



Desarrollo de una técnica para la cuantificación del gas metano mediante sensor arduino

Development of a technique for methane gas quantification using an arduino sensor

Pantoja, Rafael^{†1}; Travezan, Diana¹; Hinostroza, Marino¹

¹Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional del Centro del Perú

Cómo referenciar:

Pantoja, R.; Travezan, D.; Hinostroza, M. (2020). Desarrollo de una técnica para la cuantificación del gas metano mediante sensor arduino.

Prospectiva Universitaria Ciencias Agrarias, 1(1), 20-26.

Resumen

Se desarrolló una prototipo para la medición de gas metano mediante un sensor arduino, para ellos se aplicó el método de sensor calefactor MQ-4, el cual se acopló perfectamente con el sistema arduino UNO, y resultó ser muy sensible al gas metano. Para la obtención de metano inicialmente se propuso la implementación de un mini biodigestor de lo cual no se pudo aislar el gas debido a su inestabilidad y baja producción, por lo cual se desestimó este método de obtención, la obtención de metano se realizó por reacción química entre cal soda y acetato de sodio, dando un gas puro sin la presencia de otros gases. De este gas se elaboró diluciones con gas helio a fin de poder contar con mediciones exactas entre un medidor estándar modelo MX6 iBrid y el prototipo diseñado. Finalmente, se pudo obtener lecturas del medidor estándar y por ajuste de la ecuación en el arduino se pudo corregir el factor, el cual mostró en pantalla lecturas similares al equipo estándar, para luego realizar el ajuste mediante la ecuación de la recta, obteniéndose un equipo con rango de medición de 0 a 5% de volumen.

Palabras clave: medición de gas, metano.

Abstract

A prototype was developed for the measurement of methane gas by means of an arduino sensor, for which the MQ -4 heating sensor method was applied, which was perfectly coupled with the arduino UNO system, and proved to be very sensitive to methane gas. To obtain methane, initially the implementation of a mini biodigester was proposed, but it was not possible to isolate the gas due to its instability and low production, so this method of obtaining methane was discarded. The methane was obtained by chemical reaction between soda lime and sodium acetate, giving a pure gas without the presence of other gases. Dilutions of this gas were made with helium gas in order to have accurate measurements between a standard MX6 iBrid model meter and the designed prototype. Finally, it was possible to obtain readings from the standard meter and by adjusting the equation in the arduino it was possible to correct the factor, which showed on the screen readings similar to the standard equipment, to then make the adjustment using the equation of the straight line, obtaining an equipment with a measurement range of 0 to 5% of volume.

Keywords: gas measurement, methane.

1 Introducción

El medio ambiente actualmente está siendo afectado por varios sectores de la industria y así también por actividades agrícolas y el desarrollo pecuario que han generado emisiones de metano, a la atmósfera como consecuencia de la digestión ruminal de los animales en especial de los vacunos. El incremento de las emisiones de este gas provoca alteraciones en la temperatura de la superficie de los campos y ciudades con la posible reducción de la capa de O₃ en la estratosfera (Tejido et al., 2002). Hay también otro gas que altera la temperatura de la tierra y se considera principalmente al CO₂ como el que presenta mayor volumen provocando una mayor alteración al proceso del calentamiento global. Los volúmenes de metano son menores a los de CO₂, cabe señalar que el metano, cada vez se incrementa y presenta una alteración mayor a 25 veces como contaminante en referencia al CO₂. (Primavesi et al., 2004). La evaluación mundial de estos gases permite expresar que ha provocado un cambio drástico en el ambiente lo cual se ajusta a una ecuación de tipo exponencial (González & Rodríguez, 1999). Hay información que refiere que volúmenes superiores a los 550 millones toneladas métricas por año de CH₄ se van acumulando a la atmósfera debido a actividades desarrolladas por el humano y procesos naturales. Como va avanzando este incremento se predice que el gas CH₄ represente entre el 15% - 17% de los efectos de temperatura global. Kurihara et al. (1999), refieren que los volúmenes de gas CH₄ generado por el ganado vacuno, se estiman en más de 55 millones de toneladas por año, lo que representa un incremento mayor al 70% de un total de 80 millones de emisiones de las especies doméstica que generan gases. McCaughey et al. (1999), informaron que especies domésticas como el ganado vacuno contribuyen con aproximadamente en un 15% de la producción global de metano. De manera natural también se considera a los pantanos aportando un 21%, las siembras de arroz con un 20%, la quema de biomasa con 10%, los rellenos sanitarios en 7% y los residuos por combustión de hidrocarburos en 14%.

La medición del metano fue muy complicado por su fácil difusión, sin embargo, actualmente hay métodos como la espectroscopía infrarroja, la cromatogra-

fía de gases, la espectroscopía de masa y ópticas como el diodo láser, las cuales son muy costosas (Johnson & Johnson, 1995). Las mediciones de metano son difíciles de realizar sin cámaras respiratorias; una alternativa es estimar el metano a través de cálculos o a través de alguna metodología que permita primero detectar y luego medir la presencia de metano. El trabajo realizado mediante este proyecto consistió en diseñar un instrumento capaz de detectar y luego estimar el porcentaje de metano utilizando para ello sensores de metano a los cuales se incorporó un sistema arduino uno, el cual a través de una programación se pueda cuantificar la presencia de metano ambiental que proceda de fuentes que generen este tipo de gas

2 Materiales y Métodos

2.1 Procedimiento

El estudio se realizó en los laboratorios de microbiología y nutrición animal de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional del Centro del Perú, tuvo una duración de un año en el cual se desarrollaron diversas técnicas a fin de lograr un diseño confiable en la medición del gas metano.

