

BASES TEORICAS PARA LA GEOLOGIA MEDICA (THEORETICAL BASIS FOR MEDICAL GEOLOGY)

Harwant Singh

terratee@frst.unimas.my

University Malaysia Sarawak

94300 Kota Samarahan, Sarawak, Malaysia

<http://home.swipnet.se/medicalgeology/PDF/MedGeo.pdf>

Traducción de Antonio Rivera Gaviria. Geólogo. Junio 2004

Resumen

La Geología Médica se está convirtiendo rápidamente y por sus propios medios en una disciplina para llenar el vacío entre la evidentemente crítica intersección del Sistema Tierra y los problemas de salud en el hombre y la biota. Los científicos han comenzado a evaluar el extenso y conocido pero sub-explorado impacto de la naturaleza con los factores ejercidos por las ciencias de la tierra y antropogénicos sobre la salud, en un esfuerzo que también ha cobijado otras disciplinas, mediante las cuales se está estableciendo el eslabón entre el hombre y su hábitat la Tierra. Con el progreso hasta ahora realizado, hay señales que con el tiempo han venido a moverse hacia el establecimiento de una base teórica para esta disciplina, como lo requieren individualmente todas las disciplinas. Este documento propone el concepto de encargo o liderazgo para apuntalar la Geología Médica sugiriendo a la comunidad científica su temática operacional y enfoque.

INTRODUCCIÓN

La génesis de la evolución de la Geología Médica puede remontarse a la actuación del factor ambiental como uno de los factores causales que afectan la salud aunque, según Finkelman et al. (2001), los impactos de los materiales geológicos sobre la salud han sido reconocidos por la humanidad desde hace miles de años. Esto se desarrolló como respuesta a la comprensión de la degradación ambiental a consecuencia de los impactos antropogénicos, los cuales son el resultado de tecnología industrial. La primavera silenciosa (*Silent Spring*) (Carson, 1962) la expresión más prematura de este resultado ha llegado a ser definido por el marco de causa-efecto entre la salud y del ambiente dado en la Fig. 1 por WHO (2000).

Estos efectos adversos o toxicológicos de origen ambiental sobre la salud se deben a deficiencias en el aire, calidad agua y del suelo a consecuencia de la contaminación. De hecho, el surgimiento de la toxicología como una disciplina científica independiente es el resultado de los efectos sobre la salud a partir del ambiente. Los materiales naturales también constituyen el asentamiento de la civilización moderna y son cruciales para casi cualquier aspecto de la vida moderna. Esta interacción con los materiales naturales a menudo es vista como vulnerable (Finkelman et al., 2001). Sin embargo, algunos materiales geológicos poseen riesgos específicos para la salud, los cuales ponen en riesgo individuos, comunidades e incluso poblaciones enteras (Geotimes Staff, 2001)

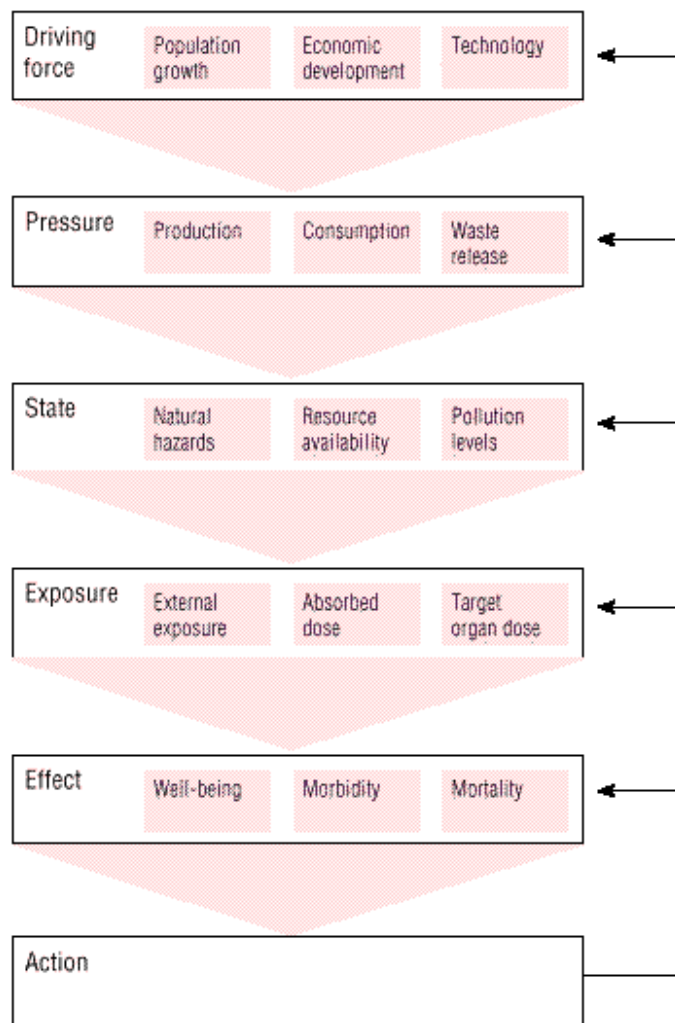


Fig. 1 Marco de causa-efecto entre la salud y del ambiente (WHO, 2000)

Por consiguiente, los efectos sobre la salud, indicada por cambios en la longevidad y funcionalidad, se instauran predominantemente del ambiente, por lo cual se necesita un liderazgo ambiental a través del estudio de los materiales de la tierra y sus procesos. De hecho, la revista Time publicó en Enero de 1989 que los humanos estaban amenazando el estado del ambiente de la Tierra y lo declararon un planeta puesto en peligro, lo cual exige que la geología médica proporcione las soluciones para las amenazas sobre salud. La evaluación de la influencia de los factores naturales y los antropogénicos sobre la ciencia de la tierra, según Centeno et al. (2003), indican que ha comenzado la distribución geográfica de una amplia gama de enfermedades humanas y de los animales.

GEOLOGÍA MÉDICA COMO LIDERAZGO AMBIENTAL

En la práctica de la medicina tradicional, según Moeller (1997), los médicos tratan a los pacientes según el modelo dado en la Fig. 2. En este modelo clínico de intervención, la intercesión viene en el diagnóstico y tratamiento de una enfermedad para curar al paciente. Esto permite la intervención pero ningún control previo sobre la enfermedad para habilitar la eliminación de su fuente o causas antes de la infección.

