidamente, de manera que el uso militar de estas técnicas dependería de impactos globales más que locales. Más aún, el material molecular tenderá a descomponerse, e incluso materiales básicos podrían perderse por difusión en el espacio o precipitación a la superficie. A niveles intermedios, los materiales pueden tender a acumularse en la estratosfera si bien el tiempo de mezcla en esta parte de la atmósfera puede oscilar entre diez años y dos meses. Si un meteorólogo estatal calculase que el calentamiento o el enfriamiento global, fuese de su interés nacional, mejorando su clima mientras empeoran el de otros, puede surgir la tentación de liberar materiales desde cohetes a gran altitud. No obstante, conocemos muy poco de los efectos paradoxales del calentamiento o del enfriamiento para saber cuál podría ser el resultado.



Se pueden predecir efectos desastrosos, por muy breve que sea la acción, si se utilizaran medios químicos o físicos para atacar uno de los principales constituyentes del ozono de la atmósfera. Una baja concentración de ozono ( $O_3$  una forma molecular rara del oxígeno) en una capa entre los 15 y los 50 km de altitud ha tenido una importancia mayor para la vida en el planeta. Este gas es responsable de la absorción de la mayor parte de los rayos ultravioletas del sol. En pequeñas dosis, esta radiación puede causar quemaduras; pero si debiéramos experimentar su fuerza total, las consecuencias para toda forma de vida en el planeta serían fatales, incluso para las cosechas y los rebaños, que no encontrarían cobijo. El ozono se rellena diariamente pero se puede crear un "agujero" en esa capa, sobre una zona objetivo, mediante acciones químicas o físicas. Por ejemplo los rayos ultravioletas a 250 milicrones descomponen las moléculas de ozono y el ozono reacciona de inmediato con una larga lista de componentes.

Actualmente podemos intentar especular únicamente sobre la modificación de la radiación de onda corta en su origen, el sol. Hemos descubierto grandes inestabilidades en la superficie solar que podrían manipularse de aquí a muchos años. En una erupción solar, por ejemplo, se almacenan  $10^{10}$  megatones de energía en campos magnéticos distorsionados.

Con técnicas avanzadas de lanzamiento de cohetes y programando grandes explosiones podríamos, en el futuro, desencadenar esas inestabilidades. A corto plazo, sin embargo, la modificación no se hará en la onda de radio entrante, sino en la radiación de onda larga saliente.

Los esquemas habituales para modificar el clima tienen que ver con la manipulación de enormes superficies de hielo. La persistencia de estas enormes superficies heladas se debe al efecto de enfriamiento del mismo hielo, refractando (en vez de absorbiendo) tanto la radiación de la onda corta entrante como en la irradiación de calor en la superficie por encima de los índices usuales. Una forma general de modificación climática sugerida consiste en dispersar en una superficie cubierta de hielo finas capas de material de color, lo que inhibiría tanto los procesos de reacción y de radiación, deshaciendo el hielo y por lo tanto alterando el clima. Este procedimiento presenta dificultades técnicas y logísticas. Por ejemplo, si uno deseara crear una capa de mínimo un micrón para cubrir un cuadrado de 1.000 km, el material total para esta capa finísima, pesaría un millón de toneladas o más, dependiendo de su densidad. Por lo tanto, la propuesta de empolvar desde el aire algunas de las grandes superficies de hielo son irrealistas y reflejan técnicas de fuerza bruta, sin sacar ventaja alguna de las inestabilidades en el medio ambiente.

Si bien podría ser tecnológicamente difícil cambiar el carácter de una superficie de hielo y en consecuencia sus propiedades térmicas, cabría la posibilidad de mover el hielo teniendo en cuenta la inestabilidad gravitatoria de dichas capas.

