

ANÁLISIS AMBIENTAL POR ABORDAJE SISTÉMICO



Sistema es un conjunto de unidades que se relacionan entre sí. Esas unidades tienen elementos integrantes que se encuentran interrelacionados, uno dependiendo de otro, y con propiedades comunes. Las calidades que se atribuyen a los elementos del sistema, con el propósito de caracterizarlo, se denominan atributos. Éstos pueden referirse al área, al volumen, a características de composición, a la densidad de los fenómenos observados y otros.

El grado de organización de los sistemas permite que pueda ejercer la función de un todo, que sea mayor que la suma de sus partes. Cada unidad tiene su estado controlado, condicionado o dependiente del estado de las otras unidades.

El concepto de sistema es esencialmente funcional, pudiendo ser aplicado a las comunidades de plantas o a grupos humanos complejos. Los límites del sistema deben distinguirse entre los elementos componentes del sistema y los elementos pertenecientes a su ambiente. El ambiente es compuesto por todas las partes externas, en las cuales el sistema existe y está integrado. El ambiente representa un sistema de orden más elevado, del cual el elemento que está siendo examinado es una parte. Así, modificaciones en los primeros elementos traerán modificaciones directas en los valores de los elementos contenidos en el mismo.

El estado de un sistema es caracterizado por su organización, composición y flujo de energía y materia, pudiendo ser medido a través de variables. Los valores relacionados con las variables del sistema, en determinado momento, describen su estado funcional en aquel momento. Cuando la estructura y las relaciones se mantienen aproximadamente constantes, con valores

alrededor de los valores de las variables en virtud del funcionamiento adaptado a los “inputs” que fueron introducidos, el sistema se encuentra en estado estacionario o constante. Si hay alteración en los “inputs”, sobrepasando la capacidad de absorción del sistema, hay cambio hacia otro estado. Un sistema puede alcanzar diversos estados y no hay proceso que determine cómo establecer la posición siguiente, es por eso que se utiliza el cálculo probabilístico.

El equilibrio de un sistema representa el ajuste completo de sus variables internas a las condiciones externas. Eso significa que los elementos y sus atributos presentan valores dimensionales de acuerdo con las influencias ejercidas por el ambiente, que controla la calidad y la cantidad de materia y energía que circulan por el sistema.

El estado constante o “steady state” es alcanzado cuando la importación y la exportación de materia y energía son igualadas por medio del ajuste de las fuerzas del propio sistema, permaneciendo constantes mientras no se modifiquen las condiciones externas. Así, ese estado es independiente del tiempo y su organización no se modifica por la variable temporal.

Cuando las condiciones externas permanecen inmutables, el equilibrio dinámico puede llegar al estado que mejor exprese la organización interna en función de las referidas características exteriores, llegando a obtenerse la condición estática de máxima entropía. Por ejemplo, en una cuenca hidrográfica, las condiciones climáticas, litológicas, biogeográficas y otras, condicionarán la estructuración de determinada red de drenaje y de determinadas formas de relieve. Alcanzando la estabilidad, la geometría de la red fluvial se encuentra en perfecto estado de equilibrio y solamente sufrirá modificaciones si ocurriesen alteraciones en las variables condicionantes.

Para el análisis y verificación del equilibrio de los sistemas de procesos-respuestas que funcionan conforme las condiciones del abastecimiento de materia y energía, se deben considerar el análisis de las características de flujos y el análisis de los mecanismos de ajuste entre los elementos.

La descripción de los eventos que expresan el abastecimiento de determinada cantidad de materia y energía a los distintos sistemas es importante, porque son ellos los que regulan el funcionamiento y la organización del sistema. El valor de la cantidad representa su magnitud (intensidad o grandeza). Sin embargo, los eventos presentan una variabilidad muy grande en el abastecimiento de esas cantidades. Por ejemplo, las lluvias en determinada área tienen poca intensidad y ocurren con mayor frecuencia, en cuanto los aguaceros prolongados, son raros. Esta verificación nos permite distinguir los fenómenos de pequeña magnitud y alta frecuencia de los que presentan baja frecuencia y alta magnitud.

En el transcurso del flujo de materia y energía de los sistemas, habrá en cada subsistema transformaciones, en secuencia, entre el patrón y la calidad de entrada y salida de esos elementos. Esas transformaciones son responsables por el surgimiento de nuevos procesos y por la elaboración de nuevas formas de organización del estado del sistema.

Cada dato de un evento representa la magnitud del mismo. El conjunto de datos debe ser analizado como condición de distribución normal de un proceso biológico. El análisis estadístico incluye el cálculo de las medidas de tendencia central (media, mediana y moda) y las de dispersión (variancia y patrón de desvío). Se verifica, en general, que la media es mayor que la mediana. Y ésta, a su vez, es mayor que la moda. Bajo estas condiciones, la asimetría es positiva. En el caso que la distribución normal sea asimétrica, se evita analizar los datos originales y se normalizan los datos obtenidos a través de transformación logarítmica.

El predominio de las distribuciones asimétricas positivas en los fenómenos ambientales puede ser ocasionado cuando la magnitud de determinado evento es limitada en el límite inferior (no es posible, por ejemplo, que haya precipitación, débito fluvial o población inferior a cero), y no ocurre lo mismo con el límite superior. Por eso, los eventos raros de baja frecuencia y elevada magnitud, representan otro aspecto importante en las características de entrada y salida de energía en los sistemas.

Todo flujo a través del sistema provoca algún efecto, pero esos cambios varían enormemente con la intensidad de la entrada. En el ajuste de los elementos de un sistema, éste es capaz de absorber determinada amplitud de variación sin que ocurran alteraciones. La importancia de los eventos de alta magnitud es grande, muchas veces sobrepasando los límites de absorción y produciendo una modificación intensa en el sistema. Sin embargo, los eventos de magnitud media y de mayor frecuencia son los más efectivos a largo plazo. Para el análisis de los eventos raros, se usa la teoría de las estadísticas de los extremos, permitiendo establecer previsiones y parámetros claves para cuando sucedan.

Los sistemas ambientales siempre están funcionando por medio de fluctuaciones en el abastecimiento de materia y energía. Además, el ajuste interno de los mismos permite que haya absorción de fluctuaciones dentro de determinada amplitud, sin que el estado sea modificado. Cuando las fluctuaciones ocurren en este segmento de amplitud y el sistema se mantiene estabilizado frente a esas oscilaciones, éste se encuentra en estado estacionario “steady state”.

El estado estacionario no es inmutable sino que representa el comportamiento alrededor de una determinada amplitud de variación. La escala temporal representa el mejor criterio para verificarse la estabilidad o inestabilidad del sistema. Si el comportamiento del sistema fuese observado durante determinada escala temporal y si las variables que describen los “output” permanecen constantes o estadísticamente estables, entonces, las fluctuaciones que existen en el “output” durante el referido período de tiempo son irrelevantes.

Cuando el sistema funciona en equilibrio estabilizado, conforme la manutención y los abastecimientos de las restricciones presentadas, hay una tendencia para la distribución equitativa de la energía que irá a caracterizar el surgimiento de estados de determinada categoría en la organización del sistema.

Cada organización representa un caso que presenta una descripción específica sobre la estructura y la intensidad de las relaciones y de los flujos. Considerando la cantidad de elementos y de relaciones que componen determinada clase de sistema, son innumerables las posibles combinaciones de organización espacial. Si imaginamos que los tipos de organizaciones espaciales posibles se distribuyen conforme lo previsto para la normalidad de un análisis estadístico, los datos más probables serán las combinaciones.

Cuando la introducción de nuevas fuerzas produce movimientos que excedan el grado de absorción, hay un reajuste en busca de un nuevo estado de equilibrio. Cuando un evento de entrada exceda el umbral compatible con la organización del sistema, hay una profunda alteración y el sistema tiende a reajustarse. En ese reajuste, el sistema puede volver al estado semejante al precedente o alcanzar el estado estacionario en un nuevo posicionamiento.

El caso de una playa, por ejemplo, cuando es afectada por una tormenta, formando olas de gran potencia, la erosión y las fuerzas actuantes modifican profundamente sus aspectos paisajísticos. Posteriormente, con la constante actuación de las olas, la playa poco a poco readquiere sus características anteriores y borra las señales dejadas por la tormenta.

La desorganización introducida en el estado estacionario del sistema provoca el inicio de una transformación que pasa por diversas fases. El tiempo de reacción corresponde al período y al comienzo de la alteración en el sistema. La fase de transición entre el estado de equilibrio existente y el del nuevo equilibrio a ser alcanzado corresponde al tiempo de readaptación del sistema. Los diversos estados transitorios, seguidos por el sistema en el pasaje entre los dos estados de equilibrio, constituyen la trayectoria de readaptación.

El tiempo de readaptación varía de un sistema para otro y será mayor si hay elementos de mayor resistencia a los cambios en el interior del sistema. La habilidad de enfrentar las influencias externas es mayor y más típica en las comunidades vegetales y animales, y menos pronunciada en los componentes inorgánicos. Cuando ocurre un disturbio en el equilibrio de uno de los componentes del geosistema, entra en acción un conjunto de relaciones

retroalimentadoras, dando como resultado que el sistema alcance el equilibrio después de atravesar una serie de estados transitorios. Si la modificación inicial fuera reversible, el equilibrio restaurado será semejante al estado antiguo. El tiempo de readaptación es controlado por cuatro factores principales:

- La resistencia ofrecida a los cambios por los componentes individuales del sistema, con sus diferentes tiempos de reacción y de readaptación;
- La complejidad del sistema, incluyendo el número de componentes, la frecuencia y naturaleza de sus relaciones;
- La magnitud y la dirección del evento de entrada que puede reforzar la tendencia de cambio existente, en el propio sistema, o ser contrario a ella;
- El ambiente de la energía del evento ofrecido al sistema. Las rápidas fluctuaciones ocurridas en el evento pueden ser filtradas por subsistemas del ambiente, a fin de mantener tendencias más sencillas con el correr del flujo.

Cuando determinado sistema excede la “línea demarcatoria”, ingresa en otra categoría, estableciendo una nueva estructura y asumiendo nuevos aspectos. Ese excedente, generalmente, se produce cuando acontecimientos de alta intensidad están actuando.