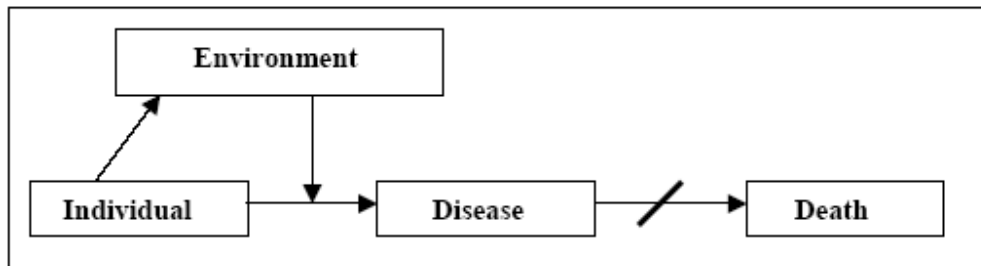


Fig. 2 Modelo de intervención Clínica

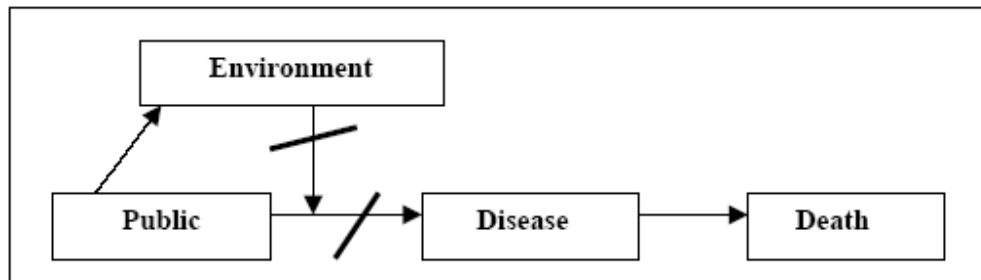


Fig. 3 Intervención Pública en Salud

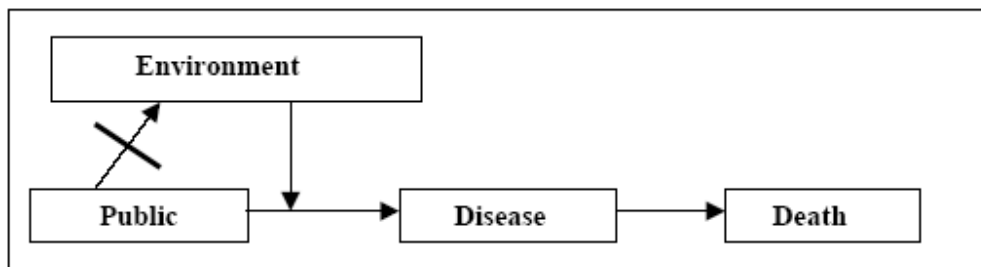


Fig. 4 Liderazgo Ambiental

Las tensiones sobre la salud ambiental necesitan estar sujetas a medidas de control sobre las enfermedades resultantes de los factores ambientales. Tradicionalmente estas medidas preventivas se toman en *salud pública* [rama de la medicina que trata con la salvaguardia y mejora de la salud de la comunidad por medio del esfuerzo organizado de la comunidad, el cual involucra prevención de enfermedad, control de las enfermedades contagiosas y educación sobre la salud (Academic Press Dictionary of Science Technology)] incluyendo la epidemiología. Moeller (1997) describe esta práctica según el modelo dado en la Fig. 3.

La intervención en salud pública busca establecer algún grado de control sobre las fuentes de riesgos para la salud humana y el bienestar. Sin embargo, esto no permite el suficiente control ya que las causas y fuentes mismas no se cumplen. La habilidad para ejercer un mayor control está en el campo de la salud ambiental, la cual es definida por Pew Environmental Health Commission (2001) como la comprensión de aquellos aspectos de la salud humana incluyendo la calidad de vida, la cual está determinada por las interacciones de los factores físicos, químicos, biológicos y sociales en el ambiente. También se refiere a la teoría y práctica de evaluar, corregir, controlar y prevenir esos factores en el ambiente, los cuales pueden afectar adversamente la salud de las generaciones presentes y futuras. Este control según Moeller (1997) está dado en la Fig. 4.

El liderazgo ambiental previene la degradación ambiental y sus consecuencias para la salud humana. Las ventajas son obvias por cuanto reduce los factores de riesgo en el ambiente. La Geología Médica se preocupa por los materiales que afectan a la salud pública y los procesos responsables del comportamiento y distribución cubiertos por el liderazgo ambiental. El liderazgo representa los puntales de la Geología Médica, la cual también necesita ser lanzado en un marco científico y académico. Un marco de lo que aquí se propone sigue a continuación.

PREOCUPACIÓN DE LA GEOLOGÍA MÉDICA PARA ENTENDER EL SISTEMA TIERRA PARA EL LIDERAZGO

El Sistema de Tierra

Un sistema se define como un juego de objetos con relaciones entre sí y sus atributos o, también como un juego de elementos interdependientes, los cuales forman una entidad colectiva. La Tierra puede ser considerada como un sistema y los componentes y sus interrelaciones se muestran abajo en la Fig. 5.

Entender este Sistema Tierra con el propósito de intervenir y controlar para prevenir o intervenir los riesgos de amenaza a la salud pública. Esto involucra la caracterización y clarificación de los componentes y procesos logrados a través de las ciencias de la tierra, los cuales se encaminan hacia el liderazgo ambiental. La Geología Médica se preocupa por entender cómo están funcionalmente interrelacionados los procesos geológicos, físicos y biológicos del Sistema Tierra incluyendo las interacciones geológico-físico-biológicas.

El Concepto Fuente-Camino-Concepto.

La práctica efectiva del liderazgo ambiental utiliza el concepto Fuente-Camino-Concepto (Holdgate, 1979), como es mostrado en Fig. 6, necesita la erección erigiendo impedancia entre la Fuente-Camino-Concepto por intervención y control como se muestra en la Fig. 7.