La energía potencial gravitatoria de agua tan espesa en la capa alta es superior de lo que sería a nivel del mar. Este hecho hace posible, al menos en principio, diseñar esquemas para realizar una redistribución en el hielo. A.T. Wilson propuso una teoría cíclica de las edades de hielo basada en esta inestabilidad.

Los principales puntos de la teoría de Wilson son los siguientes:

1. La Antártida está cubierta por una capa de hielo de varios kilómetros de espesor. La presión en la parte inferior del hielo es lo suficiente para mantenerlo cerca de su punto de fusión; el agua es un material inusual en el sentido que el aumento de presión, baja su punto de fusión en vez de incrementarlo. Un aumento del espesor de la capa de hielo podría conllevar a su deshielo en la base. La mezcla de agua helada resultante a lo largo de la base del glaciar permitiría un flujo mediante un proceso de congelación y fusión, un proceso de flujo más eficaz que el flujo plástico ordinario.

2. Si se produce esta inestabilidad, la capa de hielo manará hacia el mar circundante y se formará un gran casquete de hielo entre la Antártida y el océano circundante. Por lo tanto, la radiación solar de onda corta se vería refractada y se produciría una mayor pérdida de calor por radiación a longitudes de onda larga, causando enfriamiento y la inducción de una glaciación a nivel mundial.

3. Una vez el casquete está en el océano, comenzará a deshacerse y eventualmente desaparecerá. El hielo que queda en tierra será más fino que antes. A medida que la refractividad del Hemisferio Sur disminuye con el deshielo de la capa de hielo del Antártico, el clima global volverá a ser más cálido, correspondiendo al inicio de un periodo interglacial. La capa de hielo se formará de nuevo lentamente.

En relación con la teoría de Wilson, J.T. Hollin ha subrayado la posibilidad de oleaje catastrófico, o avance del casquete de hielo, tal y como ha sucedido con pequeños glaciares en numerosas ocasiones. El mayor oleaje registrado es probablemente el de la edad de hielo en Spitsbergen que avanzó hasta 21 km en un frente de 30 km entre 1935 y 1938. También hay registro de avances de glaciares a velocidades de hasta 100 metros por día. Hollin especula que, una vez alcanzada la fase de inestabilidad gravitatoria del deshielo de la base, el glaciar se moverá rápido. Al calor geotérmico atrapado fundiendo el hielo en la base, se le añade el calor de la fricción cuando el glaciar roza con el suelo firme. Si la teoría especulativa de Wilson es correcta (tiene mucho interés) entonces existen mecanismos para alterar de forma catastrófica el clima terrestre.

La liberación de energía térmica, quizás mediante explosiones nucleares a la base de una capa de hielo, podría inducir un desplazamiento hacia el exterior de la misma que después sería alimentado por la energía gravitatoria. Un megatón de energía es suficiente para deshacer alrededor de 100 millones de toneladas de hielo. Cien megatones de energía convertirían 0,1 cm de hielo en una fina capa de agua que cubriría todo el casquete polar Antártico. Con menos cantidad de energía en el lugar apropiado, se podría iniciar el desplazamiento hacia el exterior del hielo.

¿Cuáles serían las consecuencias de tal operación? El efecto inmediato de esta vasta cantidad de hielo en el agua, si la velocidad de 100 m por día fuera correcta, crearía un tsunami enorme (maremoto) que destruiría las regiones costeras incluso del Hemisferio Norte.

Se iniciarían cambios climáticos como consecuencia de un cambio repentino de la reflectividad de la tierra. A una velocidad de 100 metros por día, el centro de la capa de hielo alcanzaría el litoral terrestre en 40 años.

¿Quién se beneficiaría de semejante aplicación? El candidato lógico sería un país ecuatorial de interior. Un periodo glacial ampliado garantizaría condiciones similares a las Árticas en casi toda la zona templada, pero un clima templado con abundante lluvia sería la norma en las regiones tropicales de hoy día.