En regiones calientes y húmedas, por ejemplo, las vertientes sufren continuo desgastes por la acción de las lluvias, lo que constituye un hecho común. Sin embargo, en raras ocasiones, cuando hay lluvias muy intensas o muy prolongadas, las fuerzas erosivas alcanzan magnitud que excede la resistencia del regolito (manto de alteración), produciendo deslizamientos de enorme cantidad de material, como en los casos de catástrofes.

La ruptura del equilibrio y el desarrollo de la trayectoria de readaptación ocurren, pues, cuando el estímulo exterior presenta una magnitud suficiente, excediendo la capacidad de absorción. Sobrepasando el límite divisorio crítico de la faja de absorción, el sistema espontáneamente se modifica y alcanza un nuevo estado de equilibrio. En el geosistema, los diversos subsistemas componentes tienen escalas diferentes para reajustarse a las modificaciones provocadas externamente, hasta que se restaure el equilibrio perdido, pudiendo oscilar de la escala medida en años hasta la de millones de años.

La readaptación solamente ocurre en los sistemas abiertos y la facilidad y rapidez de sufrir cambios y de readaptarse están relacionadas con el grado de abertura del sistema. Cuanto mayor es el número de conexiones con el ambiente, mayor será el número de fuentes y de estímulos posibles de afectar al sistema, pero también será mayor su organización. La probabilidad con que ocurren modificaciones está directamente relacionada con el grado de conectividad del sistema, que, a su vez, está relacionado con la complejidad de la organización del mismo.

Toda vez que ocurre una transformación del estado del sistema, pasando de un equilibrio a otro, en virtud de un estímulo exterior, se verifica una fase o etapa en la historia del sistema. Las transformaciones a lo largo de la escala temporal señalan la evolución del sistema.

SENSIBILIDAD Y VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS AMBIENTALES A ACCIONES ANTRÓPICAS

Un sistema ambiental es más estable cuanto mayor es la perturbación antrópica necesaria para romper su estado de equilibrio. Con respecto a la naturaleza de la perturbación, es preciso diferenciar si su carácter de ocurrencia temporal y espacial es aleatorio o sistemático. Los sistemas naturales son normalmente adaptados a perturbaciones aleatorias de gran magnitud. Las perturbaciones introducidas por el hombre tienen, casi siempre, un carácter sistemático, o sea, ocurren año tras año alcanzando áreas cada vez mayores.

Hay varias maneras de abordar el problema de cómo verificar la estabilidad de sistemas naturales a las perturbaciones antropogénicas. Una de ellas es por el método de los "análogos". Se busca en el registro histórico paleoclimático una situación análoga y sujeta a perturbaciones semejantes. Y, a partir de ahí, se estudia cómo el sistema respondió a tal perturbación. No siempre es fácil encontrar una situación análoga a esa metodología. Ése es un problema que ocurre, principalmente, cuando se considera que la magnitud de las perturbaciones antropogénicas de este siglo no presenta paralelos en la historia de la humanidad.

Una manera más garantizada de estudiar la estabilidad de los sistemas naturales requiere la construcción de modelos matemáticos de los sistemas. Hasta hoy, todavía, no es posible construir modelos completos del sistema global, que consideren todos los aspectos físicos, geoquímicos y biológicos en sus múltiples interacciones. Sin embargo, hay una serie de modelos que representan partes del sistema global. Por ejemplo, existen complejos modelos que representan los aspectos físicos del clima arriba de la superficie, los llamados Modelos de Circulación General de la Atmósfera (MCGA). En un grado de complejidad todavía mayor, se acoplan a los MCGA, modelos oceánicos y modelos simplificados de la biosfera.

TIPOS DE INDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTALES

INDICADORES DE LA SENSIBILIDAD DEL SUELO

Como todo recurso natural, el suelo se agota cuando es explotado exhaustivamente o cuando no se adoptan medidas o técnicas conservacionistas. El uso adecuado puede preservar las condiciones naturales del suelo y también llevarlo al mejoramiento, principalmente, en lo que se refiere al enriquecimiento de las concentraciones de materia orgánica y de nutrientes o al mantenimiento del equilibrio químico, drenaje y estabilidad frente a los factores de intemperismo.

Los suelos son sensibles a los daños causados por el uso antrópico. Además de sus funciones edáficas, otras como las de almacenamiento de aguas subterráneas y la capacidad de disolución de compuestos orgánicos, pueden ser afectadas por el uso inadecuado, causando pérdidas al ambiente y al hombre. El suelo, conjuntamente con la atmósfera y el agua, constituye la base fundamental de sustentación de la vida en el planeta.

El suelo posee atributos y propiedades de carácter intrínseco y extrínseco que pueden ser cualificados, cuantificados y correlacionados a las diferentes clases de suelos, pudiendo ser utilizados como indicadores, para fines de evaluación de la sensibilidad a daños causados por la acción antrópica. Los indicadores deben ser definidos en función del uso antrópico analizado, de la disponibilidad de datos para cuantificarlos y de la profundidad que se pretende dar a los estudios.

Los indicadores más expresivos son:

- a) Espesura o profundidad del suelo – que puede ser factor inductor o restrictivo al desarrollo de las raíces de las plantas y a la formación de acuíferos libres;
- b) Textura – que puede ser factor inductor o restrictivo al uso del suelo en el desarrollo agrícola;
- c) Estructura – que puede ser factor inductor o restrictivo al deslizamiento y almacenamiento de agua en el subsuelo;
- d) Capacidad de retención hídrica y capacidad de infiltración – que puede ser factor inductor o restrictivo al uso de culturas cíclicas o perennes y a la implantación de infraestructuras de desarrollo regional. Está asociado a la estructura;
- e) Erodibilidad – factor restrictivo al uso, asociado a los indicadores espesura, capacidad de infiltración y retención hídrica.

Los indicadores de calidad del suelo deben evaluarse conforme las alteraciones en su capacidad productiva, debido a la adopción de tecnología, que cambia con el tiempo, en vez de apoyarse en las características naturales de fertilidad del suelo. Los componentes para la evaluación de la capacidad productiva del suelo son: erosión, materia orgánica, lixiviación de nutrientes y compactación.

El grado de erosión puede sufrir grandes variaciones en función del desgaste natural del suelo y del causado por las lluvias, del declive y extensión de la pendiente, de la existencia de vegetación y de las prácticas y medidas de control. Esta complejidad se resuelve en el sistema de AIA por medio de tres procesos erosivos, cuya orden creciente de gravedad es: erosión laminar, en surcos y barrancos (Cox & Atkins, 1979, p. 277-284).

El contenido de materia orgánica del suelo (MOS) cambia bastante en función de la génesis del suelo y de su historia de uso. Ese componente puede evaluarse indirectamente por la influencia de la innovación tecnológica en las prácticas de manejo adoptadas, tales como cordones y terrazas, plantío

directo, incorporación de los restos vegetales al suelo, plantío en nivel, rotación de culturas, compostaje, etc.

La lixiviación de nutrientes depende de la erosión, de la MOS y de la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, algún nivel de conteo doble puede ocurrir en esas consideraciones. La evaluación operacional de la lixiviación de nutrientes debe basarse en datos históricos o en el conocimiento de agricultores responsables que entienden sobre la necesidad del uso de fertilizantes.

El uso intensivo de maquinaria pesada y el sobre pastoreo son las principales causas de la compactación del suelo y de la formación de la "solera de arado". La evaluación de ese componente se refiere a cambios relativos en la superficie compactada del suelo, o sea del área utilizado y modificado con la tecnología adaptada.

INDICADORES DE LA SENSIBILIDAD DEL CLIMA Y DE LA ATMÓSFERA

Conceptualmente, se puede separar la sensibilidad y/o vulnerabilidad, del factor natural clima, a daños causados por las actividades humanas en dos tipos relativamente independientes. En algunos casos, el componente físico del clima y la constitución de la atmósfera están íntimamente asociados. Es preciso que se verifique si esos dos tipos de sensibilidad afectan los diferentes biomas.

La sensibilidad del componente físico del clima a las actividades humanas puede alterar la circulación atmosférica y los balances de calidad del aire debido a la inyección de contaminantes producida por esas actividades. El ejemplo más notable de esa interrelación es el "efecto invernadero". Debido al aumento de la concentración de gases radioactivos en la atmósfera (CO_2 , CH_4 , N_2O , CFC_5), ocurre una modificación global en la constitución química al alterar el balance de radiación de toda la atmósfera, pudiendo modificar el clima.

Otro ejemplo muestra lo opuesto. Una modificación en el componente físico del clima puede alterar la calidad del aire. Si el microclima del suelo de una región se modifica debido a la agricultura, llevando a alteraciones en los

ciclos de temperatura y humedad del suelo, podrán ocurrir alteraciones en las reacciones químicas incluyendo nitrógeno, dando como resultado cambios en las tasas de emisión de N_2O . El microclima de una región es íntimamente dependiente de las características de la superficie de un cuerpo hídrico y del tipo de vegetación presente.

El clima próximo al suelo de un pastaje tropical es muy diferente de una forestación tropical densa. La estabilidad microclimática de la foresta tropical amazónica es extremadamente vulnerable a modificaciones de la vegetación. En el pantanal el microclima es sensible en las regiones que sufrieron alteraciones en los períodos en que fueron inundadas. La sedimentación de los ríos o construcción de caminos puede alterar la distribución de las superficies anegables y, de esa forma, modificar el microclima. En Brasil, el bioma conocido como “*cerrado*” (Moreira, 1990), encierra varias fisionomías vegetales (*campos*, *campo-cerrado*, *cerrado* típico, *cerradão*, entre otras). La sensibilidad del microclima, a modificaciones en un tipo de vegetación, dependerá directamente de donde está ocurriendo y de la naturaleza de la modificación.

Otro aspecto del cambio climático se refiere a la susceptibilidad de la calidad del aire a la inyección de grandes cantidades de contaminantes por acción de los incendios que tienen impactos negativos en varias escalas. En la macroescala, contribuyen significativamente para el aumento del “efecto invernadero”, al colocar enormes cantidades de varios gases (CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 , principalmente) y otros gases como el CO y NO . La contribución brasileña al aumento global de esos gases deriva, en la mayor parte, de la quema de la biomasa de las forestas tropicales y, en menor parte, de combustibles fósiles y/u otras fuentes.