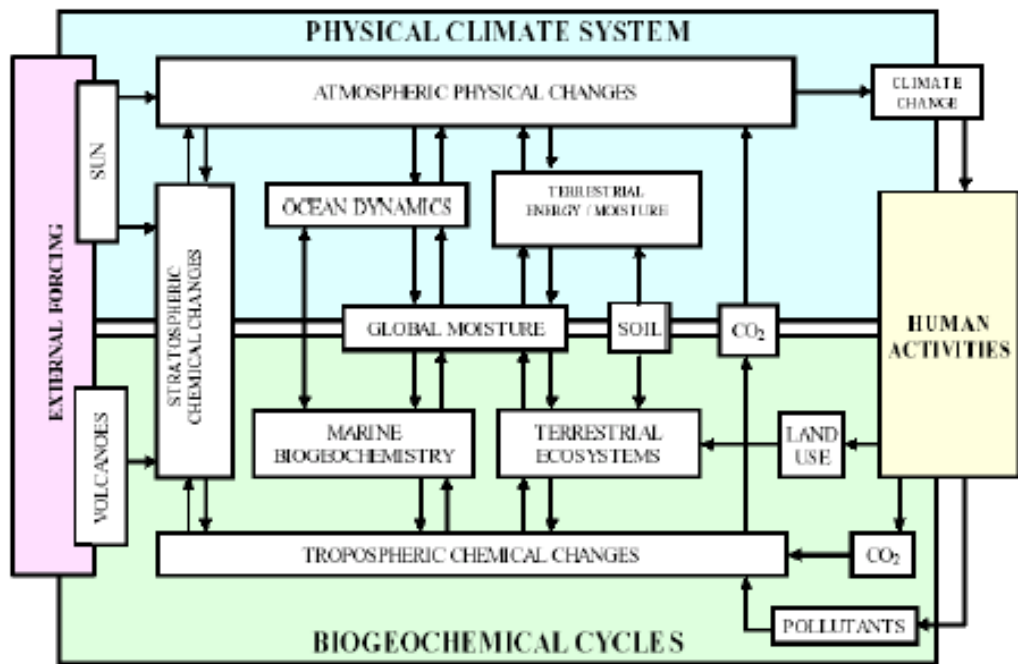


Fig. 5 El Sistema Tierra

Source: <http://www.schools.ash.org.au/paa/EBpdfs/EB.IM1.IL.pdf>



Fig.6 Modelo de Análisis Fuente-Camino-Concepto

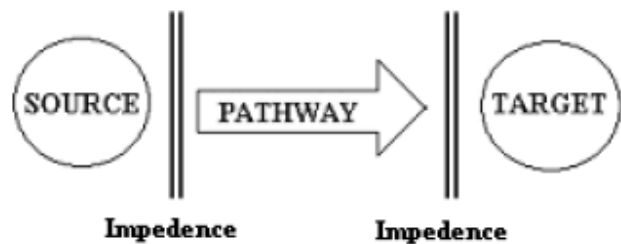


Fig. 7 Fuente-Camino-Concepto por intervención y control

La Geología Médica apunta a demostrar este liderazgo asegurando que la fuente de materiales dañinos o peligrosos está copada. Parece paradójico tener una intervención clínica o de salud pública, como se expresó atrás, cuando la fuente no está controlada. Esto asegura una óptima intervención y control que aseguren que la fuente, en el primer caso, no emana materiales perjudiciales y que los caminos disponibles, queden verificados secundariamente.

EL ACERCAMIENTO de la GEOLOGÍA MÉDICA HACIA el LIDERAZGO

La existencia humana está incluida en el Sistema de Tierra junto con su composición y trabajos. La inmensa serie de procesos y transformaciones entre las fases sólidas, acuosas y gaseosas, con la participación de organismos vivientes involucradas dentro del Sistema de Tierra forman el entorno para la interacción humana con el sistema. El acercamiento de Geología Médica involucra el estudio de los materiales y sus reacciones, transporte, efectos y destinos. Esto requiere un acercamiento bifásico para entender los respectivos componentes y los procesos que constituyen las interacciones entre éstos.

Aspecto Uno: Componentes del Ambiente

Un aspecto que involucra el entendimiento de los componentes del Sistema de Tierra es decir las rocas, suelos, aguas y la atmósfera. Involucra la Tierra sólida o terrestre o *geósfera/litosfera*, la capa acuosa o *hidrosfera*, la cubierta gaseosa o atmósfera y la *biosfera* consiste de todas las cosas vivientes sobre la Tierra representadas en modelos de ecosistemas

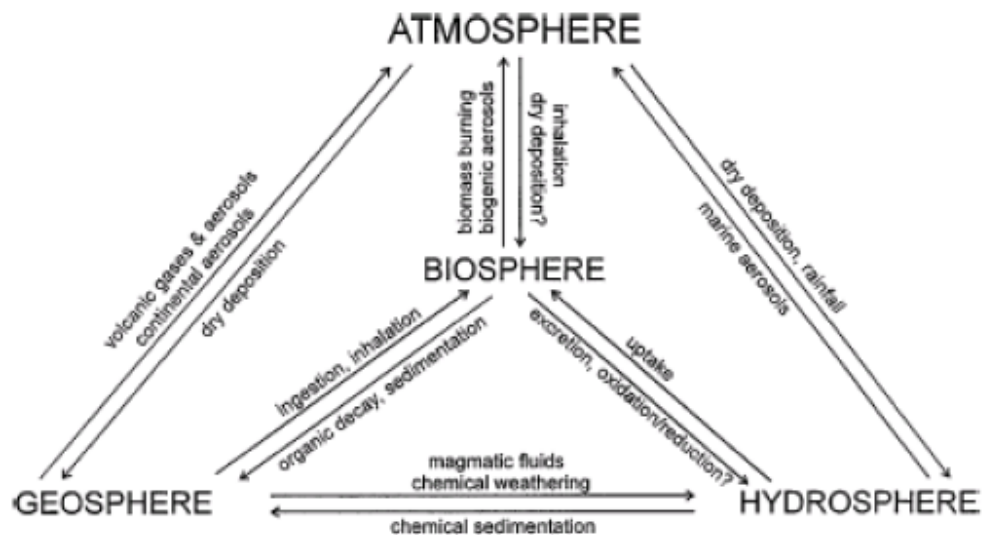


Fig. 8. La biosfera junto con las otras tres esferas (Diagrama de Larocque and Rasmussen, 1998)

La geósfera es la fuente original de toda la materia excepto de la agregada del espacio en forma de meteoritos y polvo cósmico, aunque las subsecuentes entradas y escapes de elementos del ensamblaje terrestre ha sido relativamente insignificante. La cartografía geológica y la identificación de los tipos de roca y minerales, investigaciones hidrogeológicas e interacciones de roca-fluido son áreas críticas en el estudio de los componentes de Sistema de Tierra.

Aspecto Dos: Procesos del Sistema Tierra

La siguiente fase involucra la comprensión de los procesos en y entre diferentes ambientes. Hay un intercambio continuo de materia y energía a través de las interacciones y procesos que transfieren a tales entre el geósfera, hidrosfera y atmósfera como se muestra en la Fig. 9.