## **EL FUTURO DE LA MODIFICACIÓN DEL TIEMPO Y DEL CLIMA**

Lo siguiente quizás representa una visión más positiva de la modificación del tiempo y del clima que la que tienen muchos científicos de la tierra. Esta visión está justificada en tres avances tecnológicos. Primero, la comprensión de la meteorología ha progresado hasta tal punto que los modelos matemáticos de la atmósfera han incorporado los elementos más importantes. Los procesos físicos de las nubes, en intercambios turbulentos y en transmisiones de radiación a través de la atmósfera, no son ya un misterio como en el pasado. Los volúmenes simulados por los modelos oscilan entre la talla de una nube a la entera atmósfera; estos modelos ya no son representaciones primitivas.

Segundo, la llegada de las computadoras rápidas permite estudiar los modelos atmosféricos de forma más detallada. Estas computadoras tienen una gran importancia para la modificación climática porque permitirán a los científicos llevar a cabo experimentos ampliados para probar la factibilidad o no de varios esquemas de manipulación de la atmósfera y cuál sería el resultado.

El tercer avance que apoya las expectativas para la modificación del tiempo y del clima es la nueva red de instrumentos desarrollados para observar y detectar cambios en la atmósfera. El más dramático y quizás el más poderoso es el satélite meteorológico que supone una plataforma desde la que observar la atmósfera, no sólo en regiones geográficamente inaccesibles si no también desde el punto de vista de nuevas mediciones físicas. Por ejemplo, los satélites meteorológicos del futuro permitirán determinar promedios de humedad, temperatura y presión sobre volúmenes atmosféricos sustanciales, aportando cantidades necesarias de datos para desarrollar los modelos matemáticos. La instrumentación sofisticada de superficie para observar detalladamente procesos en partes de la atmósfera más pequeñas, nos aporta herramientas más potentes de las que existían hace diez o veinte años, con las que observar las nubes y la interacción de la atmósfera con sus límites.

## **MODIFICACIÓN DE UN TERREMOTO**

¿Qué causa un terremoto? A lo largo del tiempo geológico, la distribución irregular de elementos radiactivos que producen calor, generan diferencias de temperatura en las capas de roca bajo la superficie terrestre entre varias partes de la tierra. En los continentes, los granitos y rocas similares han concentrado elementos radiactivos cerca de la superficie; este tipo de concentraciones no se ha dado en regiones suboceánicas, que como consecuencia pueden tener 100°C menos que las correspondientes regiones subcontinentales. Estas variaciones de temperatura a lo largo de una línea horizontal debido a las diferencias en la distribución vertical de los

elementos generadores de calor, fomentan un gran estrés termal, causando una presión similar a la que craquea un recipiente de cristal lleno de agua caliente. La tensión tiende a ser mayor en regiones con cambios abruptos de temperaturas a lo largo de una línea horizontal en la corteza terrestre. La tensión puede ser parcialmente atenuada por el flujo convectivo de material en las profundidades terrestres, que algunos geofísicos aseguran, empuja los continentes. Pero la tensión puede también atenuarse mediante fracturas agudas en las rocas cerca de la superficie.

El movimiento a lo largo de una falla irradia energía al exterior, resultando en un terremoto. Cada año se liberan así unos 200 megatones de energía retenida, los mayores terremotos liberan una energía de 100 megatones. La energía liberada depende del volumen de material afectado. Los terremotos de más envergadura ocurren en fallas que tienen una dimensión lineal de 1.000 km, mientras que los más pequeños ocurren en fallas de un kilómetro o menos.

Los terremotos más grandes tienden a ubicarse a lo largo de dos cinturones principales. Un cinturón que suele liberar el 85% de la energía total pasa alrededor del Pacífico y afecta a países cuyas costas bordean este océano, por ejemplo Japón y el oeste de Norte América. El segundo cinturón pasa a través de las regiones del este mediterráneo y se une al primer cinturón en Indonesia. Los terremotos tienen lugar a lo largo de estos dos cinturones con frecuencias variables.