La permanencia de nubes de humo, es tanto más durable cuanto más durable es la condición de estabilidad de la atmósfera relacionada a inversiones térmicas. En niveles troposféricos bajos, menores que 2 Km, hay acumulaciones todavía mayores de los productos de las quemas. Esas nubes de humo de millones de kilómetros cuadrados, disminuyen drásticamente la visibilidad atmosférica, provocando daños a la seguridad de los vuelos y al tráfico aéreo como también al sector de transportes terrestres local, pudiendo afectar la salud de las personas.

Algunos productos de las quemadas (partículas, aerosoles, y gases más reactivos) son retirados de la atmósfera cuando se dan las primeras lluvias y no causan más efectos negativos. En este sentido, se puede decir que el efecto de esos gases queda restringido al período de las quemadas. Sin embargo, los gases del “efecto invernadero”, conocido en Brasil y otros países como “efecto estufa”, normalmente, tienen un ciclo de vida muy largo y no son removidos por las lluvias pudiendo, por eso, tener efecto duradero.

Los mecanismos de dispersión de contaminantes en la atmósfera y su eventual remoción dependen del grado de estabilidad, vientos, humedad y lluvias. Estas características varían drásticamente entre los biomas.

Hay indicadores de la calidad del aire con relación a contaminantes que afectan la salud de los seres humanos, animales y plantas. La sensibilidad de la atmósfera es, por tanto, dada por aquellos niveles críticos de concentración de los contaminantes, arriba de los cuales podrá haber daños a la salud. Se incluye en estos casos, la contaminación atmosférica por mercurio, que necesita levantamiento sistemático “in situ”.

Como indicador del efecto integrado de los contaminantes emitidos durante las quemadas, la concentración de O₃ en la baja troposfera, es tal vez el mejor indicador. Cuanto mayor el nivel de contaminantes atmosféricos de las quemadas, tanto mayor será la concentración de O₃ troposférico. Además de eso, el ozono es también un potente oxidante, y altas concentraciones de gas tienen efectos negativos en la salud y sobre las plantas.

Cuadro 1 – Indicadores de la Sensibilidad para el Sistema Climático

Subfactor Natural	Indicadores de Sensibilidad	Observaciones
Estabilidad del Microclima	Ciclos diarios de temperatura, humedad, radiación solar, vientos, balances de agua y energía, temperatura y humedad del suelo hasta un metro de profundidad.	Cambios en los estándares (espaciales y temporales) de las lluvias, vientos, temperatura, humedad; alteración en la frecuencia de ocurrencia de extremos y en la duración de la estación seca
Estabilidad del Ciclo Hidrológico y del Clima Regional	La temperatura de la superficie es el mejor indicador, en cuanto a practicidad de obtención.	Los vaciamientos de los grandes ríos son los mejores indicadores, porque integran la precipitación de enormes extensiones.
Equilibrio del Sistema Forestal	Cambios de vegetación en las interfaces foresta-campo o entre expresiones vegetales del mismo bioma: individuo (fenología, tasa fotosintética, productividad, estrategia de reproducción, susceptibilidad a enfermedades y pérdida de variedad genética) y comunidad (cambios en la fisonomía, pérdida o sustitución de especies, invasión de especies exóticas, pérdidas de estratos y cambios en el índice de área foliar.	
Estabilidad de la Composición de la Atmósfera	Caracterización de quemas (focos, área, biomasa); frecuencia y altura de las inversiones térmicas; concentración de contaminantes en la atmósfera : H ₂ vapor, CO ₂ , CO, O ₃ , CH ₄ , N ₂ O, NO, SO ₂ , H ₂ S, otros hidrocarbonatos, agrotóxicos, material particulado.	La cuantificación de las quemas, sea en área total o en cantidad de biomasa usada en los procesos de combustión, es el indicador de calidad del aire en relación a la emisión de contaminantes por las quemas.

Las actividades agropecuarias, además de ser importantes fuentes de gases del efecto estufa, generan, usualmente, material particulado, humo, olores y ruidos. Por lo tanto, son esos los componentes usados en la evaluación de los efectos de la agricultura en la calidad de la atmósfera.

Algunos de los principales gases asociados al efecto estufa y al calentamiento global, tales como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x) son generados en grandes cantidades por actividades agropecuarias (Lima, 2000). Las emisiones de CO₂ están relacionadas a la combustión de combustibles fósiles y a la quema de restos

de culturas, de pasto y de vegetación en general, como las practicadas en la agricultura de corte y quema. El CH₄ es emitido por el metabolismo anaerobio, como ocurre en la digestión de rumiantes y en la descomposición de la materia orgánica de suelos inundados. Por tanto, la bovinocultura y la irrigación por inundación (común en la producción de arroz) son consideradas fuentes importantes en la producción de metano. Las emisiones de NO_x en la agricultura están asociadas, principalmente, a los procesos de desnitrificación en los suelos, mientras que el uso de fertilizantes nitrogenados y el cultivo de leguminosas, fijadoras de nitrógeno, son fuentes del referido compuesto.

En relación al material particulado (polvo) y al humo sus emisiones representan un incómodo para la población local, al mismo tiempo que presentan efectos negativos para animales y plantas. El polvo perjudica la fotosíntesis y actúa como abrasivo en las membranas de las plantas, volviéndolas más susceptibles a los ataques de plagas y enfermedades. El humo es el resultado de la combustión incompleta que, generalmente, indica la presencia de niveles tóxicos de monóxido de carbono y que a veces incluye cantidades considerables de hidrocarburos, precursores del ozono de la troposfera y extremadamente perjudiciales a la producción vegetal. El efecto causado por la emisión de olores está relacionado esencialmente al incómodo que las personas sienten al ser expuestas a esa emanación. El incómodo se mide en entrevistas por medio de la evaluación sensorial del agricultor responsable, clasificado como débil, incómodo o insoportable. De la misma forma se hacen las consideraciones sobre los efectos causados por la generación de ruidos.

INDICADORES DE SENSIBILIDAD DE LAS AGUAS INTERIORES

Los efectos de las actividades humanas en la calidad del agua son normalmente complejos y específicos para cada región (o microregión), dependiendo de una serie de factores biogeoquímicos.

La legislación brasileña está basada en la Resolución CONAMA nº 20, de 1986, que clasifica los cuerpos hídricos interiores en clases (clase especial y clases de 1 a 4), en función de parámetros e indicadores específicos que

son relacionados a los posibles usos potenciales. La clasificación es única para todo el territorio nacional. La resolución establece igualmente patrones para lanzamiento de fluidos tóxicos.

Los cuerpos hídricos que atiendan a esos criterios aseguran un funcionamiento normal del ecosistema acuático y corroboran el sentido común de aguas de buena calidad. El objetivo básico del monitoreo de la calidad del agua es el mantenimiento u obtención de tales patrones de calidad.

Los ecosistemas de aguas superficiales son también sensibles a sustancias químicas conservativas, biomagnificantes y peligrosas. Lo mismo puede ser dicho al respecto de elementos radioactivos de larga y media vida. Algunos factores, mencionados a continuación, tienen influencia directa o indirecta en la calidad del agua, sea de interiores o superficial.

- a) Factores físicos: vaciamiento (ríos), tiempo de residencia (reservorios), radiación solar, temperatura, presión, densidad, fuerzas de colisión y ruptura del sedimento, energías interna y cinética, entropía, régimen sedimentológico;
- b) Factores químicos: elementos químicos inorgánicos y orgánicos disueltos, material orgánico en forma de partículas, nutrientes, metales pesados y componentes tóxicos en bajas concentraciones;
- c) Comunidades biológicas: productos primarios (diatomáceas, cianofíceas, fitobentos), zooplancton, zoobentos, organismos en diferentes etapas del ciclo de vida.

Los cuadros 2 y 3, ejemplifican los principales indicadores y los posibles daños a ecosistemas acuáticos.

Cuadro 2 – Daños Potenciales a los Ecosistemas de Aguas Interiores e Indicadores Asociados

	Código	Descripción	Principales Indicadores
Contaminación por Salinidad	CSAL	El uso intensivo del agua en la cuenca, asociado a un aumento de la descarga sólida en los ríos, puede provocar un mayor desarrollo de la cuña salina en regiones de estuarios, teniendo como principal consecuencia perjuicios al abastecimiento industrial y doméstico y a la irrigación.	a) Salinidad del agua
Contaminación Tóxica	CTOX	Normalmente asociada a la actividad minera, a fluidos industriales en general y al uso de defensivos agrícolas. Puede dejar a las comunidades acuáticas expuestas al problema de biomagnificación, provoca perjuicios al abastecimiento industrial y doméstico, irrigación y pesca.	a) Concentración de metales pesados, organoclorados, organofosforados y otros defensivos agrícolas en el agua, en el sedimento y en comunidades acuáticas. b) Aceites y grasas, sustancias fenólicas, turbidez, color.
Contaminación Orgánica	CORG	Tiene origen en fluidos domésticos e industriales (cargas puntuales o en cargas no puntuales; efecto directo de la retirada de la cobertura vegetal). Provoca perjuicios al abastecimiento industrial y doméstico, modifica la diversidad y cantidad de especies acuáticas, puede ser foco para la diseminación de enfermedades de transmisión hídrica.	a) Eutrofización y sus efectos secundarios. La eutrofización se manifiesta por: aumento de la disponibilidad de nutrientes y de la demanda bioquímica de oxígeno, menores índices de oxígeno disueltos, proliferación de macrófitas, cambios en la diversidad y cantidad de algas, entre otros. b) Aceites y grasas, sustancias fenólicas, turbidez, color, coliformes fecales y totales (indicadores de contaminación patogénica), sólidos en suspensión y disueltos.
Contaminación por Sólidos Disueltos o en Suspensión	CSDS	Causada por la erosión de los suelos debido a la retirada de la cobertura vegetal, minería en los ríos y represas a lo largo de los cursos de agua. Tiene origen también en obras de infraestructura, en general, perjudica al abastecimiento industrial y doméstico, cambia el régimen hidráulico de los ríos (mayores inundaciones o menores disponibilidades de agua). Causa perjuicios a la navegación.	a) Sólidos en suspensión, disueltos y turbidez b) Cambios en el régimen hidráulico o en la morfología de los ríos y reservorios

Contaminantes patogénicos, asociados a la contaminación orgánica doméstica, tienen, sin embargo, comportamientos bastante diferenciados. Bacterias y virus patogénicos pueden sobrevivir días en ambientes acuáticos y, aunque diluidos, pueden causar diversas enfermedades de transmisión hídrica, como cólera y hepatitis.

