

# **PERTURBACIONES NATURALES Y HUMANAS EN EL PAISAJE ÁRTICO DE SPITZBERGEN**

ELISABETH SCHMITT

## **RESUMEN**

La autora del trabajo estudia detenidamente las características físicas y ambientales de la región ártica y sitúa los impactos naturales y los causados por las actividades mineras en la isla de Spitzberg. Concluye sobre la trascendencia que para los ecosistemas vegetales de la isla tienen ambos tipos de impactos, sobre la capacidad de las plantas para recolonizar los espacios afectados y sobre la fragilidad general del medio.

## **ABSTRACT**

The author describes the principal characteristics of the physical environment of Spitzbergen and its gradual alteration within the island. On this base the importance and the effects of both, natural impacts and human impacts, the latter caused by coal mining, on ecosystems, vegetation and its regeneration capacity is worked out.

Los temas sobre «la estabilidad, la susceptibilidad a perturbaciones y la capacidad de regeneración de ecosistemas» han alcanzado una importancia central en la discusión y la investigación del medio ambiental. Esta discusión adquiere mayor actualidad cuando recientemente se han comenzado a explotar los últimos ecosistemas naturales del mundo. Efectivamente, en los últimos decenios, los ecosistemas de las regiones árticas han sido especialmente afectadas tras su apertura para el aprovechamiento de sus materias primas.

## **1. LA REGIÓN ÁRTICA.**

La delimitación de la región ártica no es fácil y podría enfocarse desde muchos puntos. Visto desde la ecología de paisaje sería bueno establecer como frontera del ártico al límite entre el bosque y la tundra (Schultz, 1995), llamando a la parte al norte de esta frontera: «ártico». Climáticamente hablando, en el hemisferio norte, este límite corresponde a la isoterma de 10° del mes de julio, con lo que esta línea toma una gran importancia ecológica.

Comparándola con otras zonas climáticas del mundo, la investigación científica en el ártico, donde las actividades del hombre pueden tener efectos y consecuencias importantes a largo plazo, está todavía dando sus primeros pasos. En general se supone que a causa de las

bajas temperaturas, las precondiciones para la regeneración de los ecosistemas son allí menos favorables que en zonas con un clima menos frío.

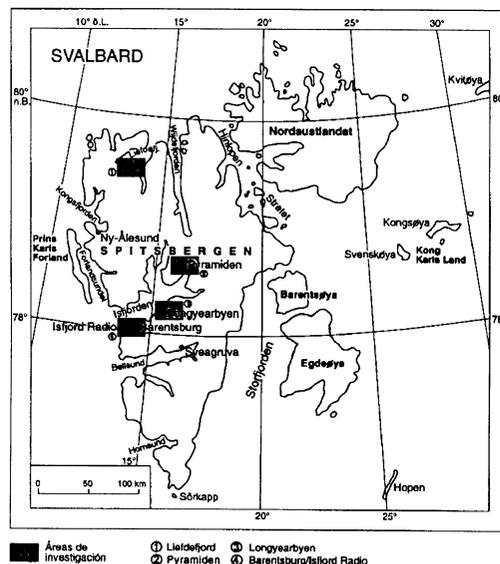
En los veranos, desde 1989 hasta 1994, hice investigaciones en distintas áreas del ártico y subártico sobre la capacidad de regeneración de ecosistemas perturbados por el hombre después que hubieran terminado las influencias perturbadoras. La investigación partió de dos interrogantes previos:

1. qué factores pueden indicar la capacidad de regeneración de estos ecosistemas bajo las extremas condiciones ecológicas dadas,
2. y si se cree que la regeneración es posible ¿qué daños ambientales, causados por las medidas modernas de explotación, se pueden esperar a largo plazo?

Para poder juzgar correctamente la envergadura de las perturbaciones causadas por el hombre, es importante conocer la estructura, las relaciones funcionales y los procesos principales en los ecosistemas naturales. Además me parecía importante saber algo de la capacidad de regeneración de los ecosistemas después de la influencia de perturbaciones naturales. Con tal motivo llevé a cabo investigaciones relacionadas con la susceptibilidad de los ecosistemas a perturbaciones y su capacidad para regenerarse, también en regiones absolutamente no influidas por el hombre.

En estas líneas me limitaré al ejemplo de Spitzbergen como una parte del ártico europeo y es importante comenzar recordando los rasgos principales de la ecología de paisaje del espacio ártico, porque representan la base y las condiciones limitantes de la regeneración y es, además, un espacio, en muchos aspectos, desconocido. La imagen del ártico como una zona

**Dibujo 1: Area de investigación**





temperaturas medias mensuales positivas y que la temperatura media del mes más caliente, julio, escasamente supera los 6°C. Las bajas temperaturas medias del invierno entre -15°C y -20°C no son ningún problema grave para el desarrollo de los ecosistemas. La mayoría de los organismos están adaptados a invernar fácilmente bajo temperaturas extremas de hasta -40°C. Mucho más decisivas son las bajas temperaturas del verano porque limitan el periodo de vegetación y además hacen más lenta la velocidad de los procesos vitales.