En California se espera un gran terremoto una vez cada 50, o 100 años mientras que Chile podría esperar este tipo de alteraciones una vez cada diez o veinte años. Algunas veces los terremotos suceden en regiones en las que son consideradas libres de riesgo. Por ejemplo, el terremoto de Nuevo Madrid de 18 de noviembre de 2012, que devastó un área enorme del norte de Centroamérica pero con efectos culturales menores debido a que esa zona está muy despoblada.

La comprensión actual de los mecanismos que causan un terremoto y de cómo las correspondientes inestabilidades pueden desencadenarlo son limitadas. Hasta estos últimos años no se han llevado a cabo debates serios sobre predicción de terremotos mientras que las predicciones del tiempo medianamente fiables tienen 30 años de recorrido.

Actualmente se están haciendo esfuerzos, primordialmente por parte de Los Estados Unidos y de Japón, para desarrollar técnicas de predicción de terremotos. Estas técnicas se basan sobre todo en cómo determinar las condiciones cambiantes de la tensión de los materiales en las rocas alrededor de las zonas de fallas.

En esta perspectiva, cabe señalar que antes de un terremoto se acelera la acumulación de tensión. El control de los terremotos tiene unas perspectivas incluso más lejanas que las de su predicción aunque experiencias recientes han incidido en dos técnicas.

1. En el curso de pruebas nucleares realizadas bajo tierra en Nevada se observó que una explosión podría liberar tensión puntualmente en la tierra. La hipótesis es que la rápida acumulación de tensión como consecuencia de la súbita liberación de energía en una explosión, descarga tensión energética sobre un gran volumen de material.

2. Otro método para liberar tensión energética apareció con el bombeo de agua subterránea en las proximidades de Denver, Colorado, que conllevó a una serie de pequeños terremotos. La hipótesis aquí es que el agua subterránea había aportado una lubricación local que permitía a los bloques adyacentes desplazarse unos junto a otros.

El uso de la inestabilidad de la tensión energética en tierra sólida como sistema de arma, requiere mecanismos eficaces de desencadenamiento. El planteamiento de bombear agua parece absurdo y es fácilmente detectable. Por otro lado, si el patrón de tensión en la superficie pudiera determinar de forma precisa, la liberación escalonada o progresiva de energía desde fallas pequeñas, con vistas a afectar una falla más grande a distancia, cabría considerarlo.

Este escalonamiento podría activarse a través de pequeñas explosiones y por lo tanto podría ser posible utilizar esta liberación de energía acumulada en pequeñas fallas a determinada distancia de una falla mayor para actuar sobre ella.

Por ejemplo, la falla de San Andreas, cerca de los Ángeles y San Francisco, forma parte del gran cinturón de terremotos alrededor del Pacífico. Un buen conocimiento de la tensión en este cinturón podría permitir la detonación de la zona de San Andreas mediante explosiones graduales en el mar de China y Filipinas. En contraste con ciertas operaciones meteorológicas, podría parecer muy improbable que este ataque pudiera llevarse a cabo de forma encubierta con la argucia de un terremoto natural.

## **MODIFICACIÓN DE LOS OCÉANOS**

Estamos aún en la fase inicial del desarrollo de técnicas y teorías para predecir el estado de los océanos. En las dos últimas décadas, se han diseñado métodos de predicción de las olas superficiales y la distribución superficial del viento. También se ha desarrollado un sistema de alerta para maremotos producidos por terremotos.

Se han identificado ciertas corrientes en los océanos pero aún no sabemos cuáles son sus componentes. Por ello no hemos sido capaces de identificar las inestabilidades en las corrientes oceánicas que podrían ser fácilmente manipuladas. Al igual que para la tierra, sólo podemos especular tentativamente sobre cómo los procesos oceánicos podrían ser controlados.