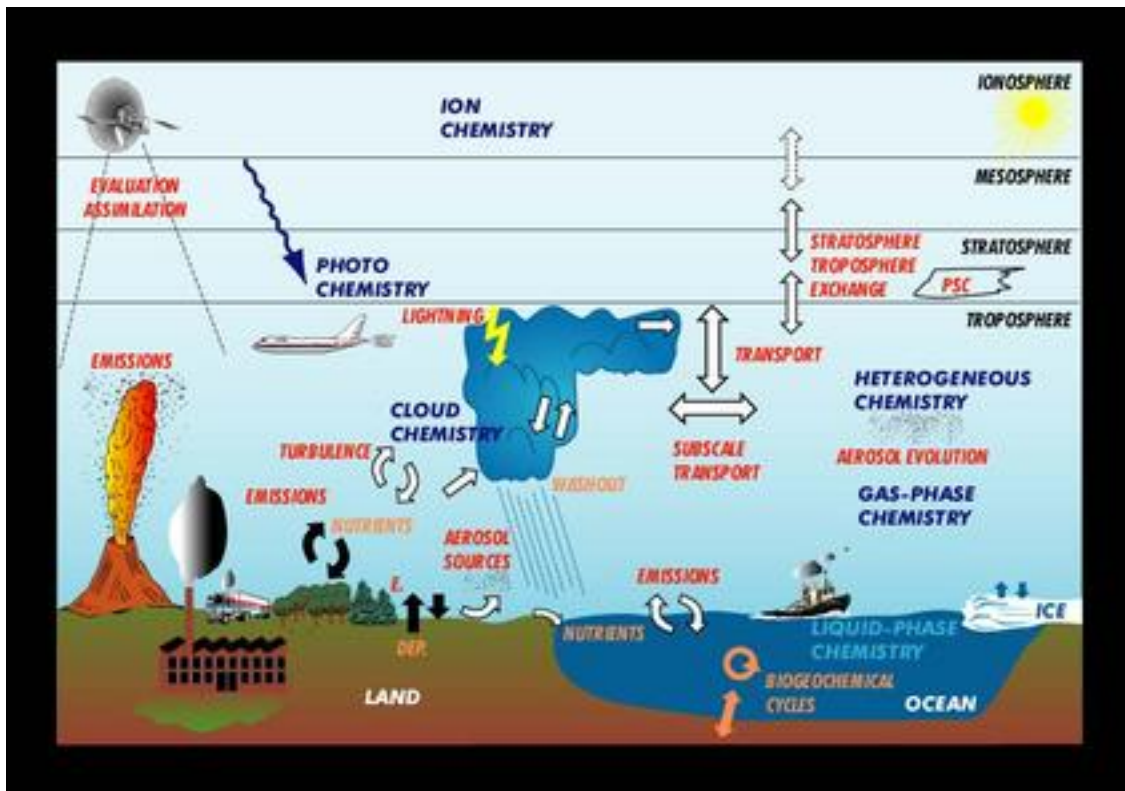


Fig. 9 Apreciación esquemática de las interacciones en el ambiente.

Fuente: http://www.mpimet.mpg.de/working_groups/wg4/

Esto produce numerosos procesos que ocurren por fuera. Procesos, comportamiento y movilización de materiales incluyendo los elementos y especies químicas dependen de las condiciones físico-químicas que existen en el ambiente, así como, su respectiva naturaleza. Como muestra la Fig. 9 hay procesos que ocurren dentro de componentes individuales y a través de las interfaces del componente, lo cual involucra dos o más componentes.

La investigación de los respectivos componentes es decir rocas, suelos, aguas subterráneas, aguas superficiales, atmósfera y las interacciones del ambiente involucran el estudio de éstos a varias escalas desde la megascópica a la microscópica (una nueva área de investigación llamada Geoquímica Molecular Ambiental). Esto también involucra el estudio de los sistemas naturales y los sistemas perturbados para comparar el último con el primero.

A. Procesos Macro-nivelados

A.1 Procesos en Sistemas Naturales

Hay muchos procesos en consideración. Éstos incluyen el ciclo de las rocas y el ciclo hidrológico para mencionar solo dos. Cada uno de éstos se forma a partir de numerosos procesos. Estos procesos naturales involucran la creación, modificación y destrucción de los diferentes estados de materia. También hay intercambio de materiales entre la atmósfera, hidrósfera, geósfera y biosfera. Un ejemplo son los ciclos geoquímicos, por ejemplo: los caminos para averiguar la acumulación e intercambio de elementos químicos entre la atmósfera, hidrósfera, geósfera y biosfera. El Ciclo del Carbono en la

Fig. 10 ilustra las fuentes y procesos que implican los mecanismos de transporte y transformación de material en los sistemas naturales.

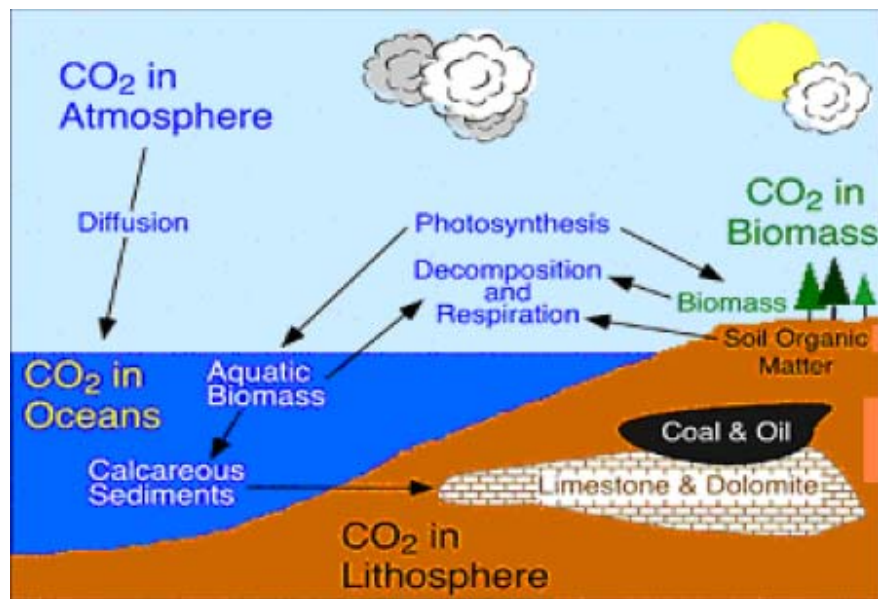


Fig. 10 El Ciclo del Carbono

Adaptado de http://www.geog.ouc.bc.ca/conted/onlinecourses/geog_210/210_2_7.html

A.2 Procesos que originan Sistemas Perturbados

La revista Time (Enero de 1989) dice que la biosfera, atmósfera, y la hidrósfera actualmente se están alterando en proporciones que superan ampliamente los procesos naturales. Los sistemas perturbados son consecuencia de esta alteración e incluyen las consecuencias antropomórficas que provocan el forcejeo del sistema natural. Esto ha dado lugar entre otros, al calentamiento global, lluvia ácida y drenaje ácido de mina y transporte de materiales a grandes distancias.