Es importante anotar que el cambio diario de noche y día que se vive en las zonas templadas, en la región ártica se reemplaza por el cambio semestral de noche y día polar. En Spitzbergen, en concreto, el sol no se pone en el período comprendido desde mediados de abril hasta mediados de agosto y no sale desde el fin de octubre hasta mediados de febrero, y ello es importante para los intereses ecológicos de la región.

A causa de las temperaturas tan bajas las precipitaciones son escasas, ascienden a sólo unos 200 mm/m<sup>2</sup> al año, lo que no evita que, por la misma razón y en general, las condiciones húmedas dominen ya que la evaporación es escasa.

El clima frío ha ocasionado también que casi el 60% de la isla esté cubierta de hielo de forma permanente (Hisdal, 1985). Los formidables glaciares que muchas veces llegan hasta la orilla del mar y, en ocasiones, a flotar en él, tienen sus orígenes en una masa de hielo continental casi continuada. El frente de los glaciares puede llegar a la altura de 100 m. Actualmente muchos de ellos experimentan una pérdida enorme de hielo ocasionada por el desprendimiento de pequeños y grandes bloques, a causa de grandes fuerzas de tracción, que después avanzan rápidamente.

Como en todo el ártico, las regiones de la isla no cubiertas por los glaciares están afectadas por el significativo fenómeno del "permafrost". A causa de la delgada capa invernal de nieve, la helada penetra muy profundamente en el subsuelo y hace que éste permanezca continuamente congelado durante años y, a veces, siglos. El espesor del permafrost puede variar desde unos pocos metros hasta varios cientos (Stäblein, 1971) y el escaso calor del verano sólo consigue que se deshíelen de 50 a 200 cm de la capa superior del subsuelo (King & Volk, 1994). Esta capa se denomina «capa activa».

El permafrost impide el drenaje de la capa activa y por eso, ésta, que por muchas razones está fuertemente saturada de agua, puede empezar a resbalar sobre la capa lisa de permafrost (este proceso se lleva a cabo a partir de un desnivel de un grado y puede conducir a grandes movimientos del suelo que son llamados solifluctuantes). A partir de cierta intensidad, estos procesos conllevan un deterioro de la capa de vegetación y de esta forma son, en parte, un factor natural de perturbación en el desarrollo de los ecosistemas. Este fenómeno lo veremos con más detenimiento más tarde.

También, en el verano, las temperaturas diurnas oscilan frecuentemente alrededor de cero grados, lo que lleva consigo un cambio frecuente de hielo-deshielo en las capas superiores del suelo. Este cambio se presenta de forma más frecuente donde la temperatura diurna es más baja, es decir aumenta en proporción directa a la altura y a la distancia a la costa. El deshielo y congelamiento conduce a procesos dinámicos y a la formación del llamado suelo estructurado. Las formas de los suelos estructurados se originan cuando el agua empaçada en el suelo aumenta de volumen al congelarse y eleva consigo a los materiales que la contienen.

Las piedras grandes, a causa de su peso, resbalan hacia los lados. El efecto es el de la acomodación del material superficial móvil en formas poligonales. Su tamaño depende del número de veces en las que ha habido congelación-descongelación.

El crecimiento de las plantas sigue como regla general esas formas poligonales ocupando muy poco las partes interiores ricas en tierra fina y agua, o sea, las partes con heladas más fuertes. Los movimientos permanentes hacia arriba y abajo imponen fuerzas de tracción en las raíces y hacen que las partes interiores del polígono sean lugares de imposible habitación para muchas especies. Por el contrario las partes pobres en material fino y agua, es decir, las que tienen poca actividad de helada son los lugares más adecuados para la vegetación.

La formación de vegetación en el ártico es la denominada «tundra», que significa «terreno de colinas sin árboles». La frecuentemente mencionada «monotonía» de la tundra nace de la percepción personal de un terreno extenso, sin árboles y, muchas veces, con muy pocos contrastes de relieve y esta percepción tiene muy poco que ver con la realidad ecológica. Por el contrario, la tundra se compone de un mosaico muy variado de distintas comunidades de plantas y ecosistemas que varían en espacios muy pequeños, a veces en escala decimétrica. La limitación y distribución de las unidades de vegetación están determinadas en su mayoría por el microrrelieve, la economía del agua del suelo, la estabilidad del suelo y también por la distribución de la capa de nieve que en invierno sirve como protección a la capa helada y, por último, por el tiempo de duración de esta capa en el verano.

En lugares secos, de cascajo, y en lugares expuestos al viento, que en invierno están libres de nieve, aparece una vegetación muy escasa que es denominada «Tundra de Pedazos». Los líquenes son aquí las especies características. Sólo muy pocas especies de las plantas vasculares soportan las extremas condiciones.