Una inestabilidad que ofrece mucho potencial como sistema de arma en el futuro, está asociada con los maremotos. Estos se originan de forma frecuente como consecuencia del desplome en las profundidades del océano, de sedimentos consolidados y rocas adheridas a la plataforma continental. El movimiento de esos sedimentos puede desencadenar la liberación de grandes cantidades de energía gravitatoria parte de la cual se convierte en movimiento del maremoto. Por ejemplo, si a lo largo de 1.000 km del borde de una plataforma continental se desplomara un bloque de 100 metros de grosor y una amplitud de 10 km a una distancia de 100 metros, se liberaría una energía de 100 megatones. Esta descarga sería catastrófica para cualquier nación costera. ¿Cómo podría lograrse? La forma más eficaz, sería la de desencadenar una serie de explosiones graduales que provocarían pequeños

terremotos naturales. Podría incluso especularse sobre la planificación de un maremoto, dirigido, simplemente diseñando correctamente la fuente que liberaría la energía.

### **¿ONDAS CEREBRALES ALREDEDOR DEL MUNDO?**

A altitudes de entre 40 o 50 km sobre la superficie de la tierra, se encuentra un gran número de partículas cargadas que hacen de esta parte de la atmósfera, la ionosfera, un buen conductor de la electricidad. Las rocas y los océanos también son más conductores que la atmósfera inferior. Por lo tanto vivimos en una atmósfera aislante entre dos capas hemisféricas conductivas, o como un ingeniero de radio dijo, en una cavidad ionosférica terrestre, o guía de onda. Las ondas de radio que golpean cada capa tienden a reflejarse de nuevo hacia la cavidad y este fenómeno es lo que hace posible las comunicaciones de radio convencionales de larga distancia. El interés por las resonancias eléctricas naturales, guía de onda tierra-ionosfera, es relativamente nuevo. Como en cualquier cavidad, la guía de onda tierra-ionosfera tiende a oscilar a unas frecuencias más que a otras. Estas frecuencias resonantes están determinadas sobre todo por la talla de la tierra y la velocidad de la luz, pero las propiedades de la ionosfera las modifican hasta cierto punto. Las resonancias más bajas inician a los 8 ciclos por segundo, muy por debajo de las frecuencias generalmente usadas en las comunicaciones de radio. Debido a su longitud de onda larga y a su pequeño campo de resistencia, son muy difíciles de detectar. Más aún, se desvanecen rápidamente en 1/16 de segundo más o menos; en términos de ingeniería, esta cavidad tiene una constante de corto plazo.

Las oscilaciones resonantes naturales son agitadas por relámpagos. Los rayos de nube a tierra son una fuente más eficaz que las descargas horizontales de nube a nube. Cada segundo se aprecia un promedio de 100 rayos (concentrados sobre todo en las regiones ecuatoriales) de manera que hay disponibles 6 rayos para introducir energía antes de que se desvanezca la oscilación. El campo de fuerza de una oscilación es del orden de los 0.3 milivoltios por metro.

El poder de las oscilaciones varía geográficamente. Por ejemplo, para una fuente de oscilación ecuatorial, localizada en Brasil, la máxima intensidad de oscilación está cerca de la fuente y en el lado opuesto de la tierra (alrededor de Indonesia). La intensidad es más baja en las regiones intermedias y hacia los polos.

Se pueden imaginar varias formas de aumentar la intensidad de esas oscilaciones eléctricas. El número de rayos por segundo podría aumentarse artificialmente incrementando con ello su número original.

Se ha avanzado en el entendimiento de la física de los rayos y sobre cómo podrían controlarse. Las oscilaciones naturales son alteradas por la presencia de rayos aleatorios. La alteración de rayos cronometrados mejoraría la eficacia con la que se inyecta energía en una oscilación. Más aún, la constante tiempo de la oscilación se duplicaría si se incrementara cuatro veces la conductividad eléctrica de la ionosfera, de manera que cualquier planteamiento para mejorar esta conductividad (por ejemplo inyectando vapor ya ionizado) disminuye la pérdida energética y alarga la constante

tiempo, lo que permitiría un mayor número de rayos escalonados antes de que se desvaneciera la oscilación.