Cuadro 3 – Indicadores de Intensidad de Daños Potenciales en los Ecosistemas de Aguas Interiores – Intervención Humana en una Cuenca Hidrográfica

Uso Antrópico	Daño Potencial	Posibilidad de Control y/o Reversión
Selvicultura	CTOX, CORG, CSDS	1. Empleo de prácticas de manejo agrícolas adecuadas, principalmente con agrotóxicos.
Pecuaría	CTOX, CORG, CSDS	1. Empleo de prácticas de manejo agropastorales adecuadas. 2. No utilizar áreas con declive alto, ni ocupar/deforestar márgenes de ríos y reservorios.
Agricultura	CSAL, CTOX, CORG, CSDS	1. Empleo de prácticas de manejo agrícolas adecuadas. 2. No utilizar áreas con declive muy alto, ni ocupar/deforestar márgenes de ríos y reservorios.
Minería	CTOX, CORG, CSDS	1. Control de toda actividad minera y exploraciones clandestinas, prohibición de minerías en cabeceras de cuencas. 2. Refuerzo en la fiscalización de minerías y explotación legalizadas, para que respeten los padrones de emisión existentes.
Obras de Infraestructura	CSDS	1. Control de erosión, respetar áreas ambientalmente frágiles.
Desarrollo urbano	CSAL, CTOX, CSDS	1. Implantación de políticas adecuadas de desarrollo urbano. 2. Tratamiento de fluidos urbanos (residuos, líquidos y sólidos).
Industria	CSAL, CTOX, CORG, CSDS	1. Refuerzo en la fiscalización de industrias para que respeten los patrones de emisión existentes. 2. Planeamiento de las actividades industriales por cuenca.
Incendios	CORG, SDSU	1. Fiscalización y control de incendios, sobre todo en cabeceras de la cuenca y área con mucho declive.
Represario	CSAL, CROG, CSDS	1. Inclusión de factores ambientales y socioeconómicos en el planeamiento del sector eléctrico 2. Reservorios deben tener otros usos además de los de producción de energía
Canales/Drenaje	CSAL CSDS	1. Disminución de efectos negativos con origen en cambios de la morfología y régimen sedimentológico de ríos y lagos.
Puertos	CTOX, CORG	1. Control de la polución y disminución de riesgos de accidentes.
Dragaje	CSDS	1. Disminución de efectos negativos con origen en cambios de morfología y régimen sedimentológico de ríos y lagos.

Diversos elementos químicos, aunque en pequeñas cantidades, son nocivos a la salud, o se bioacumulan en la cadena alimentaria. Muchos de esos elementos persisten en el agua sin reaccionar con otras sustancias (son conservativos). Los procesos físicos de mezcla y autodepuración son, muchas veces, ineficientes para la asimilación de diversos elementos inorgánicos no metálicos (como mercurio, cadmio, plomo y cromo) o de compuestos orgánicos (como benceno y aromáticos polinucleares) y orgánicos halogenados (como policloretos).

La calidad del agua es posiblemente el indicador general más sensible en relación a los impactos ambientales causados por actividades agropecuarias. Eso sucede porque prácticamente cualquier manejo inadecuado resultará en degradación de la calidad del agua, tanto en los ambientes más próximos como en los que están en su alrededor. Por tanto, ese indicador siempre exhibe un cierto grado de dependencia relativa a los otros indicadores, lo que significa que siempre habrá algún grado de doble conteo, dada la característica sistemática de las AIAs. La evaluación envuelve la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la turbidez, los materiales flotantes/aceite/espuma y la eutroficación/aterramiento de los cuerpos de agua.

La demanda bioquímica de oxígeno se refiere al contenido de materia orgánica, donde cantidades tan pequeñas como 5 mg/L pueden causar la escasez del oxígeno en ciertas condiciones, dificultando la respiración de organismos aerobios. La evaluación de la DBO se realiza por medio de análisis de laboratorio o por el uso de un oxímetro de campo. Cuando la realización de las análisis no es posible, la presencia de la fauna acuática puede usarse como un "proxy", basándose en el conocimiento del agricultor responsable, definido en la entrevista de campo.

La turbidez representa la presencia de material en suspensión (particulado o coloidal, orgánico o inorgánico), que causa deficiencia en la fotosíntesis y dificultad para la desinfección y filtración del agua, así como depreciación estética. La evaluación de ese componente se apoya en el conocimiento del agricultor responsable del local, así como en el cambio de la periodicidad con que ocurre.

Los materiales flotantes/aceite/espuma impiden el uso del agua y causan su completa depreciación estética. De igual forma que el componente anterior, la evaluación debe basarse en el conocimiento del agricultor responsable por el local y en los cambios de periodicidad en que suceden.

La eutroficación del agua asociada al aterramiento representa el resultado de la larga exposición de un ambiente acuático a aguas de baja calidad. Por consiguiente, depende de todos los componentes anteriormente mencionados, lo que puede implicar cierto nivel de conteo doble. La eutroficación refleja la alteración causada por la tecnología, que ocurre en todos los ambientes acuáticos; y ya que el proceso es de largo plazo en relación a la AIA de innovación tecnológica, debe ser evaluado con la ayuda del conocimiento histórico del agricultor administrador.

INDICADORES DE SENSIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN

La vegetación terrestre, sea autóctona o alóctona encarada como respuesta que refleje la interacción de los factores abióticos y bióticos y como componente de los paisajes construidos puede constituirse en un instrumento de caracterización ambiental, así como en la evaluación de la sensibilidad y de la vulnerabilidad del ambiente. Éstas, como son funciones de la amplitud del intervalo de los límites de tolerancia a las mudanzas de los factores abióticos y bióticos. Cuanto más próxima se encuentre de uno de sus límites, más vulnerable será la vegetación.

La utilización de la vegetación como indicadora de condiciones ambientales y como instrumento de evaluación para el gerenciamiento ambiental exige, sin embargo, que la misma sea evaluada desde el grado de detalle que el nivel de conocimiento estipula; teniendo en cuenta, además, los criterios utilizados para la obtención de información necesaria y su jerarquización. En otras palabras, se trata de optar por una conducción del trabajo a nivel macrorregional, regional o local.

Los cambios ambientales en la vegetación tienen sus factores de alteración indicados y, de éstos, se consideran sus orígenes, causados por la actividad natural y antrópica.

La conservación de la biodiversidad constituye un objetivo esencial del desarrollo sostenible, especialmente para la agricultura que juega un papel multifuncional, ya que gran parte del almacenamiento biológico y de la diversidad cultural existentes sucede en áreas bajo algún nivel de manejo agropecuario o forestal (Pimentel et al., 1992). Además, la biodiversidad contribuye para la sustentabilidad de la agricultura, proporcionando alternativas genéticas y de manejo que mejoran la eficiencia del uso de recursos y de la seguridad de producción (Campanhola et al., 1998). Tres componentes están incluidos en ese indicador del Aspecto de Conservación Ambiental de innovación tecnológica: pérdidas de vegetación natural, de corredores de fauna y de especies y variedades criollas.

La pérdida de vegetación natural trata de la conservación de todas las formas de vegetación natural, localmente influenciadas por la innovación tecnológica, especialmente aquéllas presentes en áreas marginales, tales como: cumbres de montañas, laderas, vegetación a la orilla de los ríos, etc. Por causa de la semejanza con el indicador de Áreas de Preservación Permanente, incluido en el aspecto de Recuperación Ambiental, presentado más adelante, ese componente debe contener solamente vegetación natural, realmente presente en el área analizada y cuyo estado de conservación se modifique por la adopción de tecnología.

Muchas áreas donde se practica el manejo, en varios niveles de intensidad, son imprescindibles para el movimiento de la fauna, pues favorecen el flujo genético y ejercen la función de corredores de fauna. Solamente las áreas con manejo exclusivo para la reconstitución de los corredores deben ser incluidas en este componente.

El desarrollo tecnológico de la agricultura debe ser cauteloso para evitar la homogeneización que contribuye con la pérdida de especies y de variedades criollas de plantas y animales. Muchas dimensiones de la conservación de la diversidad tienen que ser incluidas en el principio de la precaución, que incluye desde hábitats, paisajes, especies y variedades rústicas de plantas y animales, hasta herramientas, materiales de construcción, prácticas de manejo, formas de preparo de alimentos, medicinas caseras y formas de vida. Se sugiere que ese componente se evalúe subjetivamente, dando

oportunidad para que el agricultor responsable exprese su percepción cuanto a los efectos de innovación tecnológica, y de este modo documente esos efectos.

a) Origen antrópico

Por ejemplo, en el caso de una deforestación para implantación de actividades agro-selvopastoriles, construcción de caminos, implantación de grandes obras de infraestructura y de reforestación de especies exóticas, tenemos que considerar los impactos directos e indirectos.

Impactos directos:

- Pérdida de la biodiversidad y fragmentación de la biota, provocando el aislamiento al nivel del individuo y de las comunidades vegetales.
- Invasión por especies exóticas y nocivas.
- Aceleración del proceso erosivo y pérdida de la fertilidad cuando son utilizados niveles de manejo incompatibles con la aptitud agrícola y compactación del suelo con el uso de equipamiento mecanizado del tipo tractor con arado;
- Posibilidad de avance de plagas y enfermedades como consecuencia de la susceptibilidad a agentes patógenos y a depredadores insectívoros e invasión de especies exóticas, cuando el área es destinada a los monocultivos;
- Contaminación de aguas corrientes por el uso de correctivos y fertilizantes;
- Alteración en la distribución de la temperatura del suelo y del aire;
- Erosión eólica con formación de nubes de polvo en la fase de preparación del terreno, en particular en los topes aplanados de regiones de acentuada estacionalidad climática.

