

DECISIONES SOBRE LA UTILIZACION DEL TERRENO: CLASIFICACIONES PARA MINIMIZAR EL EFECTO DE LA CONTAMINACION DEL AIRE SOBRE LA SALUD

Dr. O. Benjamin Kaplan¹

Este artículo presenta los criterios y métodos para decidir sobre la utilización del terreno. Su finalidad consiste en minimizar el peligro que la contaminación del aire significa para la salud.

Introducción

El Departamento de Planificación del Condado de San Bernardino solicitó al autor que prepare una lista de categorías por orden de importancia que servirían de guía para las decisiones sobre la utilización del terreno a fin de reducir al mínimo el efecto de la contaminación del aire sobre la salud. En este trabajo se describen los criterios y métodos que se emplearon para atender dicha solicitud.

Se han publicado innumerables observaciones relativas a la reacción humana a determinadas concentraciones de contaminantes. Sin embargo, no existe un modelo matemático global que describa tal reacción como una función de todas las variables de los contaminantes. Por falta de datos y conocimientos en una reciente publicación no se cuantificaron los daños del NO_x (ni de otros contaminantes) (1); solo se describió matemáticamente la mortalidad excesiva causada por SO_x y partículas (1). Realmente sería difícil formular un modelo global: ciertas variables de la contaminación del aire, como SO_x, NO_x, CO, oxidantes, partículas, aerosoles de plomo, etc., pueden ejercer una compleja interacción recíproca, de manera antagónica y sinérgica, con variables climáticas y humanas. Además, no existe un procedimiento matemático exacto para asignar grados de importancia a diferentes reacciones a la contaminación, v.g.: ¿Cuántas veces más importante

que una tasa de 10% de irritación de los ojos de los niños es la tasa de 0.001% de hospitalización de personas ancianas?

A los efectos de obtener grados de importancia se consideraron las tres estrategias siguientes:

1. Un análisis exhaustivo de las posibles interrelaciones de todas las variables y, simultáneamente, sondeos para determinar una escala de importancia entre diferentes síntomas o efectos. En el supuesto de que esta estrategia sea viable resulta sumamente costosa y requiere un tiempo considerable. Los grados de importancia probablemente serían tendenciosos, debido a determinados criterios socioculturales y económicos. Por consiguiente, esta estrategia se desechó.

2. Realización de un estudio de Delphi. El procedimiento de Delphi consiste en presentar cuestionarios a expertos, modificar esos cuestionarios con arreglo a las respuestas obtenidas y, una vez modificados, someterlos de manera cíclica, hasta que la mayoría de los expertos concuerden en una respuesta común. Si bien este método popular puede constituir un valioso instrumento (2) se presta también a un uso impropio. Así, por ejemplo, si un cuadro de expertos fuera capaz de responder a la pregunta: "¿Cuántos ángeles caben en la cabeza de un alfiler?" ello solo significaría que los expertos comparten las mismas tendencias en cuanto a la naturaleza de los ángeles y la cabeza de un alfiler. Puesto que el tipo de "importancia" no se define mejor que la naturaleza de los ángeles, se rechazó la estrategia de Delphi. Ahora bien, a título de sonidos el autor entrevistó a cinco expertos (médicos) por teléfono y trató de

¹ Coordinador de la Planificación de la Higiene Ambiental y especialista en utilización del terreno. Departamento de Servicios de Higiene Ambiental, Condado de San Bernardino, California, E.U.A.

deducir de estas entrevistas categorías de importancia. Como cabía prever, las variancias resultaron extremas, ya que los expertos utilizaban distintos marcos de referencia. Dos de los expertos rehusaron discutir generalidades e insistieron en especificar el contaminante, su concentración, duración del episodio y grupo expuesto antes de asignar categorías de "importancia". No cabe duda que los expertos podían coincidir en los resultados de casos específicos y concretos y tal vez en el criterio de importancia, pero un infinito número de casos e importancias no serían útiles para el Departamento de Planificación.