Calentamiento global: Un ejemplo de las actividades humanas es la liberación de gases como el CO₂ al ambiente ilustrado usando el Ciclo del Carbono en la Fig. 11, lo cual causa un cambio en el ciclo de este elemento.

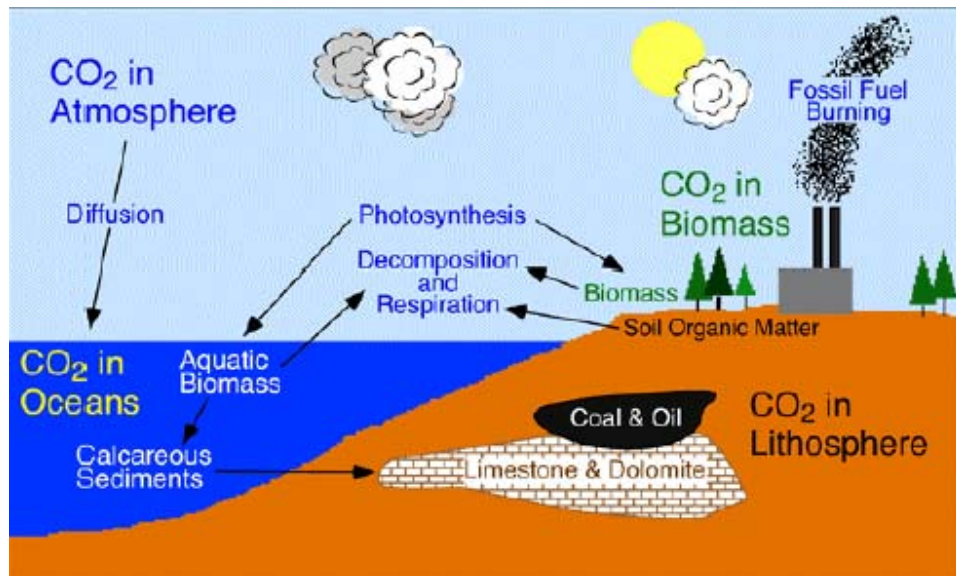


Fig. 11 **La Fuente del Ciclo de Carbono Perturbada:**
http://www.geog.ouc.bc.ca/conted/onlinecourses/geog_210/210_2_7.html

CO₂ y ciertos otros gases como H₂O en la atmósfera son llamados gases de invernadero, puesto que interactúan recíprocamente con la energía proveniente del espacio, absorbiendo y reemitiéndolos de vuelta para mantener las temperaturas atmosféricas, al igual que los invernaderos mantienen la temperatura. Un aumento en la cantidad de gases de invernadero incrementa la cantidad de energía retenida y entre más lo haga dará lugar a que la temperatura atmosférica suba como lo muestra la Fig. 12 abajo.

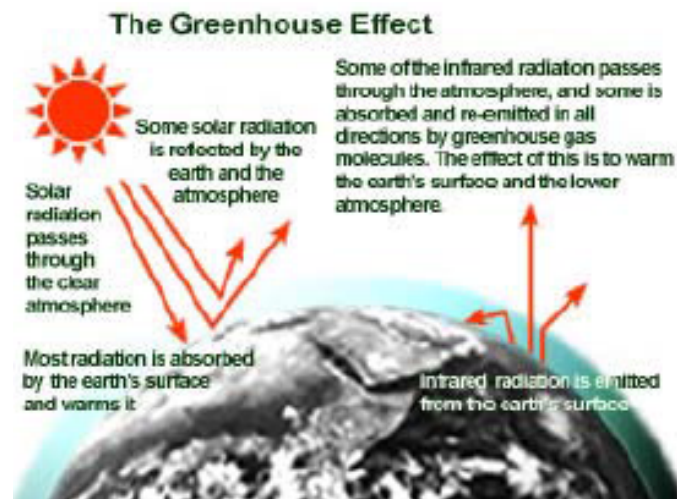


Fig. 12 **El Efecto del Invernadero**
 Fuente: <http://www.epa.gov/globalwarming/climate/index.html>

Los aumentos en las temperaturas causan cambios ambientales que afectan los modelos de clima globales, lo cual origina cambios en sistemas climáticos.

Lluvia ácida: La lluvia ácida consiste en ácidos de la atmósfera que caen disueltos en el agua lluvia como se muestra en la Fig. 13 abajo. Gases como SO₂ y NO liberados en la

atmósfera reaccionan con H₂O, O₂ y otros, los cuales producen soluciones ácidas débiles que se precipitan como lluvia con lo cual resultan afectadas las plantas y animales.

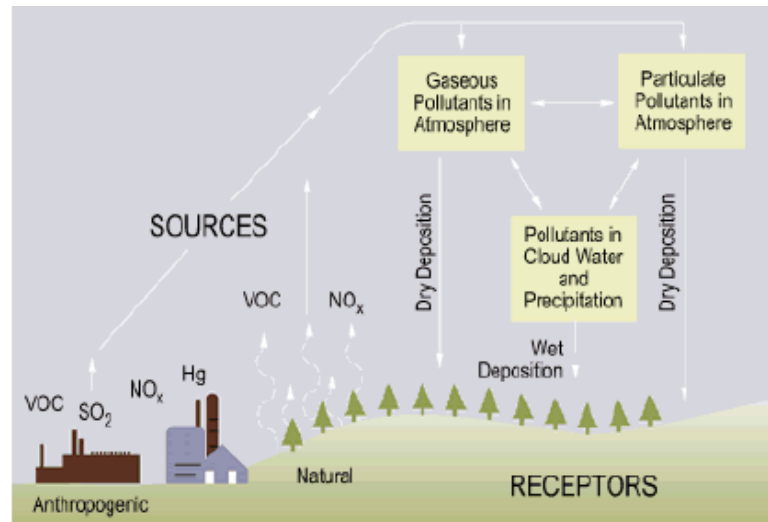


Fig. 13 Lluvia Ácida

Fuente: <http://www.epa.gov/airmarkets/acidrain/index.html>

Drenaje ácido de Mina: Esto es que un drenaje muy ácido que fluye de las salidas de las minas o escombreras con altas concentraciones de metales disueltos formadas por reacciones geoquímicas que ocurren debido a la exposición del mineral pirita al aire. Los metales permanecen disueltos en solución hasta que sube el pH a cierto nivel y ahí es cuando se precipitan como un precipitado de color anaranjado brillante como se ve en la Fig. 14 abajo.



Fig. 14 Desagüe Ácido de Mina

Fuente: Dept. of Environmental Protection, Commonwealth of Pennsylvania, U.S.A.
(http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/bamr/amd/science_of_amd.htm)

Es necesario entender la geología de los yacimientos minerales y los procesos geoquímicos responsables de la movilidad elemental para superar los impactos de la salud derivados del desarrollo de los recursos minerales.