Impactos indirectos:

- Pérdida de la fertilidad del suelo por la retirada de micronutrientes;
- Disminución de la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo,
- Formación de procesos erosivos del suelo, por las lluvias; por los vientos; o fluvial, con consecuente sedimentación en los cursos de agua y pérdida del suelo arable.

Aunque con menor efecto sobre el ambiente, no pueden ser omitidos los cambios ambientales causados por eventos naturales resultando en procesos erosivos, los desplazamientos de barro, y los deslizamientos de taludes escarpados “lanslides”. Esos procesos tienen origen, en general, en la infiltración superficial de las aguas y su actuación en rocas de texturas diferentes que alternan sedimentos arenosos y arcillosos;

b) Indicadores de Sensibilidad y Perturbación

Los indicadores de sensibilidad/perturbación que deben ser considerados en el análisis de la vegetación en el área a ser estudiada, son mostrados en el Cuadro 4:

Cuadro 4 – Indicadores de Sensibilidad y Perturbación

Especies	Comunidad
1-Cambio en el estándar fenológico	1- Cambio completo en la fisonomía
2- Cambio en la tasa de la fotosíntesis	2- Cambio parcial en la fisonomía
3- Cambio en la productividad	3- Pérdida de especies
4- Cambio en la estrategia reproductiva	4- Sustitución de especies
5- Aumento de la susceptibilidad a enfermedades	5- Pérdida de Estratos
6- Pérdida de la variabilidad genética	6- Cambio en la Cubierta

INDICADORES DE SENSIBILIDAD DE LA FAUNA

La fauna y su “calidad” (entendida como su productividad, estructura, complejidad, estratificación o adaptación), son consecuencia de la vegetación local presente, en pequeña escala temporal y espacial. Aunque exista interacción entre la parte biótica y abiótica, en el mantenimiento de la biota, esa relación a veces, puede no ser detectable en una escala temporal corta.

La historia paleoclimática, eventos geológicos, relieve, hidrografía, clima, suelo, vegetación, así como la acción antrópica, tiene implicaciones sobre las especies y sus poblaciones, modificando la composición de la fauna local original. Esa fauna, a su vez, puede dar una “velocidad” diferente a la dinámica de sucesión de la vegetación. La fauna es de vital importancia en los procesos ecológicos, incluso de las especies vegetales económicas, pues promueve la dispersión de semillas y la polinización.

Los procesos de vida existen en diferentes escalas de tiempo, espacio y complejidad. Hay organismos de tamaños diferentes y esto influye, en parte, las escalas de los procesos en que cada especie opera.

a) Sensibilidad de la fauna a daños antrópicos

Dependiendo de la escala de las alteraciones, o de quien es afectado en la comunidad faunística, ocurrirán cambios en la composición o en las poblaciones (en particular). En el límite de intensidad de cada alteración, y dependiendo de la escala, pueden ocurrir alteraciones completas en la composición con la extinción local, o aumento, del número de las poblaciones de determinada(s) especies(s).

La sensibilidad de una especie o población, puede ser evaluada por sus atributos biológicos intrínsecos y extrínsecos (como, por ejemplo, el hábitat). Varios factores pueden influir en la sensibilidad de especies y comunidades, dependiendo de la escala:

– Factores que influyen en la sensibilidad de las especies: tamaño de la población; distribución de la población; sistemas sociales que afectan la población efectiva (que contribuyen para su reproducción); probabilidad de desastres naturales y dieta.

- Factores que influyen en la sensibilidad de las comunidades; número de especies; estructuras de cadenas alimentares o nivel trófico; tiempo de existencia de la comunidad; tasas de entradas y extinción e identificación de especies “claves”.
- La fauna de amplia distribución geográfica tiene menor sensibilidad a impactos que la de un área de distribución limitada.
- La fauna con amplia distribución geográfica tiene menos sensibilidad. En el caso de que sea grande, tendrá alta sensibilidad. Existe la posibilidad de que la ocupación de un área coincida con el área pequeña de una población localizada. En ese caso, la sensibilidad también será alta. Como por ejemplo, el caso de varias ranas con poblaciones localizadas y pequeñas áreas.
- Cuanto mayor sea la dieta, menor resultará la sensibilidad. Para un especialista, la modificación del hábitat transforma en alta su sensibilidad. En los omnívoros, la capacidad de comer diferentes alimentos aumenta su capacidad de explotación de recursos. Las especies de base (herbívoras) presentan baja sensibilidad, en cuanto las especies de tope (carnívoras) tienen sensibilidad mayor.
- Cuanto más alto es el potencial reproductivo más baja será la sensibilidad.
- La fauna con menor peso tiene sensibilidad más baja que la fauna de mayor peso.
- La fauna de alta movilidad presenta menor sensibilidad al contrario de las especies de baja movilidad. Son especialmente sensibles a impactos antrópicos las especies que necesitan seguir rutas migratorias latitudinales, en grandes bandos, con fidelidad a los lugares de descanso.
- La distribución espacial amplia, tiene baja sensibilidad comparada a la distribución restringida. Las especies con capacidad de dispersión, adaptabilidad, tolerancia a las alteraciones, potencial colonizador y tasa de supervivencia alta, tienen sensibilidad más baja que las especies con atributos opuestos, y las especies con baja fidelidad a su área, tienen sensibilidad más baja que las especies con alta fidelidad a su área.

– Las especies de generaciones continuas tienen sensibilidad más baja que las especies de generaciones limitadas.

Los atributos biológicos citados pueden o no ser combinados. La acción aislada de esos factores antrópicos no explica el empobrecimiento de la fauna de peces fluviales del Brasil, por ejemplo. Normalmente, ha sido la presencia simultánea de algunos de esos factores que derivó en una entropía desastrosa para la fauna acuática nacional.

DIRECTRICES GENERALES PARA ELABORACIÓN DE PLANES DE MONITOREO AMBIENTAL

Un plan de monitoreo ambiental no es necesariamente un sinónimo de cuestionamiento y estudio de las condiciones o características ambientales. Por definición, monitor es un aparato, una persona o en el caso específico del ambiente, un proceso o estructura capaz de emitir alertas con respecto al mal funcionamiento del sistema.

El monitoreo o la vigilancia ambiental se resume al uso de protocolos predeterminados, procurando detectar alteraciones ambientales que puedan causar daños sobre los procesos ecológicos o a la salud humana. Es por eso que, los objetivos de programas de monitoreo, deben ser cuidadosamente definidos, ya que el simple inventario continuo de datos puede no tener aplicación real o potencial. Es necesario desarrollar estrategias de modo que se pueda asegurar la evaluación de medidas de contaminación reales o potenciales; adecuar el esfuerzo de monitoreo a normas jurídicas de control de contaminación definir estándares de distribución espacio-temporal con un mínimo esfuerzo y máxima previsibilidad.

La selección de los parámetros para monitoreo no puede, sin embargo, prescindir de un estudio inicial de las condiciones generales y de los organismos y comunidades presentes en el área de interés. El objetivo es conseguir informaciones que puedan ser comparadas con otros monitoreos. En otras palabras, el estudio sería imprescindible para el test, a posteriori, de la hipótesis de nulidad según la cual, por ejemplo, algunos presumible(s) contaminante(s) no causarían(n) efectos significativos sobre el ambiente.

En síntesis, monitorear implica estudiar ambientes con la expresa finalidad de detectar alteraciones, que puedan ser atribuidas a fuentes contaminantes, y dar alerta en caso de impacto. Un producto necesario de los estudios de monitoreo es la elaboración de planes de contingencia, con la identificación y el mapeo de los “hot spots” y área vulnerable, además de las estrategias y prioridades para protección, teniendo en consideración factores ecológicos y económicos.

Grupos de especialistas reunidos para la elaboración de los Términos de Referencia para planes de monitoreo deberían tener como objetivos primarios:

- Ofrecer justificaciones para el monitoreo de variables fisicoquímicas y biológicas, llevándose en consideración las actividades humanas ya existentes y planeadas para el área;
- Justificar, con fundamento científico, la selección de determinadas variables físico-químicas y biológicas para el monitoreo. En otras palabras, evaluar la sensibilidad, practicidad, confiabilidad y previsibilidad de los diferentes métodos que sirven para detectar la contaminación, por ejemplo;
- Establecer procedimientos prácticos rutinarios o desarrollar nuevos procedimientos, en función de las especificaciones regionales para el monitoreo de las variables relacionadas con la contaminación.

La contaminación ambiental es evaluada en términos de análisis químico, imprescindible para una primera aproximación al problema, una vez que muestra las concentraciones de las sustancias seleccionadas para estudio. Por otro lado, las informaciones sobre sistemas biológicos, que incorporan o son afectados por estas sustancias, deberán ser necesarias en alguna etapa del monitoreo del procesos de contaminación. Sin embargo, la naturaleza, el alcance y el relevamiento de ese tipo de informaciones pueden ser muy variados. El elevado grado de variabilidad espacio temporal de sistemas biológicos es un serio obstáculo para su utilización rutinaria como monitores de situaciones de impacto. Asimismo, el análisis de variables biológicas en casos de contaminación es indispensable por una serie de razones:

- Efecto de dosis – Pequeños cambios en las concentraciones de contaminantes ambientales pueden tener grandes consecuencias sobre la calidad de los sistemas biológicos;
- Efecto de sinergia – Sustancias químicas, inocuas por sí solas, se pueden combinar, originando compuestos contaminantes;
- Efecto de objetivo – Sustancias desconocidas, o cuya presencia no fue detectada por métodos usuales, pueden afectar sistemas biológicos;
- Efecto de bioacumulación – Organismos que pueden acumular contaminantes
- Criterios para la selección de variables biológicas en programas de monitoreo:

No todas las variables biológicas tienen la misma importancia en programas de monitoreo. Es preciso establecer criterios mínimos para su selección, procurando conseguir la mejor relación costo/beneficio. Esos criterios deben tener en cuenta, en orden de prioridad: aspectos científicos fundamentales; eficiencia y valor práctico de las variables o índices biológicos; fundamentos logísticos y administrativos.