3. Construcción de un modelo más de acuerdo con las condiciones de la vida real en una estructura de supuestos y definiciones sujetos a cuantificación. Luego, este modelo se sometería a la verificación experimental o a una averiguación bien fundada. Esta fue la estrategia que se persiguió. Puesto que la verificación experimental no resultaba práctica, las observaciones de los lectores del primer borrador de este artículo fueron muy valiosas.

Supuestos, modelos y cálculos

En principio, todas las personas están expuestas a la contaminación del aire; sin embargo, no es económicamente viable reducirla a cero. Por consiguiente, los objetivos racionales de las decisiones sobre planificación deben ser los siguientes: 1) reducir al mínimo la contaminación del aire en la medida que sea económicamente posible y 2) evitar una distribución "injusta" o desigual del riesgo. Por ejemplo, si una fuente de contaminación atmosférica *debe* situarse en una comunidad de jubilados integrada por 100 ancianos o bien en un lugar de recreo con 100 personas de todas las edades, y si la probabilidad de que los ancianos fallezcan por causa de la contaminación es 10 veces mayor que la del promedio de los habitantes del lugar de recreo, la fuente de contaminación del aire debe situarse en este último lugar.

La importancia es un término que debe ser

definido. Todas las cosas son más o menos importantes *en relación con* otras. En este trabajo, la importancia se define como una razón de probabilidades de riesgo. Si un grupo determinado tiene x más probabilidades que una determinada población de ser radicalmente afectado, el grado de importancia para el grupo es x .

La figura 1 contiene 10 cuadrados. El área de cada cuadrado representa 100 personas y el área del cuadrado que sobresale a la derecha representa 100 personas *expuestas a riesgo* (susceptibles). Las zonas de puntos representan las personas que realmente manifiestan un síntoma determinado después de una exposición a la contaminación atmosférica. Si 95 personas del grupo expuesto a riesgo y 6 del resto de la población manifiestan síntomas, el grado de importancia para el grupo expuesto a riesgo es:

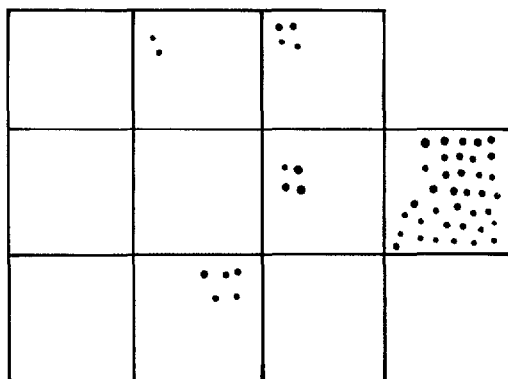
$$\frac{95}{100} \div \frac{(95 + 6)}{1000} = 9.5; \text{ o bien,}$$

$$\frac{95}{(95 + 6)} \div \frac{100}{1000} = 9.5$$

En otros términos,

$$I + Pg \div Pt; \text{ o } I = Fg \div Ft$$

FIGURA 1—Esquema de una población dividida en 10 grupos. La zona con puntos representa la magnitud de la reacción a un episodio de contaminación atmosférica.



I = Grado de importancia.

Pg = Probabilidad de una reacción determinada (o síntoma) dentro del grupo expuesto a riesgo.

Pt = Probabilidad de una reacción determinada (o síntoma) dentro de la población total.

Fg = Fracción de respuestas de la población total que aparecen en el grupo expuesto a riesgo.

Ft = Fracción de personas expuestas a riesgo en la población total.

Hay que advertir que no se necesita especificar la clase de contaminante ni la concentración del contaminante. Para cada situación (o serie de circunstancias) que afecta al grupo expuesto a riesgo con un síntoma determinado, existe una situación idéntica en la población total de la que forma parte el grupo expuesto a riesgo. Si la contaminación del aire afecta a toda la población con un síntoma determinado, el grado de importancia es uno. Si el 80% de las defunciones debidas a la contaminación atmosférica corresponden a un grupo que representa el 10% de la población, el grado de importancia para este grupo es ocho.

Se pueden calcular las categorías cuando se haya establecido el criterio de importancia.