Transporte aéreo de largo alcance: La atmósfera es un conducto de material y está habilitada para levantar y transportar polvo, químicos tóxicos y microorganismos. Griffin et al. (2002) dan cuenta del transporte global de polvo, químicos tóxicos y microorganismos en la atmósfera.

B. Procesos Micro-nivelados

Esto involucra mirando a materiales específicos o procesos que involucran particulares materiales terrestres o los caminos específicos. Los medios ambientales como las aguas superficiales y subterráneas debido a la disolución de rocas y suelos en contacto (Gough, 1993) son caminos para movilidad de elementos geoquímicos. Están siendo investigados los procesos de transporte de masas como llegada, dispersión y difusión que mueven materia a través del aire, agua superficial o en el ambiente del subsuelo. Esta inmensa serie de procesos químicos y transformaciones entre lo sólido, acuoso y fases de gas (con la participación de organismos vivos) está controlado por reacciones a escala microscópica que ocurren principalmente sobre las superficies de los sólidos y sus interfaces con soluciones acuosas o con el aire. Las interacciones e interfaces son importantes porque involucra disolución, la cual libera especies químicas en solución o viceversa.

Un fenómeno importante de superficie de inmensa jerarquía ambiental es adsorción, la cual es la acumulación de átomos y moléculas sobre superficies.

La investigación de las fuentes, caminos y blancos de metales pesados específicos y elementos traza esenciales o elementos traza (llamados así según la división convencional de elementos geoquímicos como mayor, menor y elementos traza como una función de su relativa abundancia) es del dominio de procesos micro-nivelados.

C. Componentes del Sistema Tierra y Procesos y Geología Médica

Uno de los principales obsequios de los componentes del sistema de tierra y sus procesos son la contaminación y la ecotoxicidad... La contaminación del clima, definida por el Academic Press Dictionary of Science and Technology, es cualquier alteración del ambiente natural que produce una condición dañina para los organismos vivos. La contaminación es debida al contagio, por ejemplo, la adición de cualquier sustancia indeseable en cualquier componente del Sistema Tierra. Los contaminantes pueden ser gaseosos, líquidos o sólidos y vienen de fuentes naturales y antropogénicas.

La contaminación atmosférica ocurre cuando las concentraciones de ciertas sustancias aumentan a un nivel tal que cause que el aire se vuelva tóxico. La contaminación del agua ocurre por la degradación en la calidad de agua, la cual se cuantifica por criterios biológicos, químicos y físicos. El agua incluye la de superficie así como el agua subterránea. La calidad deseada del agua depende del uso proyectado o de su impacto para que la calidad sea específica según las normas requeridas para su uso proyectado y efectos en la salud pública o impactos en el ambiente.

Investigaciones en minerales como el asbesto ilustran los efectos sobre la salud humana. Inhalando asbesto pueden causar letales efectos para la salud como la asbestosis (una fibrosis de los pulmones), cáncer pulmonar y mesotelioma maligno (Finkelman et al., 2001). Los asbestos incluyen el mineral serpentínico crisotilo, normalmente el más utilizado, y las variedades del asbestiformes de algunos de minerales de anfíbol, (incluyendo la grunerita, conocido comercialmente como amosita); riebeckita, conocido como crocidolita, o el asbesto azul; antofilita, tremolita; y actinolita.

Por ejemplo, el asbesto de crisotilo normalmente se considera menos carcinogénico que el asbesto del anfíbol. Otros estudios incluyen los efectos de la combustión de carbón (Finkelman et al., 2003), el material fibroso ambiental (Hillerdal, 2003), geoquímica y huesos de vertebrados (Skinner, 2003).

El uso de metales pesados se remonta para atrás un largo espacio de tiempo. Eaton y Robertson (1994) y Silver y Rothman (1995) citan usos prematuros como el uso de plomo en plomería y para mejorar el sabor de vino, arsenato de plomo como pesticida y mercurio como un ungüento para aliviar los dolores de dientes en infantes. Las contribuciones antropogénicas de metales pesados en los sistemas naturales se han aumentado fenomenalmente desde la Revolución Industrial. Nriagu (1996) ha demostrado el aumento exponencial en la producción de metales pesados como plomo, cobre y cinc entre 1850 y 1990. El destino de los metales pesados, como As, Cd, Hg y Pb y otros, en el ambiente natural es de gran preocupación debido a sus potenciales efectos dañinos (Adriano, 1986 y Alloway, 1995).

Las deficiencias, excesos o desequilibrios de los elementos químicos también tienen una presión típica sobre la salud. Los ejemplos de materiales terrestres incluyen elementos esenciales y tóxicos y se muestran en Figura 15.

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	P	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

ESSENTIAL

TOXIC

Fig. 15 Tabla periódica mostrando los elementos esenciales y los tóxicos.

Algunos elementos son esenciales y tóxicos. Elementos que posiblemente son esenciales están indicados por una sombra gris más ligera. (Fuente: British Geological Survey, UK).

Las concentraciones típicas de elementos esenciales y tóxicos en aguas subterráneas son como se muestra en la Fig. 16.

Según Edmunds y Smedley (1996) la geoquímica natural de las aguas subterráneas y aguas superficiales y su interacción con las rocas, también crea amplios problemas para la salud y la aceptabilidad en muchas partes del mundo en una escala regional. El caso del problema del arsénico en Bangladesh es bien conocido (Smith et al., 2000).

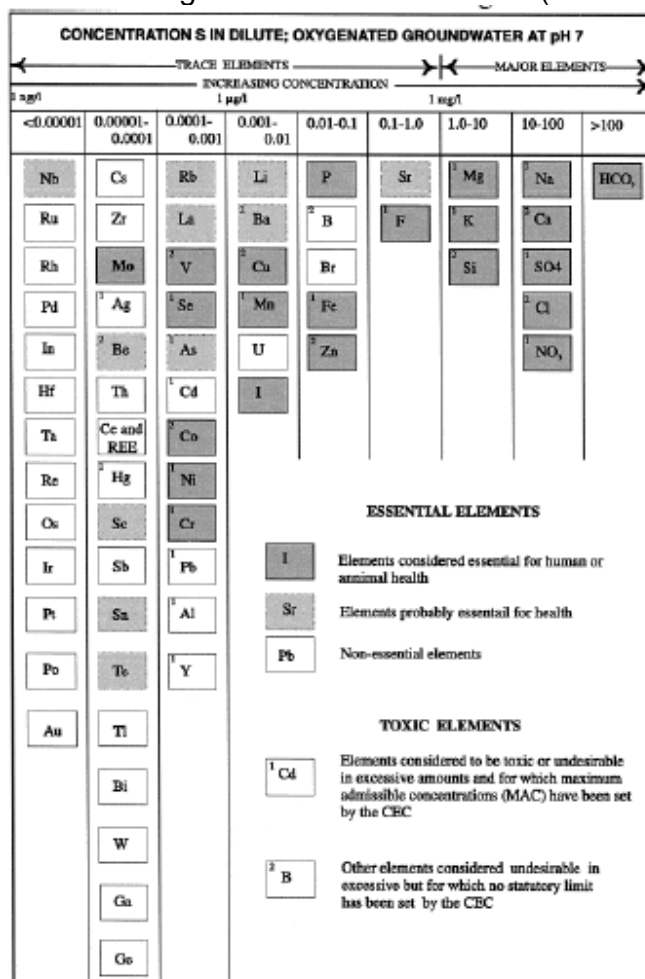


Fig.16 Elementos en agua subterránea y su importancia en la salud [después de Dissanayake y Chandrajith (1999) y Edmunds y Smedley (1996)].