En suelos barro-arcillosos mal drenados y con una capa de nieve que dura hasta bien entrado el verano se forma la llamada «Tundra de Musgos». Como su nombre indica, se compone mayoritariamente de musgos que pueden contener, además, hierbas dulces y ácidas, principalmente, así como algunas plantas con flores.

Hay tránsitos fluidos de la tundra de musgo a la vegetación de pantanos en hondonadas y terrenos de aluvión que muchas veces es dominada por especies de *Eriophorum*.

En espacios areno-arcillosos con buen drenaje, adecuada protección en el invierno y una capa de nieve que desaparece muy rápidamente en el verano se forma la «tundra de arbustos enanos». Su fisonomía está determinada por especies lignificantes de pequeño crecimiento que rara vez sobrepasan los 30 cm. *Salix polaris*, por ejemplo, una especie de sauce, alcanza allí una altura de pocos centímetros. Conforman una comunidad de plantas importante por su extensión en este tipo de tundra. Junto con el arbusto enano aparece *Dryas octopetala* con portes que puede llegar a medir 20 cm.

Otra comunidad importante está formada por *Dryas* y *Cassiope tetragona*. La importancia de esta comunidad de plantas no está en la extensión que ocupan, sino en que son las que tienen las más altas exigencias de calor de todas las comunidades de Spitzbergen. En las condiciones climáticas que allí se dan, representa el estadio máximo de desarrollo de la vegetación y está limitada a las zonas más calientes de la isla. Decisivas para la presencia de esta comunidad son, sobre todo, las condiciones veraniegas de radiación solar y temperatura. Natu-

ralmente estas condiciones están también sujetas a las variaciones de latitud de sur a norte. Es interesante analizar detenidamente el desarrollo que esta comunidad tiene en el ejemplo del Fiordo de Is, que esta colonizado, y el Fiordo de Liefde, que está totalmente deshabitado y sin influencia humana, y las consecuencias ecológicas de este hecho.

En el cuadro 1 se puede apreciar que en el fiordo de Liefde, que está a unos 200 kms más al norte que Is, el ángulo de incidencia del sol al comienzo del verano es 2°C menor y la temperatura media en julio es de 1,7°C menor que las del Fiordo de Is. Ecológicamente es también muy importante que a mediados de junio el Fiordo de Is se encuentre totalmente libre de nieve, mientras que en el de Liefde apenas se ha derretido del 20% al 30% de esta capa. Por esto, en el fiordo de Liefde el periodo vegetativo se acorta de 84 a 62 días. Para la vegetación esto trae como consecuencia una menor diversidad de especies y un desarrollo medio menor. También la media de recubrimiento del suelo por la vegetación se reduce del 75 % en el Fiordo de Is al 40-45 % en el de Liefde. La productividad de las plantas es sólo de la mitad, como lo muestra el ejemplo de *Salix polaris*. Con todo esto concluimos que las condiciones básicas para una regeneración son menos propicias que en el sureño Fiordo de Is. La comunidad de *Dryas* y *Cassiope*, que aman el calor, aparece también aquí sólo esporádicamente y en pequeños espacios.

**Cuadro 1: Alteraciones ecológicas debido a variaciones de latitud del sur al norte**

	Isfjord		Liefdefjord
latitud	78°	←	79,9°
ángulo de incidencia del sol	35,5°	→	33,5°
radiación (cal/cm <sup>2</sup> /min) en una superficie plana (21.6.)	1.16	→	1.1
temperatura media de julio	6,3°	→	4,6°
areas sin nieve, mediados de junio (17.6.91)	100%	→	20-30%
periodo de descongelamiento de suelo	principio de junio-final de agosto	→	mediados de junio-mediados de agosto
profundidad de descongelamiento	2,5 m	→	1,8 m
periodo de vegetación	84 días	→	62 días
diversidad de plantas vasculares	132 especies	→	102 especies
altura de vegetación	20-30 cm	→	10-15 (20) cm
grado de cubrimiento de la vegetación	75%	→	40-45%
distribución de la vegetación	continua	→	fragmentario
diversidad de estructuras vegetación	alta	→	media
productividad de plantas	3-4hojas de salix por año	→	1-2 hojas de salix por año
potencial de regeneración	mas alta	→	menos alta

→ flecha muestra la dirección de disminución



**Cuadro 3: Gradientes de vegetación a lo largo del grado creciente de continentalidad en el Fiordo de Is.**

	Isfjord Radio	Barentsburg	Longyear	Pyramiden
comunidad característica de Dryadion	presencia sólo fragmentaria	Polari-Dryadetum	Tetragonae-Dryadetum	Tetragonae-Dryadetum
grado de cubrimiento de plantas vasculares	ca. 20%	40-50%	60-70%	más de 70%
presencia de <i>Dryas octopetala</i>	falta	rara	frecuente	muy frecuente
presencia de <i>Cassiope tetragona</i>	falta	falta	frecuente	muy frecuente
vitalidad de los arbustos enanos	baja	media-baja	alta-muy alta	muy alta
proporción entre hierbas y arbustos enanos	4:1	2:1	1:2	1:3
diversidad de plantas vasculares	baja	media	alta-muy alta	muy alta

En Barentsburg esta relación se reduce a dos a uno y aisladamente se encuentra *Dryas*, mientras que *Cassiope* apenas aparece en el interior del fiordo. Sólo aquí vienen a formarse las comunidades claves de *Dryas* y *Cassiope*. También la proporción de cantidades entre las hierbas y los arbustos enanos se inclina a favor de los arbustos.