Actividad

La probabilidad de afección es proporcional a la de exposición a la dosis de contaminantes que induce ese estado morboso. La probabilidad de una dosis de esta naturaleza es una función de una constante (tasa de respiración o ingestión) multiplicada por la distribución probabilística del grado de contaminación. De ahí que la probabilidad de afección se duplique si la tasa de respiración aumenta al doble.

Puesto que el gasto calórico relativo es una buena estimación de la inhalación relativa de aire (o de la inhalación relativa de contaminantes atmosféricos), y puesto que la necesidad calórica de una persona dedicada a trabajos pesados es de 1.2 a 1.6 veces mayor

que la de una persona que ejerce una actividad moderada o sedentaria (3), el factor importancia para la actividad debería ser aproximadamente 1.4. En otras palabras, *en igualdad de otras circunstancias*, las probabilidades de sufrir las consecuencias de la contaminación atmosférica son aproximadamente 1.4 veces mayores en las personas dedicadas a trabajos pesados que en las que llevan una vida normal. Ahora bien, el gasto calórico para esos trabajos solo tiene lugar durante las ocho horas laborables. De ahí que el grado de importancia debería aproximarse a 2. En el caso de una actividad breve muy agotadora, el gasto calórico alcanza una magnitud superior a lo normal. Por tanto la actividad en parques de recreo, que permiten un ejercicio que requiere un gran esfuerzo, la importancia se debe calificar como de grado 10, que es una calificación máxima. Probablemente si la contaminación del aire es perceptible, las personas evitarán cualquier actividad vigorosa. Pero ello significaría que el parque no se utilizaría para todos los fines previstos. Por consiguiente, debe considerarse válida la calificación de 10.

Enfermedades

Se parte de los supuestos siguientes:

1. Existen condiciones estables respecto al número de habitantes. Todas las edades están representadas en las mismas proporciones.
2. El promedio de esperanza de vida es de 70 años; de ahí que la tasa de mortalidad sea aproximadamente de 1.4% al año.
3. El grupo gravemente enfermo se define como el que tiene una probabilidad de más del 99.9% de contribuir a la mortalidad anual debida a la contaminación del aire, y a él corresponde por lo menos el 95% de las defunciones excesivas.
4. Alrededor del 40% de todas las defunciones debidas a enfermedades corresponde a cardiopatías y afecciones de las vías respiratorias (4).

Fundados en esos supuestos, $0.4 \times 0.014 = 0.006$, o sea que el 0.6% de la población fallece anualmente a causa de cardiopatías y enfermedades respiratorias; así, todos los años el 0.6% de la población llega al estado

de grave enfermedad. La importancia sería de $0.95 \div 0.006 \simeq 160$. Por consiguiente, la calificación de la importancia para los enfermos graves de cardiopatías y afecciones respiratorias es de alrededor de 160. Una vez más, la afirmación fundamental es que por lo menos el 95% de las defunciones excesivas durante episodios de contaminación atmosférica corresponderá a las personas gravemente enfermas.

En 1973, los 200 millones de habitantes de Estados Unidos generaron unos 22 millones de hospitalizaciones breves, 3 millones de las cuales eran dos o más hospitalizaciones por persona al año (5). Por consiguiente, la tasa total de hospitalización es de alrededor del 11%. La proporción de casos cardíacos y de enfermedades respiratorias (excluidos los recién nacidos) que figura en los registros médicos del Hospital del Condado de San Bernardino es de 13 y 6%, respectivamente. Ello significa que $0.11 \times 0.19 = 0.021$, o sea que el 2.1% de la población ingresa anualmente en el hospital por causa de enfermedades cardíacas o respiratorias. Con respecto a las condiciones estables, el 11% de las hospitalizaciones y el 2.1% de las hospitalizaciones debidas a trastornos cardíacos y respiratorios corresponden al 0.6% de defunciones debidas a esas enfermedades. Puesto que 160 es el valor de la importancia de las cardiopatías y afecciones respiratorias graves, el correspondiente a las hospitalizaciones por esas mismas enfermedades es:

$$160 \times \frac{0.6}{2.1} \simeq 46$$

y a las hospitalizaciones generales:

$$160 \times \frac{0.6}{11} \simeq 9.$$

Vejez

Las mismas consideraciones generales que se aplican a las cardiopatías y afecciones cardíacas rigen para la vejez. Las tasas de mortalidad por edad atribuidas a las enfer-

medades del corazón y las vías respiratorias son alrededor de ocho veces más elevadas en el grupo de "65 años o mayor" que la que corresponde "a todas las edades" (4). Así, el grupo de 65 años o más acusa una tasa de mortalidad ocho veces mayor y por lo tanto su riesgo es ocho veces mayor que el de la población general. Por consiguiente el valor de la importancia para el grupo de 65 años o más es 8.

Discusión y conclusiones

El número de defunciones excesivas debidas al SO_x entre las personas de 65 años o mayores es aproximadamente 12 veces mayor que el de la población no blanca (1). Cabe suponer, que hubiera sido unas 10 veces mayor que el correspondiente al promedio de la población, lo que concordaría con el valor 8 calculado. Es posible que esta conformidad no sea pura coincidencia: las personas de 65 años o más constituyen alrededor del 10% de la población y probablemente formarán la porción principal de las defunciones excesivas debidas a la contaminación del aire, así que:

$$Fg \div Ft \simeq 1 \div \frac{10}{100} \simeq 10.$$

Conviene advertir que el SO_x no es un contaminante que causa preocupación en el condado de San Bernardino, en cambio sí lo es el O₃. Pero debido a la derivación matemática de los grados de importancia no importa si el contaminante es SO_x, O₃, CO o flogisto.

Las limitaciones que impone la confiabilidad de los datos de mortalidad y de los supuestos estables probablemente no alteran por más de un factor de 1/2 a 2 la magnitud de los grados de importancia derivados.

Si las derivaciones matemáticas se aplican a grupos sumamente expuestos o a síntomas que no son espectaculares surgirán otras limitaciones. La formulación de grados de importancia lleva implícito el supuesto de que un grupo relativamente expuesto corre el riesgo de un síntoma radical, así:

$$\sum_{x=1}^n Sx / \sum_{x=n+1}^N Sx \geq 10$$

Por lo tanto $Sx =$ Gravedad de los síntomas que afectan a la persona x

1,2, ... $n =$ Miembros del grupo expuesto a riesgo.

1,2, ... $N =$ Miembros de la población total

La muerte es una respuesta tan radical que, en la mentalidad occidental, puede considerarse por lo menos de una magnitud de dos grados más grave que cualquier otra respuesta. Pero si la persona expuesta a riesgo es una entre un millón, las molestias o enfermedades de 999,999 personas puede ser tan importante como la muerte de una.

Si la gravedad pudiera cuantificarse sin la intervención de juicios de valor, en la clasificación de la importancia se podrían tener en cuenta *todos* los síntomas y *todas* las personas moderada o gravemente afectadas. El valor de importancia para un grupo determinado sería:

$$I = \frac{\frac{1}{n} \sum_{x=1}^n Sx}{\frac{1}{N} \sum_{x=1}^N Sx}$$

Quizá el Sx podría sustituirse por una cantidad en dólares. Esta cantidad sería un promedio ponderado con los ingresos de lo que la población estaría dispuesta a pagar en forma de impuestos adicionales para evitar una determinada gravedad (o síntoma) y sus consecuentes sufrimientos y gastos.

Mientras no se pueda cuantificar la gravedad sin tendenciosidad, los mejores estimados (locales) de la importancia serán aproximadamente los siguientes (en cifras redondas):

Público general	1
Industrias que exigen fuertes trabajos físicos	2
Parques de recreo que permiten ejercicios de gran esfuerzo	10
El grupo de los ancianos	10
Hospitales (generales)	10
El grupo de los casos cardíacos y de enfermedades respiratorias	50

Las categorías de importancia para otros grupos pueden establecerse con aproximaciones apropiadas. Por ejemplo, muchas escuelas permiten ejercicios vigorosos en el patio de recreo. Así, la categoría de importancia para las escuelas debería ser aproximadamente la misma que la de los parques de recreo que permiten un ejercicio de gran esfuerzo.