- Efectos de intervención – Criterios científicos.
- Significado ecológico (sensibilidad) – Pueden ser atribuidos a determinado agente causal, variaciones de supervivencia, crecimiento y reproducción de individuos, comunidades.
- Efectos de daño y detección de la especialidad- ¿Hasta qué punto las consecuencias del impacto son específicas para el agente causal?
- Reversibilidad - ¿Cuál es la capacidad de retorno de la variable analizada a un estado “original” después de la remoción del agente causal?
- Amplitud taxonómica - ¿Hasta qué punto el efecto es restricto a determinados grupos taxonómicos?

Eficiencia y valor práctico:

- Aspecto cuantitativos: previsibilidad – Relación cuantitativa del efecto con la causa o agente contaminante.
- Velocidad de respuesta: periodo de tiempo - ¿Cuál es el tiempo de respuesta de la variable al agente contaminante?
- Tasa señal/ruido: confiabilidad- ¿El efecto (señal) puede ser fácilmente detectado por la variabilidad natural (ruido)?
- Precisión: confiabilidad- ¿La variabilidad puede ser medida con precisión y confiabilidad?

Aspectos administrativos:

- Costos: practicidad- ¿Cuál es el precio del estudio de determinada variable?
- Aplicabilidad: practicidad- ¿Hasta qué punto ya fue posible demostrar la adecuación de determinada variable para detectarse la contaminación?

Variables biológicas recomendadas

La medida o evaluación de la contaminación en varios niveles de organización biológica presenta una serie de ventajas. Medidas en organismos o en niveles de suborganismos (niveles celular y molecular) son en general más sensibles y muestran los primeros alertas de un futuro riesgo ambiental, aunque presenten menor significado ecológico. Por otro lado, las medidas tomadas en las poblaciones o comunidades pueden ofrecer mejores indicaciones de las consecuencias de la polución sobre aspectos ecológicos y socioeconómicos del medio ambiente. Las evaluaciones completas de procesos contaminadores deben, por tanto, medir efectos biológicos en diversos niveles.

Con base en esos criterios, el GESMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Pollution) de la UNESCO, recomendó la utilización de las siguientes variables para uso inmediato en las diversas regiones del globo:

- Efectos ecológicos – biomasa de las comunidades; abundancia; diversidad

y riqueza de especies; crecimiento individual (bioindicadores); reproducción de la población; estructura de la población. Las desventajas son: baja tasa señal/ruido y baja velocidad de respuesta y como ventaja tiene la facilidad de obtención.

– Bioensayos – utilizados para la evaluación de la calidad del agua. Son altamente cuantitativos, sensibles y precisos en lo que se refiere a la identificación de “hot spots”. Tienen elevada tasa señal/ruido y alta velocidad de respuesta, combinados con bajo costo. Sin embargo, la respuesta medida aisladamente puede tener poco significado ecológico. Son sugeridos bioensayos con larvas de equinodermos y bivalvos, microalgas e hidroides.

– Efectos fisiológicos – son más sensibles, cuantitativos y de respuesta más rápida que efectos ecológicos. Tienden a ser más caros en lo que se refiere a equipamiento y entrenamiento del personal.

– Efectos morfológicos y patológicos - diversos efectos morfológicos y patobiológicos pueden ser examinados en poblaciones de peces, con bajo costo, sin personal altamente calificado y sin equipaje sofisticado. Estos efectos son indicados para la detección inicial de “hot spots”. Sin embargo, el relevamiento de informaciones a partir de la pesca comercial, por ejemplo, puede no ser conveniente debido al descarte de individuos lesionados antes de la comercialización. Variables: alteraciones en la estructura corpórea de órganos; relación entre peso de órgano y peso corporal; ulceraciones en el cuerpo; heridas en el cuerpo; asimetría.

– Efectos bioquímicos – pueden estar en la categoría de los generales (o no específicos) o en la que son indicadores de acción tóxica específica de contaminantes particulares. La producción primaria de microalgas y otros microorganismos puede ser un buen indicador de las condiciones ambientales, pero tiene la desventaja de no presentar una relación cuantitativa muy clara con la contaminación y de tener una baja tasa señal/ruido. Dos testes bioquímicos son recomendados:

– Tasa de taurina/glicina – técnica cuantitativa y moderadamente sensible, pero de uso restringido a bivalvos marinos y a laboratorios con analizadores de aminoácidos.

– Alteraciones en la estabilidad lisosómica pueden ser fácilmente analizadas en un programa de monitoreo. Se trata de un efecto cuantitativo, sensible, con elevada velocidad de respuesta y de señal/ruido, que puede ser aplicado a una variedad de organismos y ya fue examinado en trabajos de campo. La principal desventaja es el elevado costo de equipamiento y el bajo significado ecológico.

Objetivos en programas de monitoreo:

Existen varios objetivos posibles en programas de monitoreo.

– Fases del monitoreo biológico:

- a) control del “input” de contaminantes;
- b) protección de la salud humana;
- c) determinación de tendencias espaciales y temporales de procesos de contaminación y de sus efectos en los ecosistemas;
- d) obtención de datos para el manejo ambiental.

Sean cuales fueren las limitaciones de tiempo o recursos, estos programas deben seguir estrategias consistentes.

Fase 1 – Identificación

Esta fase comprende el mapa de los “hot spots” de polución (distribución de las áreas fuentes y de las áreas con elevados niveles de contaminación en el agua, en el sedimento y en la biota). Esto permite que el esfuerzo posterior sea concentrado en áreas de interés, donde la probabilidad de ocurrencia de impactos sea mayor.

En esta fase los análisis químicos son indispensables para caracterizar los niveles de contaminación. Las variables biológicas deben ser precisas y sensibles, o sea, deben ser capaces de responder a variaciones muy pequeñas del ambiente físico-químico (alta tasa señal/ruido). Deben ser baratas y de aplicabilidad general. Son sugeridos los siguientes tipos de análisis:

- Condiciones morfológicas anormales en peces (prácticas iniciales de desarrollo y adultos);
- Bioensayos de muestras de aguas del mar;
- Estabilidad lisosómica.

Todavía en esta fase debe ser conducido un trabajo de caracterización general, sea por medio de campañas oceanográficas o por la reevaluación y síntesis de datos anteriores.

Fase II – Cuantificación del grado o extensión del daño

La demostración de la existencia de un “hot spot” no indica por sí sola un daño biológico o ecológico. Son necesarias la confirmación y la cuantificación de lo(s) daño(s), a través del examen de variables de relevancia ecológica. En esta fase, las medidas a nivel de las comunidades son importantes, a pesar de su mayor costo, de su relativa insensibilidad y de los problemas de interpretación. Hay evidencias y también recomendaciones de que el análisis de comunidades bénticas, por ejemplo, incluyendo comunidades costeras, es más eficaz que el análisis de asociaciones planctónicas. Por otro lado, no hay evidencia de que análisis pormenorizados, a nivel específico, de los bentos sean particularmente más informativos o adecuados que el análisis de parámetros más generales, como la abundancia total, biomasa total o diversidad.

Fase III – Determinación de relaciones causales

En esta fase ya debe ser posible la determinación de las causas de eventuales efectos, a partir de evidencias circunstanciales. La estrategia a ser adoptada es nuevamente la intensificación de análisis químicos, pero en un nuevo contexto. Esta fase comprende la cuantificación y la comprensión de las relaciones dosis-respuesta, exigiendo el conocimiento de la especificidad de las sustancias químicas y de su separación en las distintas partes biológicas. Los procedimientos que pueden ser adoptados son: análisis químicos específicos del agua, sedimento y biota para la búsqueda de contaminantes sospechosos; la realización de bioensayos con modificaciones específicas de las muestras de agua; y la adopción de técnicas bioquímicas específicas para determinadas sustancias o clase de las mismas.

Aspectos temporales de monitoreo:

El conocimiento de tendencias o cambios ambientales puede ser obtenido por la repetición de un mapeo espacial inicial en una secuencia temporal adecuada (periódico o anual) o por la repetición frecuente de observaciones en un mismo sitio.

El tipo de escala temporal a ser adoptado dependerá de la naturaleza, del alcance y de la propia permanencia de los “inputs” contaminantes.

Las estrategias para la determinación de cambios temporales biológicos o fisicoquímicos pueden ser las mismas sugeridas anteriormente. Por ejemplo, el uso de bioensayos ofrece una buena fase para la medición de modificaciones en la calidad del agua, considerándose los cambios naturales causados por “blooms” (picos de poblaciones), cambios en el drenaje continental, influencia periódica.

EFFECTOS ACUMULATIVOS DE LOS IMPACTOS Y RIESGO AMBIENTAL

El “Global 2000 Report to the President” (U.S. Council on Environmental Quality, 1980), señala la necesidad de conocer los efectos acumulativos que ocurren en una escala global y en todos los medios. Según aquel informe, los problemas más conspicuos son las condiciones de formación del CO₂, la reducción de ozono y la lluvia ácida. Son también relevantes, la deforestación, la desertificación y los impactos acuáticos.

Efectos acumulativos, son impactos en los ambientes sociales y naturales que ocurren tan frecuentemente en el tiempo o tan densamente en el espacio, que no pueden ser “asimilados”; o ser combinados con los efectos de otras actividades de modo sinérgico.

Según, Sonntag et al. (1987), sabemos mucho más sobre alteraciones acumulativas fisicoquímicos porque hay mayor consenso sobre las medidas de esos parámetros en los estudios sobre los efectos cumulativos de que sobre los biológicos/ecológicos.

Es importante considerar también que en ningún estudio, sobre efectos acumulativos, se toman en cuenta dimensiones de tiempo y espacio; la evaluación de impactos ecológicos es problemática debido a la falta de informaciones, lo que dificulta las previsiones; los valores socioeconómicos invariablemente, son el centro de la evaluación de los impactos ambientales; en tanto que el reconocimiento de esa influencia varía enormemente entre los estudios de impactos ambientales (EIA).

El workshop sobre efectos ambientales acumulativos, realizados por el CEARC ("Canadian Environmental Assessment Research Council") en Toronto, en 1985, mostró varios tipos de dificultades observadas en los EIA, según, Sonntag et al (1987), los cuales son indicados en el Cuadro 4.