La intención de esta larga introducción es la de dejar patente la diversidad climática y vegetal de una región supuestamente homogénea y muerta. En los apartados siguientes trataremos sobre las influencias perturbadoras de estos ecosistemas y sus potenciales capacidades de regeneración.

### **3. INFLUENCIAS PERTURBADORAS EN LOS ECOSISTEMAS ÁRTICOS Y SUS POTENCIALES CAPACIDADES DE REGENERACIÓN.**

#### **3.1. Factores naturales de perturbación en sistemas ecológicos árticos.**

Sin excepción estas perturbaciones están relacionadas con la presencia del permafrost o dicho más generalmente con la presencia de hielo en el subsuelo. El descongelamiento del hielo del suelo o de una parte del mismo puede llevar, por diferentes vías, a la desestabilización del lugar y a procesos de movimiento en el suelo. En el verano de 1990 investigué en el Fiordo de Liefde dos cosas: cuándo especialmente y en qué medidas se llega a tales procesos. El objetivo de la investigación era el análisis del cuerpo de relaciones entre la estabilidad del lugar, el microrrelieve, el microclima, la economía del agua del suelo y la vegetación.

Para esto, por un lado se catalogó la vegetación y, por otro, se localizaron los procesos geomorfológicos y se midieron las cantidades de agua del suelo. Toda esta información se cartografió por separado, en dos mapas y en el propio terreno de investigación. Con la ayuda de aparatos electrónicos se midió la temperatura del suelo en diferentes profundidades y las temperaturas y velocidad del aire a una altura cercana a la superficie del suelo. Las mediciones se llevaron a cabo durante todo el verano ártico, desde comienzos de julio hasta comienzos de septiembre con cortas e inesperadas interrupciones que fueron ocasionadas por los verdaderos habitantes del fiordo: por el zorro polar, que por dos veces partió con los dientes el cable entre los medidores y las células solares que suministraban la corriente eléctrica, y por el oso polar, que se tomó la estación como caja de juguetes para desarmarla y volverla a montar a su gusto.

La forma más corriente de inestabilidad del substrato es la ya citada soliflucción, es decir, el rápido movimiento de deslizamiento cuesta abajo del substrato saturado de agua.

La intensidad de este movimiento está influida significativamente por la pendiente y el grado de humedad del substrato. Huellas visibles del proceso, como los lóbulos de las laderas, se producen cuando el substrato se humedece a lo largo del verano a causa del deshielo del permafrost. Se habla de un suelo «húmedo» cuando tocándolo, los dedos se humedecen de una manera evidente y cuando suelta agua al presionarlo. Si se cumple esta condición de humedad, en terrenos con una inclinación de 2° a 5° se forman pequeños conos de soliflucción con un diámetro que va desde pocos centímetros hasta algunos decímetros. Con un declive entre 5° y 15° los lóbulos tienen desde uno hasta varios metros de diámetro y unos desplazamientos de 50 cm. Los deslizamientos pueden llegar a producirse, incluso, en laderas que sólo tienen una inclinación de un grado, siempre que predominen los materiales finos y estén saturadas de agua. No son reconocibles en la superficie, pero se muestran claramente en las mezclas horizontales de los perfiles de los suelos y se pueden catalogar como procesos de fluidez de larga duración ocasionados, igualmente, por la presión.

La magnitud de los deslizamientos está también relacionada con el grado de humedad del substrato, con la clase de suelo y con las diferencias microclimáticas debidas a la exposición. Así, en desniveles iguales, los lóbulos más desarrollados aparecían sobre barro con textura que va de “muy arcilloso” hasta “un poco arcilloso”. La mala circulación de agua en el suelo, condicionada por el substrato helado, conduce a un grado mayor de humedecimiento y, a la vez, a una mayor efectividad de la gravedad. Por otro lado, la cohesión de las partículas del suelo es lo suficientemente alta como para que haya movimiento de fluidez, pero la fuerza de adhesión es todavía muy baja, insuficiente para ofrecer una alta resistencia al movimiento.

Cómo reacciona la capa vegetal a tales influencias mecánicas?. El terreno de investigación muestra un mosaico de vegetación finamente diferenciado que en su distribución espacial y en su nivel de desarrollo corresponde, de una forma sorprendentemente exacta, con el mosaico de estructuras y procesos geomorfológicos. A primera vista, amplias partes del territorio dan una impresión de estabilidad y las estructuras resultantes de los deslizamientos, como lóbulos y conos, se ven como si fueran reliquias inactivas de tiempos pasados. Sólo el análisis de numerosos perfiles del suelo, de la composición de la vegetación y del raigambre vegetal muestran que la presencia de soliflucción cementada es un fenómeno ampliamente difundido. Así se entiende la existencia de procesos solifluídales bajo una capa de vegetación establecida.