El proceso que opera en sistemas naturales y perturbados tiene un impacto sobre todo en la salud especialmente aquéllos involucrados en el transporte y dispersión de los componentes arriba mencionados. Algunos de los accidentes son como sigue. Procesos de ocurrencia natural, por ejemplo: la erupción de un volcán emite dióxido de azufre, el cual tiene un efecto sobre la salud. Sutton et al. (2003) dan una cuenta de los riesgos para la salud causada por la contaminación aérea volcánica en Hawaii. Derbyshire (2003) relaciona sobre el polvo Natural y neumoconiosis en Asia Alta mientras Grattan et al (2003) reportan sobre enfermedades humanas y la tasa de mortalidad a causa de una distante erupción volcánica de gases. Otros ejemplos de fuentes naturales son incendios forestales, polvo y polen.

Los Sistemas perturbados normalmente resultan con efecto negativo para las actividades antropogénicas ej. emisiones de los exhostos, derrames de petróleo, descargue de basuras en agua, sobredosis de pesticidas y fertilizantes químicos, la disposición inadecuada de basuras y así sucesivamente. Las fuentes del antropogénicos de contaminantes son las emisiones de la industria, transporte, la generación de energía y quemadas abiertas. Las variedades de materiales que pueden contaminar agua son muy amplias. La contaminación de los suelos ocurre cuando estos se vuelven depósitos de substancias que son contaminantes. Los procesos de adsorción determinan la retención de los contaminantes en los suelos. La emergencia de la tierra contaminada es el resultado de la contaminación de los suelos y plantea amenazas para la salud humana, animales, plantas y el ecosistema. Como un ejemplo de los efectos de la contaminación integrada Naidu y Nadebaum (2003) relatan sobre en el arsénico geogénico y los continuos problemas de toxicidad asociados con el agua subterránea-suelos-plantas-animales-humanos.

El consumidor y la sociedad industrializada generan una gran cantidad y variedad de desechos y basuras sólidos. La composición de los desechos es muy heterogénea, e incluye plásticos, papel, vidrio, madera, metales y textiles. Para abreviar, es algo que se desecha. Las fuentes de las basuras son igualmente considerables y variadas como la industria, establecimientos comerciales, agricultura, minería y las casas domésticas. Estos desechos son peligrosos cuando tienen la tendencia a liberar contaminantes al ambiente. Desecho peligroso es cualquier sustancia descartada que posee cualquiera de las siguientes cuatro características - la reactividad, corrosividad, ignitabilidad o toxicidad (o es carcinogénico-mutagénico-teratogénico). Las basuras dispuestas sobre la tierra, uno de los métodos más antiguos de disponer las basuras, permiten que los materiales tóxicos se lixivien en el subsuelo, liberen olores en la atmósfera aparte de atraer pestes y de incubar enfermedades. La incineración libera contaminantes como metales, óxidos gaseosos (óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre) y otros materiales a la atmósfera. Hoy día los botaderos han sido reemplazados por rellenos sanitarios donde los desechos se depositan en una fosa o tajo abierto diseñado y luego se cubre.

Entendiendo el funcionamiento de los adelantos ambientales, naturalmente ayuda también al esfuerzo para oponerse a la perturbación. Sin embargo, tiene que ser mencionado que la cruzada contra los casos de perturbación como la contaminación es el mayor ímpetu adelantando por esta disciplina.

Las herramientas dan lugar a nuevas tecnologías y el avance de las capacidades analíticas juega un papel crítico en la Geología Médica. Johnson (1997) muy acertadamente plantea que el pequeño conocimiento de los impactos ambientales o desarrollo de los conceptos geoquímicos pudieran haber pasado desapercibidos, sin los mayores adelantos en las facultades analíticas para medir bajos niveles de metales y químicos orgánicos en el agua. Ella sigue diciendo que el avance tecnológico en la instrumentación fue conducido a través del refinamiento en la espectrofotometría de adsorción atómica (Mancy, 1971). La técnica fue un éxito debido a su velocidad, bajo costo, sencillez y tenía una pequeña interferencia de la matriz o la solución de agua que estaba siendo analizada. El análisis de compuestos orgánicos se ha facilitado desde comienzos de la década del 70 con los adelantos en espectrometría y cromatografía/masas de gases asistidos con los métodos y técnicas computacionales (Keith, 1976).

ASPECTO TRES: MATERIALES Y ECOTOXICOLOGIA

El tercer aspecto involucra ecotoxicidad la cual trata con los efectos adversos de materiales tóxicos sobre los sistemas naturales y evalúa su potencial impacto. Un nivel

de fondo (background) representa concentraciones naturales para que los valores de fondo de un elemento o especies químicas son aquéllas que ocurren naturalmente en el ambiente y aquéllos en concentraciones con valores por encima del valor de fondo son considerados como contaminantes. Cuando elementos o especies químicas se presentan en niveles que son potencialmente peligrosos se tiquetean como contaminantes o riesgosos.

Los ejemplos de elementos tóxicos que se han estudiado extensamente son el mercurio, arsénico etc. Las formas o especies de estos elementos y compuestos son importantes puesto que determinan la biodisponibilidad, es decir su captación e incorporación en el animal y el tejido de la planta. Los ejemplos de efectos de toxicidad son la acumulación nuclear de Hg en granulocitos de neutropilo asociado con exposición a la amalgama dental (Lindvall et al., 2003), minerales en los vasos sanguíneos humanos y su disolución *in Vitro* (Pawlikowski, 2003) y los efectos del cinc fortalecido en el agua de beber sobre el cerebro y la memoria (Jones et al., 2003)

ASPECTO CUATRO: ANÁLISIS COLECTIVO DE LOS FACTORES

El cuarto aspecto involucra el análisis colectivo de los diversos factores. Los diferentes factores tienen que ser estudiados para ganar un concepto holístico de la conveniencia de la disposición de un área. Una importante herramienta en esto se analiza por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como su dimensión geográfica admite su manipulación en forma de datos espaciales y permite información espacial de las diversas disciplinas para ser colectada y analizada simultáneamente. Estos datos espaciales, por ejemplo, pueden ser conceptualizados usando uno de los acercamientos mencionados por Quiroga et al. (1996) es decir, el acercamiento categórico para definir relaciones específicas entre las diferentes categorías que forma cada una de las capas de datos. La demarcación de las zonas de riesgo espaciales basada en los niveles de concentración de elementos esenciales y tóxicos, compilados con la información geológica y epidemiológica, representa una misma herramienta de mucho augurio para la unión del elemento químico con la salud mediante la utilización de las técnicas del Sistema de Información Geográfica (RECLUTAS).