La mejora de las oscilaciones eléctricas de baja frecuencia en la cavidad tierra-ionosfera podría relacionarse con eventuales sistemas bélicos, debido al desconocimiento de la fisiología del cerebro. La actividad eléctrica en el cerebro se concentra a determinadas frecuencias, algunas de las cuales son extremadamente lentas, en un rango tan bajo de 5 ciclos por segundo y 10 ciclos por segundo, una actividad notoria (el llamado ritmo alfa).

Se han llevado a cabo experimentos con una luz intermitente para inducir en el cerebro el ritmo alfa en una sincronía antinatural; la estimulación visual conlleva a la estimulación eléctrica. También se han llevado a cabo estudios sobre la conducción eléctrica directa del cerebro. En experimentos presentados por Norbert Wiener, se trata de una lámina de latón suspendida del techo y conectada a un generador a 10 ciclos por segundo. Las personas experimentan sensaciones definitivamente desagradables en el marco de un campo de gran intensidad, uno o dos voltios por centímetro cuadrado, oscilando a la frecuencia del ritmo alfa.

El Instituto de Investigación de Cerebro de la Universidad de California (The Brain Research Institute of the University of California) está investigando el efecto en el comportamiento humano de campos de oscilación débiles. La intensidad de campo en estos experimentos es de varias centésimas de voltio por centímetro. Las personas acusan pequeñas pero medibles degradaciones cuando se les expone a campos de oscilación durante periodos de hasta 15 minutos.

Las intensidades de campo en estos experimentos son aún más fuertes, mil veces más, aproximadamente, que las oscilaciones naturales observadas en la cavidad tierra-ionosfera. Sin embargo, como se dijo anteriormente, la intensidad de las fluctuaciones naturales podría aumentar sustancialmente y en principio podría mantenerse durante largo tiempo, puesto que existe la posibilidad de manipular las tormentas tropicales. La ubicación geográfica apropiada de la fuente del rayo junto con descargas alteradas artificialmente por un tiempo apropiado, podría conducir a patrones de oscilaciones que producen niveles relativamente altos de electricidad sobre determinadas regiones de la tierra e inferiores en otras. En esta perspectiva, se podría desarrollar un sistema que podría afectar gravemente el funcionamiento del cerebro en grandes masas de población de regiones seleccionadas durante un largo periodo de tiempo.

El planteamiento que he expuesto es sin duda inverosímil, pero lo he hecho para establecer la sutil conexión entre variaciones en las condiciones medioambientales del hombre y su comportamiento. La perturbación del medio ambiente puede producir cambios en los patrones de comportamiento. Teniendo en cuenta que nuestra comprensión tanto desde el punto de vista del comportamiento como de la manipulación del medio ambiente, es rudimentaria, los esquemas de la alteración conductual de este tipo parecen irrealistas. Pero a pesar de lo alarmante que pueda resultarle a algunos, el uso del medio ambiente para manipular el comportamiento por razones de preponderancia nacional y las tecnologías que permitan, con toda probabilidad se desarrollarán en las próximas décadas.