Cuadro 4– Tipos de Dificultades Identificadas en los EIA por el CEARC (1985)

DIFICULTADES	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
Tiempo	Impactos frecuentes y repetitivos sobre un único ambiente	Residuos lanzados en lagos, ríos.
Espacio	Alta densidad de impactos sobre un único ambiente	Fragmentación de hábitat en las forestas, estuarios.
Efectos compuestos	Efectos sinérgicos debido a múltiples fuentes en un único ambiente	Emisiones gaseosas para la atmósfera
Intervalo de tiempo	Gran demora para que los impactos ocurran	Efectos carcinogénicos
Intervalo espacial	Impactos ocurriendo a distancia de la fuente	Grandes barreras; emisiones gaseosas para la atmósfera
Impactos directos	Impacto sobre los sistemas biológicos que fundamentalmente modifican el comportamiento de los mismos	Efectos sobre la edad de las foresta, sobre su fauna
Indirectos	Impactos secundarios resultantes de una actividad primaria	Desarrollo de rutas de tránsito

Con base en las consideraciones arriba mencionadas, Sonntag et al (1987) propusieron la siguiente tipología para los efectos cumulativos, definiéndose las dimensiones espaciales, temporales y sistemáticas:

Tipo 1: efectos aditivos acumulativos lineales – cuando cada adición tiene el mismo efecto de las demás, como en el caso de la adición de contaminantes en un lago, en una relación lineal dosis/efecto.

Tipo 2: efectos amplificados o exponenciales – cuando cada adición tiene un efecto mayor que el precedente, de modo que resultan más nocivos. Por ejemplo, los efectos que llevan al “efecto invernadero”.

Tipo 3: efectos discontinuos – cuando las adiciones solamente pasan a presentar consecuencias evidentes, después de que cierto nivel fue sobrepasado, las variables sufrirán cambios rápidos. Un ejemplo, es la eutrofización acompañada de fenómenos anaeróbicos, después de suficiente acumulación de fosfato en un lago.

Tipo 4: efectos estructurales inesperados – son situaciones en las cuales desarrollos múltiples en una determinada región afectan:

1º) Un gran número de ecosistemas terrestres y acuáticos, tanto como condiciones atmosféricas;

2º) Llevan a la existencia de dos características diferentes en el tiempo y en el espacio. Así, primero existen efectos abruptos localizados, los cuales, en una segunda etapa, se propagan por áreas más amplias. Gradualmente se manifiestan síndromes de efectos sobre la estructura de los ecosistemas, que van reduciendo su resiliencia. Ese proceso puede ser medido por la homogenización espacial de “variables-clave”, por la pérdida de “funciones-clave” de ecosistemas como renovación, reciclaje, pérdida de la variable y del control regulador;

3º) Los efectos inesperados pueden ser discutidos ecológicamente, pero ellos son el resultado de una creciente interdependencia e interacción entre fuerzas reguladoras ecológicas, sociales y políticas. Esa es la categoría menos conocida y donde se encuentran los mayores desafíos a la comprensión y gerenciamiento de los efectos acumulativos.

Hay que considerar que:

1. las interacciones entre los sistemas tecnológico/ecológico y sociales son los principales determinantes en la consideración de los potenciales acumulativos. El crecimiento físico acarreado por el desarrollo a lo largo del tiempo, asociado con estrategias erradas o limitadas de desarrollo, han

creado situaciones donde los sistemas antes independientes se entrelazan y ocasionan situaciones altamente indeseables amplificando ambientalmente la alteración de condiciones;

2. para un planeamiento ambiental y para la realización correcta del EIA, hay necesidad de buenas informaciones y de pocas dudas sobre los componentes básicos de los ecosistemas naturales y antrópicos. Cuanto mayor son nuestras dudas sobre esos componentes, mayor será el riesgo de que ocurran procesos acumulativos;

3. muchas veces no han sido analizados los efectos acumulativos, tanto de proyectos aislados como de proyectos con muchos componentes. Entre las técnicas disponibles están los modelos de simulación, procesos de consulta, evaluación de áreas, análisis de impactos cruzados, etc.;

4. hay necesidad de establecer programas de investigación para identificar los procesos “clave” que determinan las respuestas de los sistemas ambientales a la alteración, la recuperación de los mismos y su nivel de resiliencia. Hay necesidad de conocer la relación entre impactos, el sinergismo entre ellos y la sensibilidad de los ecosistemas a disturbios;

5. entre los mejores procesos metodológicos para la evaluación de procesos acumulativos, están los modelos de simulación desarrollados por Holling (1978); Esa (1982) y Cline et al. (1983). Entre las revisiones de la metodología sobre efectos acumulativos están las de Bain et al (1985), Witner y Bain (1985), Horak et al (1983), Risser (1988) y la de Spaling y Smit (1993). Trabajos importantes son los de Bonnicksen (1980), Clark y Zinn (1978), Coats y Miller (1981), Dickert y Tuttle (1985), Lane (1986), Vlachos (1982) y el de Preston y Berd–Ford (1988).

Hoy en día existen crecientes informaciones de que los efectos acumulativos asociados a múltiples actividades pueden producir modificaciones irreversibles en un determinado sistema o cambios en el mismo, que son diferentes de aquéllos causados por una única actividad productora de impacto ambiental.

La expansión agrícola, al aumentar la productividad de los cultivos, llevó muchas veces a efectos acumulativos, tales como:

1. erosión del suelo; pérdida de la fertilidad del suelo;
2. uso intensivo de agrotóxicos;
3. uso intensivo de fertilizantes;
4. drenaje de áreas húmedas;
5. destrucción de hábitats naturales;
6. sedimentación en cuerpos hídricos;
7. comprometer la calidad del agua para usos múltiples;
8. eliminación de cultivos de subsistencia;
9. subempleos; accidentes en el transporte de trabajadores; diseminación de enfermedades de transmisión hídrica.

Las crecientes alteraciones en la calidad ambiental, que están siendo causadas por efectos acumulativos, deben ser evaluadas, así como también las acciones que tendremos que realizar para controlar y reducir los impactos causados por esos efectos.

La aplicación inadecuada del concepto de efectos acumulativos y su evaluación mostraron que los EIA , realizados hasta el presente, no han sido considerados, por ejemplo:

1. efectos aditivos de varios efectos que provocan alteraciones sobre los sistemas ecológicos;
2. efectos de actividades secundarias derivadas de actividades primarias;
3. respuestas ecológicas no lineales, consecuencia de crecientes presiones del desarrollo;
4. efectos sinérgicos o retroalimentadores de impactos ambientales;

5. efectos en “mosaico”, debido a la interacción de variables en el espacio y en el tiempo.

Varios autores han mostrado que los procesos a seguir incluyen efectos acumulativos que ya se manifiestan en muchos lugares, o que lo harán después de algunos años. Éstos son:

1. transporte, por largas distancias, de contaminantes atmosféricos;
2. calidad del aire urbano;
3. movilización de sustancias persistentes o bioacumulables;
4. efectos acumulativos asociados a modificaciones climáticas;
5. ocupación del suelo por asentamientos humanos;
6. aislamiento y fragmentación de hábitats;
7. pérdida de la calidad y cantidad del suelo;
8. efecto del uso de productos químicos en la agricultura;
9. reducción de la reserva de agua subterránea y contaminación de la misma;

La evaluación de riesgo es el proceso de caracterizar los efectos potenciales adversos, de la exposición a los peligros ambientales. Peligro es cualquier situación que puede causar daños a la vida, a la propiedad, al medio ambiente, o a los tres en conjunto. Y riesgo es, tanto la probabilidad de ocurrencia de daño a la vida, a la propiedad y al medio ambiente, en caso de que un peligro se manifieste, como también, la extensión posible de las consecuencias del evento.

Para instalaciones potencialmente peligrosas, el nivel máximo aceptable para el riesgo individual ha sido considerado como aquel que aumenta el riesgo de muerte por todas las otras causas, lo máximo en uno por ciento. El riesgo de muerte natural individual para personas en la faja de edad entre 10 –14 años, es de 104 por año, lo que ha sido considerado como el riesgo básico. Riesgos cuyo nivel es menor que 108 por año, o menor que en 100 millones de años son despreciables. El nivel máximo aceptable por individuo

debido a instalaciones industriales, es de 106 por año, o sea, el riesgo al que una persona se expone por su actividad continua, en una industria o por vivir muy próximo a ella, debe ser menor de que uno en un millón de años.

Riesgo industrial es un posible daño que puede ser causado a las personas o a las instalaciones, por causa un evento aislado o de una cadena de eventos en instalaciones industriales. Puede ser definido también como la probabilidad del medio ambiente de sufrir daños, directa o indirectamente, debido a efectos de la actividad humana, Kates (1981).

Uno de los más eficientes medios de proteger una comunidad y ecosistemas sensibles contra los riegos de instalaciones industriales, es mantenerlas suficientemente distanciadas. La falta de demarcación del uso del suelo, como también de planeamiento ambiental, lleva a proximidades altamente peligrosas que fueron la causa de graves accidentes, como enfermedades crónicas.

Como señalan Suter et al, (1987), el análisis de riesgo, debido a su explícito tratamiento de la incertidumbre, contribuye mucho para el EIA, ya que elimina la necesidad de un escenario para situaciones desfavorables, así como de análisis más complejos, porque ofrece informaciones adecuadas que pueden ser usadas en la evaluación de la probabilidad de ocurrencia de efectos indeseables.

Los daños ambientales y ecológicos que pueden ocurrir como consecuencia de la acción humana son: extinción de especies; pérdidas de especie del ecosistema; cambios en la biomasa tamaño/individuo, en la estructura por edad; en la producción dentro de la población; interferencia en las funciones de conversión de energía y de los ciclos de los elementos del ecosistema y, cambios en las propiedades físicas del sistema (Southworth et al., 1982).

Si consideramos, por ejemplo, el riesgo ambiental de la liberación de contaminantes químicos, el grado de daño ambiental será muy influenciado por las propiedades de éstos y por las propiedades de la parte ambiental afectada. Según Southworth et al. (1982), esas propiedades son las siguientes:

1) Propiedades de las sustancias: toxicidad aguda; crónica; mutagenicidad, cancerígenidad y teratogenicidad; efectos indirectos; duración y extensión de la contaminación; grado de la contaminación.

2) Propiedades del ambiente: naturaleza del conjunto de especies; presencia de recursos ambientales altamente importantes; presencia de especies de interés comercial y recreativo; interacciones entre los varios ambientes.