Las categorías de importancia, utilizadas debidamente, pueden contribuir a reducir al mínimo los efectos de la contaminación atmosférica. El producto, el número de personas de un grupo multiplicado por el valor del grado de importancia que se le asigna, debe reducirse al mínimo posible. Por ejemplo, si hay que tomar una decisión acerca de la utilización de un terreno situado a unos 60 metros de una carretera (o una fuente de contaminación), y si en el terreno se va a construir un almacén (con 100 obreros que se dedicarán a trabajos físicos pesados) o un hogar para ancianos (con 50 residentes), el producto será $100 \times 2 = 200$ en el caso del almacén y $50 \times 10 = 500$ en el del hogar. Por consiguiente, el efecto de la contaminación atmosférica se reduciría al mínimo si se diera preferencia al almacén.

Resumen

En este artículo el valor importancia se define como una razón de probabilidades de riesgo. Si un grupo tiene una probabilidad de ser afectado x veces más que una población determinada, el valor de importancia para el grupo es x . Se derivan también grados de importancia para distintos grupos del condado de San Bernardino, California. Estos grados se están utilizando como guía para las decisiones acerca de la utilización del terreno, a fin de reducir al mínimo el efecto de la contaminación atmosférica sobre la salud. □

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento a los doctores G. Goude, G. Fitzgerald, R. Zweig, G. Schaefer y P. Gold por su interés en el estudio y la asistencia prestada.

REFERENCIAS

- (1) Agencia para la Protección del Ambiente, E.U.A. The Economic Damages of Air Pollution. EPA 600/5-74-012, págs. 3, 65, 128-132, mayo de 1974.
- (2) Fusfeld, A. y R. Foster. The Delphi Technique: Survey and Comment. *Business Horizons*. págs. 66-74, junio de 1971.
- (3) Taylor, C. M. *Food Values in Shares and Weights*. The Macmillan Company: Nueva York, 1959.
- (4) Mortality Statistics, 1972-1974, San Bernardino County, California.
- (5) Secretaría de Salud, Educación y Bienestar, E.U.A. Current Estimates from the Health Interview Survey—United States—1973. Table 14. DHEW Publication No. (HRA) 75-1522. Health Resources Administration, National Center for Health Statistics. Rockville, Md. Octubre de 1974.

Land-use decisions: ratings to minimize the impact of air pollution on health (Summary)

As defined in this article, importance rating is a ratio of risk probabilities: If a group is x times more likely to be drastically affected than a given population, the importance rating for the group is x . Importance ratings were also derived for different

groups in San Bernardino County, California. These ratings are being utilized to guide land-use decisions so as to minimize the impact of air pollution on health.

Decisões sobre a exploração de terras: Classificações para minimizar o efeito da contaminação do ar sobre a saúde (Resumo)

No presente artigo, define-se a classificação por importância como razão de probabilidade de risco. Se a probabilidade de afecção de um grupo é x vezes maior do que a de uma determinada população, o valor de importância para o grupo é x . Também se inferem índices de importância

para diferentes grupos do Condado de San Bernardino, California. Esses índices estão sendo utilizados para orientar as decisões sobre a exploração de terras, a fim de reduzir ao mínimo o efeito da contaminação atmosférica sobre a saúde.

Décisions sur l'utilisation du terrain: classifications pour réduire au minimum l'effet de la pollution de l'air sur la santé (Résumé)

Le présent article définit la valeur d'importance comme étant un rapport de probabilités de risque. Si un groupe a une probabilité d'être affecté x fois plus qu'une population déterminée, la valeur d'importance pour le groupe est x . L'auteur en déduit

aussi les degrés d'importance pour divers groupes du comté de San Bernardino, Californie. Ces degrés sont utilisés comme guide des décisions concernant l'utilisation du terrain afin de réduire au minimum l'incidence de la pollution de l'air sur la santé.