Se pudo observar que la distribución de determinados clases de plantas, especialmente de *Silene acaulis* y de *Dryas octopetala*, parece ser un indicador fiel para la existencia o, por el contrario, para la inexistencia de procesos de movimientos cercanos a la superficie (Schmitt, 1993).

Comparaciones de la vegetación y del perfil del suelo mostraron que *Dryas* no se encuentra en lugares con mal drenaje y con soliflucción fuerte. Una serie de excavaciones en la región en busca de las raíces de las plantas muertas de *Dryas* reveló la causa: la vigorosa raíz principal, fija hasta 30 cm en el substrato, se rompe por dos motivos:

- por un lado, por la alta fuerza de tracción que actúa sobre ella a consecuencia de movimientos a diferentes velocidades en las capas superiores e inferiores del suelo,
- o, por otro lado, porque es empujada sobre piedras y sus aristas la cortan.

A causa de la soliflucción se interrumpe de muchas formas la fase óptima de la altamente desarrollada comunidad vegetal de *Dryas* y se da comienzo a la fase de descomposición.

En aquellas regiones donde la actividad de movimientos es más alta de lo normal, la densidad de individuos y plantas jóvenes de *Silene acaulis*, una especie muy subordinada en las comunidades de *Dryas*, con frecuencia llega a ser la especie dominante. Morfológicamente hablando *Silene* pertenece a las plantas acolchadas, planas radiales que después de dos años suelta y renueva su no muy fuerte raíz principal y solamente por esto aumenta su capacidad de competencia frente a otras plantas en lugares con movimientos en los suelos. Las investigaciones propias llevaron a la sorprendente conclusión de que *Silene acaulis* en ningún momento desarrolla una raíz principal en estos lugares, sino sólo un delicado, pero denso y plano entramado de raíces. El acolchado puede así “flotar” con los centímetros superiores del suelo sin sufrir daños. No raras veces las comunidades de *Dryas* originalmente establecidas aquí están bajo una masiva sucesión regresiva.

¿Qué significa ese proceso de movimiento, casi siempre presente a largo plazo, para la vegetación?

¿Es posible o no una regeneración en el sentido de un restablecimiento del estado anterior a la perturbación?

A esta pregunta se responde sin limitaciones con un «sí». El desarrollo de la vegetación hacia la situación de partida empieza inmediatamente después de detenerse los movimientos del substrato y se puede probar con frecuencia, a través de los perfiles del suelo, que es posible una completa regeneración de la capa vegetal, puesto que los procesos de movimiento del suelo se producen frecuentemente de una forma episódica, es decir: fases estables largas pueden ser interrumpidas de nuevo por movimientos inesperados del substrato. La comparación de vestigios encontrados en horizontes de vegetación que se hallaban en perfiles de suelo, con la vegetación actual da una concordancia en su composición.

Los movimientos del substrato, en todas sus modalidades, no tienen como consecuencia daños irreversibles para los ecosistemas. Realmente no son verdaderos factores perjudiciales exteriores, sino que, por el contrario, son factores totalmente normales de su economía y una propiedad específica de los ecosistemas árticos. El inventario de especies características contiene especies claves (como *Silene acaulis*) que sobreviven a la selección a través de perturbacio-

nes y que representan una fase joven del sistema en la parte de espacio afectada. Esta fase joven puede llegar a ser óptima por medio de un incremento del sustrato y del tiempo suficiente.

### **3.2. Las perturbaciones antrópicas.**

De modo completamente diferente se tienen que juzgar las influencias perturbadoras antropógenas que se pueden estudiar muy bien en Spitzbergen en el Fiordo de Is.

Spitzbergen llegó a la conciencia geográfica y económica de Europa después de su redescubrimiento hace 400 años por parte del holandés Barents. La riqueza de sus aguas en ballenas y morsas condujo, ya en los siglos XVII y XVIII, a la colonización de la isla. Las colonias para la caza de ballenas, como la de la isla de Amsterdam, llegaron a ser grandes y a alojar entre 10.000 y 20.000 cazadores de las diferentes naciones pesqueras de Europa (Arlov, 1989). El despiadado saqueo redujo la cantidad de los animales tan rápidamente que ya a mediados del siglo XVIII la caza ya no era rentable. Spitzbergen estaba de nuevo deshabitada. Hoy en día no hay huellas de la primitiva colonia de la fase de caza excepto los hornos de cocción de aceite de ballena. Después de tres siglos los simples daños mecánicos de aquella colonización han sido anulados.