## GUERRA SECRETA Y RELACIONES CAMBIANTES

Las deficiencias tanto en la comprensión de los procesos físicos del medio ambiente como en las tecnologías de cambio medioambiental hacen improbable que la modificación medioambiental sea, en el futuro cercano, un sistema de armas atractivo en confrontaciones militares directas. El hombre ya posee elementos de destrucción altamente eficaces. Eventualmente, sin embargo, estos medios pueden utilizarse más que en una situación de guerra abierta, para garantizar la preponderancia nacional. Al igual que en el caso de la competencia económica entre muchas naciones avanzadas, puede ocurrir que resulte ventajoso para un país garantizar un medioambiente pacífico para sí mismo y uno alterado para sus competidores. Las operaciones que producen esas condiciones podrían llevarse a cabo de forma encubierta, bajo el ardor de las grandes irregularidades de la naturaleza que permiten tormentas, diluvios, sequías, terremotos, o maremotos, consideradas como inusuales pero no como inesperadas. Esta "guerra secreta" no necesita ser declarada o incluso descubierta por las poblaciones afectadas. Podría durar años sin que nadie, excepto las fuerzas de seguridad implicadas, tuviera conocimiento de ello. Se le podría atribuir a las inclemencias de la naturaleza las sequías y tormentas. Y solo cuando una nación fuera totalmente drenada se procedería a una toma de control armada.

Además del carácter encubierto, el punto común de los distintos esquemas de modificación es su habilidad para afectar la tierra en su conjunto. El medio ambiente no conoce límites políticos, es independiente de las instituciones basadas en la geografía y los efectos de la modificación pueden proyectarse desde un punto de la tierra a cualquier otro.

Considerando que la modificación del medio ambiente puede ser un rasgo dominante en las futuras décadas en el mundo, preocupa que esta tecnología incipiente esté en total conflicto con muchos de los conceptos tradicionales geográficos y políticos.

Las consecuencias legales, económicas y sociológicas de una modificación medioambiental deliberada, incluso para fines pacíficos, serían de tanta complejidad que harían parecer como simple nuestra actual implicación en asuntos nucleares. Nuestra actual comprensión de las ciencias medioambientales y tecnología es primitiva. Pero más primitivas aún son nuestras nociones de las estructuras políticas y procedimientos para tratar las consecuencias de la modificación. Todas las experiencias nos muestran que finalmente lo que transforma las relaciones políticas y sociales, no son tanto los cambios tecnológicos como el control medio ambiental. La experiencia nos enseña también que estas transformaciones tampoco son necesariamente predecibles. Y que las hipótesis que podemos avanzar hoy en base a las anteriores, pueden resultar totalmente equivocadas. Todo parece indicar que estos problemas no científicos, no tecnológicos, son de tanta envergadura que merecen ser considerados por estudiantes serios en todo el mundo. Habrá que ver si la sociedad aceptará sin más vivir en un medio ambiente controlado.



---

Nota del autor: En la sección de modificación climática me he basado en gran medida en *Modificación del tiempo y del clima* ( Weather and Climate Modification - National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, zg66). El documento de A. T. Wilson sobre el "Origen de las edades del hielo" publicado en Nature vol. aox, pág. z4y-g (xg64) ('Origin of Ice Ages' appeared in Nature, vol. aox, pág. z4y-g (xg64), y los comentarios de J. T. Hollin's en vol. ao8, pág. ra-16 (r 965).

La liberación de tensión tectónica mediante explosiones nucleares fue publicado por F. Press y C. Archambeau en Journal of Geophysical Research, vol. 67, pp. 337-43 (1962), y terremotos artificiales en Denver por D. Evans en Geotimes, vol. to, pág. rr-rp. Estoy agradecido a J. Homer y a W. Ross Adey del Instituto de Investigación de Cerebro de la Universidad de California en Los Ángeles, por la información sobre la investigación experimental sobre la influencia de los campos magnéticos en el comportamiento humano.

FIN DEL DOCUMENTO

---

SI ESTOS ERAN LOS DATOS RELATIVOS AL ESTADO DE LA CUESTIÓN EN 1968, CABE PENSAR QUE, 46 AÑOS MÁS TARDE, LAS TECNOLOGÍAS DE MODIFICACIÓN CLIMÁTICA COMO ARMA DE GUERRA Y ECONÓMICA, SE HAN PERFECCIONADO, POR RAZONES DE DOMINIO MILITAR Y ECONÓMICO.