CONCLUSIÓN

El impulso para la Geología Médica es proporcionar un liderazgo para prevenir y, óptimamente, eliminar el recelo de la salud con el Sistema Tierra. Este es el apuntalamiento de los esfuerzos para destapar el efecto del Sistema de Tierra sobre todo en la salud, su perturbación debido a la compulsión antropogénica. Esto involucra mirando varios aspectos y a los varios niveles del Sistema de Tierra individual o simultáneamente, como arriba se expresó, entender sus interacciones para poder lograr una comprensión integrada hacia el diagnóstico y la prognosis.

BIBLIOGRAFIA

- Adriano, D.C., 1986, *Trace elements in the terrestrial environments*, Springer Verlag, New York.
- Alloway, B.J., 1995, *Introduction In Heavy Metals in Soils*, B. J. Alloway, Ed., Blackie Academic and Professional, London, 3-10.
- Carson, Rachel. 1962. *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston.
- Centeno, J.A.; Mullick, F.G. and Ejniak, J.W., 2003, *Medical Geology: An Emerging Discipline in Support of Environmental and Military Medicine*, Natural Science and Public Health: Prescription for a Better Environment, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. Open-File Report 03 - 097.
- Derbyshire, E., 2003, Natural Dust and Pneumoconiosis in High Asia, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Eaton, D. L. and Robertson, W.O., 1994, *Toxicology In Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine*, L. Rosenstick and M. R. Cullen, Eds. WB Saunders Company, Philadelphia, 116 -117.

- Dissanayake, C. B. and Chandrajith, R., 1999, Medical geochemistry of tropical environments, *Earth-Science Reviews*, 47, 219-258.
- Edmunds WM, Smedley PL., 1996, *Groundwater geochemistry and health: an overview* In *Environmental Geochemistry and Health*, J. D. Appleton, R. Fuge, G. J. H. McCall, Eds., Geological Society London, Special Publication No. 113, 91-95.
- Finkelman, R. B., Skinner, H. C. W, Plumlee, G. S. and Bunnell, J. E., 2001, Medical Geology, *Geotimes*, November.
- Finkelman, R.B. et al., 2003, Geological Epidemiology: Coal Combustion in China, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Geotimes Staff, 2001, Earth Materials and Public Health, *Geotimes*, November.
- Gough LP (comp)., 1993, *Understanding Our Fragile Environment*, U.S. Geological Survey Denver, Colorado, Circular 1105.
- Grattan, J. et al., 2003, Human Sickness and Mortality Rates in Relation to the Distant Eruption of Volcanic Gases: Rural England and the 1783 Eruption of the Laki Fissure, Iceland, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Griffin, D.W.; Kellogg, C.H., Garrison, V.H. and Shinn, E.A., 2002, The Global Transport of Dust, *American Scientist*, May-June.
- Hillerdal, G., 2003, Health Problems Related to Environmental Fibrous Minerals, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Holdgate, M. W., 1979, *A Perspective of Environmental Pollution*, Cambridge University Press, Cambridge
- Johnson K. O., 1997, *Advancement of Environmental Geochemistry*, 213th American Chemical Society National Meeting, San Francisco CA, 13-17 April.
- Jones, B.F., Conko, K.M., Flinn, J.M., Linkous, D.H., Lanzirrotti, A., Frederickson, C.J., Bertsch, P.M., Friedlich, A. and Bush, A.I., 2003, *Effects of Enhanced Zinc in Drinking Water on Brain and Memory*, Natural Science and Public Health: Prescription for a Better Environment, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. Open-File Report 03 - 097.
- Keith, L. H. 1976. *Identification and Analysis of Organic Pollutants in Water*. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, U.S.A.
- Larocque, A. C. L. and Rasmussen, P. E., 1998, *Environmental Geology* 33 (2/3) February, Springer-Verlag
- Lindvall, A. et al., 2003, Nucleic Accumulation of Mercury in Neutrophil Granulocytes Associated with Exposure from Dental Amalgam, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Mancy, K. H. 1971. *Instrumental Analysis for Water Pollution Control*. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, U.S.A.
- Moeller, D.W., 1997, *Environmental Health*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., U.S.A.
- Naidu, R. and Nadebaum, P.R., 2003, Geogenic Arsenic and Associated Toxicity Problems in the Groundwater-Soil-Plant-Animal- Human Continuum, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Nriagu, J.O., 1996, History of Global Metal Pollution, *Science*, 272(5259), 223-224. Pawlikowski, M., 2003, Minerals in Human Blood Vessels and their Dissolution *in vitro*, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Pew Environmental Health Commission, 2001, <http://pewenvirohealth.jhsph.edu/html/home/home.html>
- Quiroga, C.A.; Singh, V.P. and Iyenger, S.S. 1996. Spatial Data Characteristics. In *Geographical Information Systems in Hydrology*, VP Singh and M. Fiorentino, Eds., Kluwer Academic Publishers, p 65 & 89
- Silver C. S. and Rothman D.S., 1995, *Toxics and Health: The Potential Long-Term Effects of Industrial Activity*, World Resources Institute, Washington, D.C.
- Skinner, H.C.W., 2003, Geochemistry and Vertebrate Bones, *Geology and Health*, Oxford University Press.
- Smith A.H., Lingas, E.O. and Rahman, M., 2000, *Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency*. Bull World Health Organization, 78 (9): 1093-1103.
- Sutton, A.J.; Elias, T.; Tam, E.K.; Kunimoto, J.; Avol, E.L.; Dockery, D.W. and Ray, J.D., 2003, *Working toward a better understanding of health hazards caused by volcanic air pollution on the Island of Hawaii*, Natural Science and Public Health: Prescription for a Better Environment, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. Open-File Report 03 - 097.
- WHO, 2000, *Environmental Health Indicators: Development of a Methodology for the WHO European Region*, Interim Report, WHO Euro Publication EUR/00/5026344