La colonización actual empezó en 1900, motivada esta vez por la explotación de los yacimientos de lignito que se encuentran en la región centro-sur de la isla. Aunque Spitzbergen pertenece políticamente a Noruega según un contrato de 1925, por medio de una cláusula especial contenida en él hay 35 naciones autorizadas a utilizar los recursos de Spitzbergen, entre ellas también España.

Además de Noruega misma, hacen uso de esta autorización solamente los rusos que fundaron las colonias mineras de Pyramiden (con 700 habitantes) y Barentsburg (con 1.000 habitantes y la granja de animales más septentrional del mundo). Longyear es la capital de la isla y la colonia minera noruega, cuenta con 1.300 habitantes y fue llamada así en honor al empresario norteamericano que en 1906 abrió aquí la primera mina de carbón. El carbón se halla en pequeños yacimientos sobre terrenos planos que se agotan rápidamente, por lo que hay abundantes minas que han sido abandonadas en diferentes tiempos, es decir, reúne las condiciones ideales para investigaciones sobre regeneración, en las cuales el factor tiempo normalmente juega un papel importante. Las investigaciones fueron llevadas a cabo sobre superficies experimentales en todos los lugares citados y en todas las regiones de investigación se prestó especial atención a los montículos de carbón y escombreras, pues era aquí donde se suponía que estaban las condiciones más difíciles de crecimiento y de recolonización para las plantas. Fue sorprendente comprobar que los centros de perturbación no son sólo las escombreras mismas, sino, ante todo, las superficies que se encuentran pendiente debajo de ellas y que en su mayoría no fueron afectadas por actividades directas de la minería.

#### *3.2.1. El suelo se vuelve ácido.*

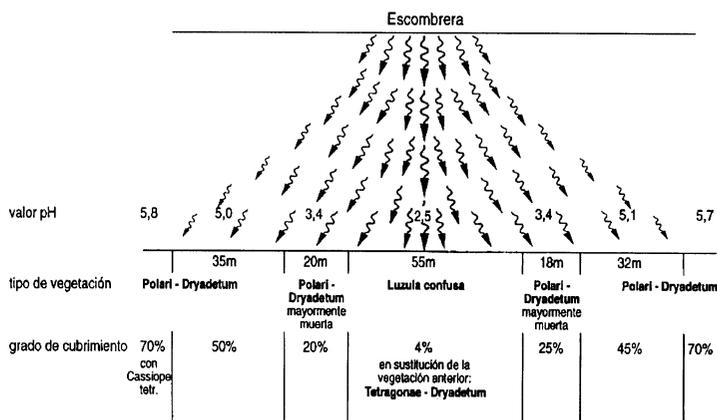
Característico de estas áreas, que se extienden hasta una distancia de un km pendiente debajo de la escombrera es:

- una fuerte capa de sal de varios milímetros sobre la superficie del suelo y de la vegetación
- valores de pH muy bajos y
- una vegetación muchas veces ya muerta.

La causa de este daño masivo está en el agua que se infiltra por las escombreras. Las capas de rocas que contienen carbón son ricas en minerales ferrosos y sulfurosos y su descomposición en unión con el agua forman ácido sulfúrico que, con el agua infiltrada o la de escorrentía, llega a estas áreas y acidifica fuertemente del suelo, o sea, conlleva a la disminución del valor de su pH. Aparte de eso, con la descomposición de los sulfuros de hierro se libera, por ejemplo, sulfídrico, que, aún en cortas cantidades, tiene efectos tóxicos sobre las plantas. Por su parte, la disminución del valor del pH en el suelo lleva a una intensa liberación de aluminio (esto ocurre con valores inferiores a  $\text{pH}=5$ ), que es otro veneno de plantas y que se fija fuertemente en el suelo.

En los lugares naturales de Spitzbergen los valores del pH nunca están por debajo de 5, de tal forma que los valores muy bajos pueden ser considerados como indicadores de que la química natural del suelo está altamente modificada. Se puede ver en el dibujo 3 la influencia del agua de las escombreras en los valores de pH y la vegetación. Directamente debajo de la escombrera, es decir, en la región central de influencia del agua infiltrada, los valores de pH del suelo se hallan tan sólo en 2,5 y la vegetación aquí está totalmente muerta. Esta zona mide en este ejemplo unos 55 m, pero en otras escombreras puede llegar a ocupar un ancho de hasta 300 m. Hacia los bordes disminuyen las cantidades de agua infiltrada de las escombreras y las sustancias nocivas llegan al suelo en menor cantidad, en ellas el valor de pH de los suelos aumenta. Donde el pH alcanza un valor de 3,4 la capa de vegetación también está en su mayoría muerta. Los restos que todavía quedan de la vegetación original deben su existencia a su posición en las partes más altas del microrrelieve.

**Dibujo 3: Influencia de agua de infiltración de las escombreras en el valor pH y la vegetación**



El grado de cubrimiento de la vegetación, que normalmente en esta región es de un 70%, se alcanza sólo en los lugares no afectados y con el valor de pH de casi 6.