Riesgo ecológico regional es la definición y la estimativa de riesgo a los recursos ambientales, en escala regional, como también riesgos resultantes de la contaminación y de los disturbios físicos en esa escala. Son ejemplos, los efectos de la lluvia ácida, la reducción de la capa de ozono y la contaminación del agua de una cuenca hidrográfica. Según Sutter (1990), la evaluación de riesgo ecológico comienza con tres actividades que definen la naturaleza del problema a ser evaluado: selección de “endpoints”; descripción del ambiente y descripción del riesgo.

El autor, también muestra que han existido confusiones en la evaluación de riesgo ambiental debido al uso del término “endpoint” para dos conceptos diferentes. Pero ya en 1989, él distinguió entre “endpoints” para evaluaciones y “endpoints” para mediciones. Esa conceptualización fue adoptada por el subcomité de ecotoxicología.

Así, “endpoints” para evaluación, son expresiones formales de los valores ambientales a ser protegidos; y un “endpoint” para medida es la expresión de una respuesta (tomada u observada) a un riesgo. Es una característica ambiental medible relacionada a una determinada característica escogida como “endpoint” para evaluación.

Un “endpoint” para evaluación debe tener las características de relevancia social, relevancia biológica, definición operacional clara y posibilidad al riesgo. Sin embargo, “endpoints” ideales para medida deben tener correspondencia con un “endpoint” para evaluación, ser adecuados a la escala del disturbio/contaminación, a la dirección de exposición, a la dinámica temporal; presentar baja variabilidad natural; ser ampliamente utilizable, existir datos/informaciones sobre él, exigir patrones.

Como ejemplo de “endpoint” para evaluación, Sutter (1990) menciona entre otros: extinción de población, contaminación, calidad recreacional, patrones de calidad ambiental, elevación del nivel del mar y aumento de la incidencia de radiación UV. Y, para medida, menciona el número de especies, diversidad, valor comercial de una especie, biomasa, productividad, concentración de contaminantes, frecuencia de ocurrencia de enfermedades en un/a cultivo/crianza y frecuencia/severidad de inundaciones. Para estudios de poblaciones, han sido usados “endpoints” de evaluación, como abundancia y distribución. Para niveles superiores, como ecosistemas y regiones, no hay datos suficientes y los modelos existentes no están con su validez demostrada.

Para poder evaluar el riesgo de un evento (riesgo tecnológico, político o económico), debemos definir los dos componentes del riesgo: probabilidad de ocurrencia y la dimensión de las consecuencias.

La estimación de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo es hecha por un análisis estadístico, tomándose datos históricos de accidentes. Cuando no hay datos históricos, es necesario recurrir, por estimación, a la probabilidad de accidentes específicos como hipótesis para las técnicas de análisis, tales como, los conjuntos de eventos y los conjuntos de perjuicios. Para usar esas técnicas debemos separar los componentes de una determinada instalación industrial, así como, las actividades de administración y de mantenimiento. Eso nos conduce al campo de la ingeniería de instalaciones y también a la evaluación de la probabilidad de disfunciones elementales, tanto como de componentes y de intervenciones humanas en los sistemas.

Para evaluarse las consecuencias de un evento peligroso, es necesario conocer la posible liberación de energía (incendio, explosión) o de sustancias tóxicas. Se hace necesario conocer también el entorno de las instalaciones peligrosas en términos de ecosistemas y asentamientos humanos. Se debe conocer bien la relación de los efectos sobre los animales y vegetales así como las direcciones de vientos. El trabajo de Johnson (1988) diagnostica algunas variables que pueden ser usadas en la previsión de riesgos ecológicos.

Accidente, es un desvío intolerable de un sistema y de sus condiciones proyectadas que presenta serias consecuencias, tanto sobre el propio sistema, como para su entorno.

Para la evaluación del riesgo de una instalación industrial o de un proyecto cualquiera, podemos usar varios métodos, entre los cuales tenemos:

1. "Check list" – identifica peligros frecuentes
2. Inspección de seguridad – trata de asegurar que las instalaciones y los procedimientos de operación y mantenimiento sean los propuestos en el proyecto del sistema.
3. Índice de riesgo "Down" – permite clasificar las unidades del sistema con base en su grado de riesgo
4. Análisis preliminar de riesgo (PHA) – analiza los riesgos en fase preliminar del desarrollo de una industria. Enfatiza los materiales peligrosos y los principales elementos de la industria. Ofrece, así, una orientación para la práctica final del proyecto.
5. Método E Se – identifica la secuencia de los posibles accidentes y, a continuación, los peligros
6. Método Haz O_s – identifica riesgos y problemas de operación
7. Modalidad de fallas, efectos y análisis críticos – identifica los tipos de fallas en equipamientos y en el sistema, así como sus efectos potenciales
8. Árbol de fallas (FTA) – permite identificar las combinaciones entre fallas en los equipamientos y errores humanos que puedan llevar a un accidente
9. Árbol de eventos – identifica las secuencias de eventos que acaban en accidentes
10. Análisis de causa-consecuencia – combina los dos métodos anteriores. Identifica las consecuencias potenciales del accidente y sus causas
11. Análisis de error humano – identifica errores humanos potenciales y sus consecuencias o también las causas de errores humanos

BIBLIOGRAFÍA

BAIN, M.B., IRVING, J.S., OLSEN, R.D., STULL, E.A. & WITMER, G.W.

a) *Cumulative Impact Assessment: identifying optimal configuration for multiple developments.* Environment Research Division, Argonne Nat. Lab., Arg.111, 1985.

b) *Cumulative Impact Assessment: a practical methodology.* Environmental Research Division, Argonne Nat. Lab., Arg.111, 1985.

BONNICKSEN, T.M. *Computer, Simulation of the Cumulative effects of Brushland Fire Management Polices.* Environ. Mgmt. 5(1) 35 – 47, 1980.

CEARC *Selected Mathematical Models in Environmental Impact Assessment in Canada* (Michel Braise). CEARC – Canadian Environmental Assessment Research Council, 1986.

CLARK, J.R. & ZINN, J.A. *Cumulative Effects in Environmental Assessment.* In: *Coastal Zone*: 2481-2492. Nueva York, Am. Soc. Civil. Eng. Ed: ASCF, 1978.

CLINE, E. W., VLACHOS, E.C. y HORACK G.C.. *State of art and the theoretical Basis of Assessing Cumulative Impacts on Fish and Wildlife.* Washington D.C., Fish Land Wildlife Service, U.S. Dep. Interior, 1983

COATS, P.N. & MILLER, T.O. *Cumulative Silvicultural Impacts on Watersheds: A Hydrologic and Regulatory Dilemma.* Environ. Mgmt., 5 (2) – 147 - 160, 1981.

COX, G. W.; ATKINS, M. D. *Agricultural ecology. An analysis of world food production systems.* San Francisco: W. H. Freeman and Co, 1979. 721 p.

DICKERT, T.G. & TUTTLE, A.E. *Cumulative Impact Assessment in Environmental Planning: a coastal wetlands watershed example.* Environ. Impact Ass. Rev. 5 (1): 37- 64, 1985.

- ESSA.** *Review and evaluation a adaptative environmental assessment and management.* Canada Environment, Environmental and Social System Analysis Ltda., 1982
- HOLLING, C.S.** *Adaptative Environmental Assessment and Management, nº 3. Int. Ser. On Applied System Analysis.* Int. Inst. Applied System Analysis, John Willey & Sons Chichester, 1978.
- HORAK, G.C., VLACHOS, E.C. & CLINE, E.W.** *Methodological Guidance for Assessing Cumulative Impacts on Fish and Wildlife.* Fish and Wildlife Service, U. S. Department of the Interior, Wash D.C, 1983.
- JOHNSON, A. R.** *Diagnostic Variables as Predictors of Ecological Risk.* Environ. Mgmt. 12 (4): 515 - 523, 1988.
- KATES, R.W.** *Risk Assessment of Environmental Hazard.* SCOPE report nº 8. John Wiley, 1981.
- LANE, P.A.** *Simmetry, Change, Pertubation, and Observing Model in Natural Communities.* Ecology 67 (1): 223 –239, 1986.
- MOREIRA, D., V., I.** *Vocabulário Básico de Meio Ambiente.* FEEMA, Rio de Janeiro,1990.
- PRESTON, F.M. & BED-FORD, B.L.** *Evaluating Cumulative Effects on Wetland Functions: a conceptual overview and generic framework.* Environmental Mgmt, 12 (5): 565 – 583, 1988.
- RISSER, P.G.** *General Concepts for Measuring Cumulative Impacts on Wetland Ecosystems.* Environmental Mgmt. 12 (5): 585 – 589, 1988.
- RODRIGUES G.S., CAMPONHOLA C. & KITAMURA P.C.** *Avaliação de Impacto Ambiental da novação Tecnológica Agropecuária: Um Sistema de Avaliação para o Contexto Institucional de P&D.* Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.19, n. 3, p.349-375, set./dez. 2002.
- SONNTAG, N.C., EVERITT, R.R., RATTIE, L.P., COLMETT, D.L., WOLD, C.P., TRUETT, J.C., DORCEY, A.H.J. & HOLLING, C.S.** *Cumulative Effects Assessment: a context for further research and development.*

CEARC – Canadian Environmental Assessment research Council, 1987.

SOUTHWORTH, G.R.; PARKHURST, B.R.; HERBES, S.E. y TSAI, S.C. *The risk of chemicals to aquatic environment. En: Environmental Risk Analysis for Chemicals.* Ed. R.A. Conway. Van Nostrand Reinhold. Env. Eng. Series. Pgs 85 - 153, 1982.

SPALING H. & SMIT B. *Cumulative environmental change: Conceptual frameworks, evaluation approaches, and institutional perspectives.* Environmental Management, Vol.17 (5), 1993

SUTTER, H.G.W. *Endpoints for Regional Ecological risk Assessments.* Env. Mgmt. 14 (1): 9 – 23, 1990.

SUTTER, H.G.W.; BARINTHAISE, L.W. y O’NALL, R.V. *Treatment of risking environmental impact assessment.* Environ. Mgmt. 11 (3): 295 – 303, 1987.

VLACHOS, E. *Cumulative Impact Analysis.* Imp. Ass. Bull. 1 (4): 60-70, 1982.