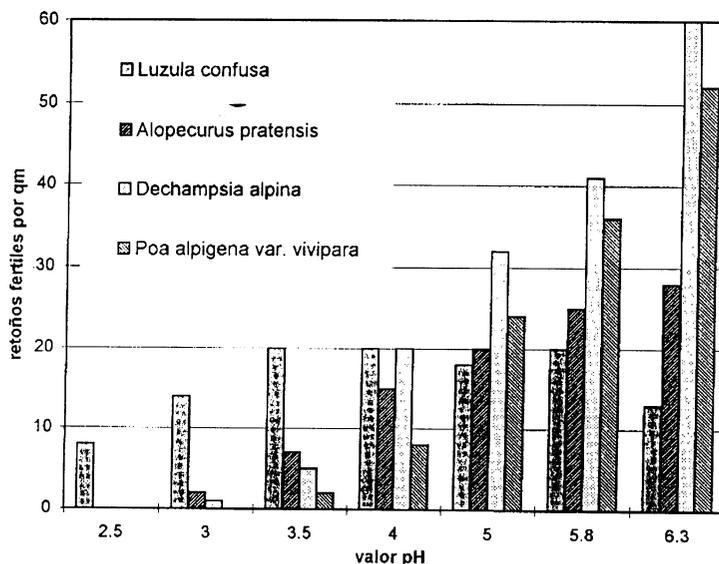
En las áreas dañadas las condiciones son desfavorables para un nuevo crecimiento de las plantas.

En realidad han arraigado pocas especies pioneras, sólo las que son capaces de existir en lugares con un pH de valor muy bajo además de soportar la contaminación química a que esto conduce. La investigación dio la siguiente imagen:

Los espacios con un valor de pH bajo (2,5) están absolutamente libres de vegetación. En una primera fase, a partir de valores de 2,5, *Luzula confusa* aparece sola. Con 2,9 se le une una especie más: *Alopecurus alpinus*, y según van subiendo los valores le siguen *Dechampsia alpina* y *Poa alpigena*.

Para comprobar la idoneidad de estas plantas como especies pioneras y medir su vitalidad, se contaron los retoños fértiles por metro cuadrado de las diferentes especies y en lugares con diferentes condiciones de pH. El resultado refleja esta sucesión muy bien (dibujo 4): *Luzula confusa*, que tiene una región óptima de pH muy amplia, con valores muy bajos produce casi el 50 % de los retoños fértiles que produciría con su pH óptimo. Por el contrario *Alopecurus alpinus*, que muestra una vitalidad continuamente creciente a medida que el valor de pH sube, en lugares ácidos no alcanza ni un 10% de su cuota de retoños fértiles de zona óptima. Con esto constatamos que esta especie posee una idoneidad visiblemente menor que la de *Luzula confusa* para volver a colonizar lugares químicamente contaminados. También se aprecia que la idoneidad de *Dechampsia alpina* y *Poa alpigena* son menores.

**Dibujo 4: Número de retoños fértiles de diferentes especies de hierba en lugares con diferentes condiciones del valor pH.**



Las imágenes de los ecosistemas, que bajo la influencia de la minería han sido masivamente perturbados y hasta destruidos, se repitieron en todos los lugares de investigación y de forma totalmente independiente de las diferencias climáticas y de las diferentes vegetaciones de partida:

### 3.2.2. *El suelo se basifica.*

En Barentsburg, en la región exterior del fiordo, hay imágenes de tundra de musgo muerta que se parecen mucho a las de Longyear pero que ecológicamente hablando son muy diferentes:

Por una parte, los daños en Barentsburg no vienen de las escombreras sino de los propios montículos de carbón y por otra, al contrario de lo que ocurría en Longyear que tiene condiciones muy ácidas (valores de pH de alrededor de 2), aquí, en Barentsburg, reinan condiciones alcalinas, con valores de pH por encima de 8.

A causa de una alterada composición mineralógica del carbón, de él se desprenden sales alcalinas como cloruro de sodio y sulfato sódico que llegan con el agua a regiones amplias de la tundra.

El efecto destructor de vegetación de estas condiciones en la química del suelo no es menor que en Longyear. Pero esta importante diferencia tiene consecuencias decisivas para la nueva colonización. Mientras que en Longyear tiene lugar una colonización inicial con tres especies pioneras, que se encuentran por casualidad en el inventario de especies y pueden soportar la alteración de la química del lugar, aquí, debido a las particulares alteraciones químicas del suelo, no cabe esperar una progresión en el desarrollo posterior de la vegetación. **Se trata de un estadio pionero permanente.**

A pesar de que ya han transcurrido casi 90 años del "accidente ecológico" los lugares afectados siguen estando profundamente alterados.

La recolonización la está haciendo *Stellaria humifusa*. Es una planta de sal, una especie característica de los prados salados cercanos a la costa, donde, a causa de la influencia del agua de mar, de modo natural reinan condiciones ecológicas comparables. La antigua tundra de musgos alejada de la costa se ha convertido así, y por las razones apuntadas, en un espacio secundario de vida para esta especie halófila y podemos pensar en un desarrollo posterior de la vegetación en el sentido de una comunidad vegetal comparable a la de los prados salados de la costa.

Anotamos, por tanto, que aquí tampoco se puede hablar de una regeneración en el sentido de un restablecimiento del estado original.

## 4. CONCLUSIONES.

Los aspectos presentados de la reacción de ecosistemas árticos a influencias perturbadoras se pueden resumir de la siguiente manera:

1. La inestabilidad geomorfológica local, que en las regiones árticas es un fenómeno frecuente y repetitivo, es factor endógeno de ecosistemas árticos. El espectro de especies posee una numerosa cantidad de ejemplares que son apropiadas para una recolonización inicial y su sucesión.

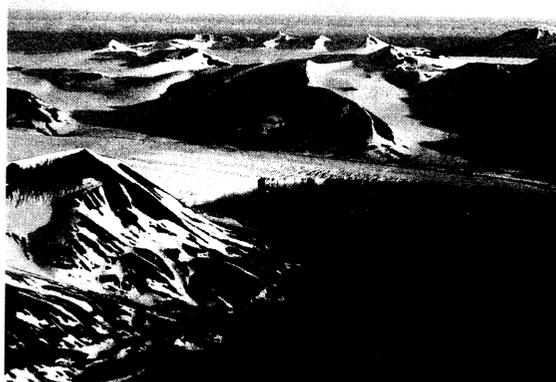
2. La inestabilidad geomorfológica no conlleva a una inestabilidad ecológica y por esto no puede ser denominada como un verdadero factor de perturbación.
3. Los ecosistemas reaccionan con elasticidad, o sea, después de terminada la influencia, vuelven, más o menos, a su posición de partida.
4. Las influencias perturbadoras de la vegetación que existen en la naturaleza ártica, no traspasan el grado de resistencia de los ecosistemas. Sólo conducen a la coexistencia espacial de fases jóvenes en distintos estadios y de fases óptimas de las ecosistemas.
5. Una regeneración en el sentido de un restablecimiento de la situación original es posible y, fundamentalmente, una cuestión de tiempo.

El ejemplo de la minería en el Fiordo de Is ha mostrado que:

6. Los factores antropógenos son allí factores exógenos, es decir, no son factores que se encuentren en sistemas naturales.



*Dryas octopétala. Una característica especie termófila de la "tundra de arbustos enanos", que indica la ausencia de soliflucción*



*Formidable glaciar flotando en el mar en el sur de Spitzbergen*

7. La modificación en la química de los lugares, ocasionada por la actividad minera, causa efectos que están fuera de la amplitud de fluctuación natural y, por lo tanto, son factores de daño y perturbación reales.
8. Los ecosistemas no poseen un tope o estrategia de regeneración. El espectro de especies no contiene casi ninguna que sea apropiada para una recolonización.
9. Los ecosistemas no pueden reaccionar de una forma elástica a las influencias de perturbación, o sea, no pueden volver a su estado de partida aproximado.
10. Una regeneración no es posible. El nuevo desarrollo de los ecosistemas no tienen un aspecto temporal sino sólo un aspecto espacial

Los ecosistemas árticos son frágiles y especialmente en el radio de influencia de toda forma de intervención en el paisaje. Para poder preservar la región ártica, a largo plazo, como un espacio de una flora y fauna altamente especializadas, en los futuros proyectos de explotación se tienen que tomar en cuenta, y no como hasta ahora se ha hecho, no sólo objetivos económicos sino también intereses ecológicos. Una condición importante para esto es que esta región marginal tenga en la conciencia de un amplio público el atributo de "espacio vital y valioso".

## BIBLIOGRAFÍA

- ARLOV, T.B. (1989): *A short history of Svalbard*. Polarhandbok 4
- HISDAL, V. (1985): *Geography of Svalbard*. Norsk Polarinstitut, Oslo.
- HJELLE, A. (1993): *Geology of Svalbard*. Polarhandbok 7, Oslo.
- KING, L. & VOLK, M. (1994): "Glaziologie und Glazialmorphologie des Liefde- und Bockfjordgebietes, NW-Spitzbergen". *Zeitschrift für Geomorphologie* 97: 145-159.
- SCHMITT, E. (1993): "Global climatic change and some possible geomorphological and ecological effects in arctic permafrost environments, Isfjorden and Liefdefjorden, Northern Spitsbergen." *Permafrost: Sixth International Conference, Beijing*. Proceedings Vol. 1: 544-549.
- SCHULTZ, J. (1995): *Die Ökozonen der Erde*. Stuttgart.
- STÄBLEIN, G. (1971): "Der polare Permafrost und die Auftauschicht in Svalbard". *Polarforschung* 7: 112-120.
- STEFFENSEN, E. (1982): *The climate at norwegian arctic stations*. Klima 5. Norsk Meteorologiske Institutt, Oslo.