Debido a que se realizaron varias pruebas de obtención de metano purificado para poder elaborar concentraciones estándares y así poder estimar la concentración de metano, se tuvo que desestimar el método por biodigestor, ya que la síntesis del gas metano era muy prolongado además de ser muy pobre en su contenido, lo cual no permitió la elaboración de patrones de medición. Por esta razón, se tuvo que utilizar el método por reacción química directa entre la cal sodada y el acetato de sodio de forma sólida y por calentamiento controlado, a fin de poder recoger el metano puro y así poder elaborar los patrones de medición.

2.2 Muestreo

Se preparó una solución de cal sodada, mezclando 2.5 g de NaOH y CaO, el cual se reservó en un recipiente unos segundos antes de iniciar la reacción.

Para la síntesis de metano, se preparó un tubo de prueba de 25 x 200 mm en el cual se llenó 2.5g de acetato de sodio más 2.5g de cal sodada recién pre-

parada. Se acondicionó un tubo de desprendimiento con un tapón de jebe hermético, el cual se colocó en el soporte universal a unos 45 grados inclinación, luego se procedió a calentar la base del tubo con un mechero bunsen graduado a media intensidad.

Para la captura del gas metano, se introdujo el tubo de desprendimiento dentro del cuello del globo de goma debidamente asegurada con una liga de jebe gruesa, la reacción de los compuestos hizo que el globo se cargue con gas metano gracias a la reacción térmica durante 4 minutos aproximadamente.

2.3 Mediciones

Para el diseño del prototipo en estudio, fué necesario contar con una batería de concentraciones de gas metano, para lo cual se tuvo que diseñar una técnica rápida sencilla, pero a la vez estable, para purificar el gas metano obtenido con la reacción anterior; para ello se hizo pasar este gas a través de un líquido que contenía hidróxido de calcio al 2%, cuya finalidad fué atrapar el gas CO_2 que pudiese aparecer en el proceso de calentamiento de la reacción.

Luego de contar con el gas metano puro, se preparó volúmenes de gas metano a diferentes diluciones con gas helio; para ello se tomaron jeringas descartables de 20 mL a los cuales se adicionó una cantidad fija de gas metano para luego añadirle gas helio variando las cantidades a fin de obtener diluciones estables según la tabla 1.

Tabla 1
Diluciones de Gas Metano

Nº	Solvente He ^a	Soluto CH_4 ^a	Concentración CH_4
1	10	5	0.833
2	10	4	0.800
3	10	3	0.750
4	10	2	0.667
5	10	1	0.500
6	20	1	0.333
7	30	1	0.250
8	40	1	0.200
9	50	1	0.167
10	60	1	0.143

Nota. Procesos de diluciones de gas metano con helio.

^a Valores en volumen.

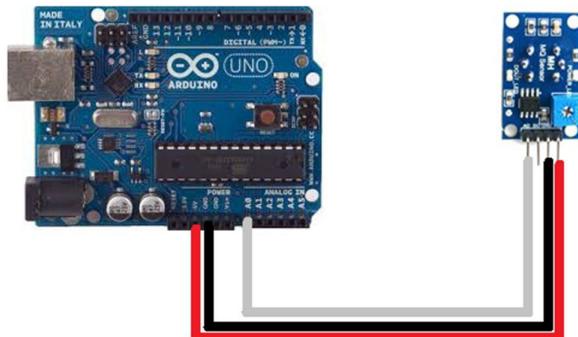
2.3.1 Construcción del Prototipo

Para el diseño del prototipo de medidor de gas metano se utilizó el sensor de gas MQ-4, aplicado para equipos de detección de fugas de metano en cocinas o su uso en la industria de gas natural LNG. Este sensor tuvo las siguientes características:

- Muy sensible al metano
- Poca sensibilidad al alcohol
- Respuesta veloz
- Muy estable y larga vida
- Circuito que incluye un módulo adaptable
- Sensor de gas de tipo CNG, principalmente metano (CH_4) como vapores de gasolina, diesel etc.
- Fuente a 5 voltios de corriente directa
- Temperatura de operación de -10 a 50 °C
- Consumo menor a 900 mili watts
- Rango de concentración de 300 a 10 000 ppm
- Sensibilidad R_s (aire) / R_s (1000 ppm C_4H_{10}) > 5

Para el desarrollo del prototipo se consideró el sensor descrito anteriormente y este acoplado a un sistema de procesamiento mediante la tarjeta arduino UNO, el cual tiene por finalidad detectar señales muy pequeñas del módulo del sensor de gas y mediante voltaje comparativo ingresar los valores detectados al chip procesador en el cual se halla el programa informático que a su vez procesa los datos los calcula mediante una fórmula en bits para luego exponer los resultados en un visualizador el cual puede ser mediante el programa de computadora o cualquier medio de visualización digital externo, para el trabajo se utilizó tanto el de la computadora como un display de 7 segmentos x 4 dígitos según el esquema de la figura 1.

Figura 1
Esquema del Prototipo



2.3.2 Salida Analógica

Para que el programa pueda entregar los resultados vía analógica se tiene que cargar el programa según se muestra en la figura 2.

Figura 2
Salida Analógica

```
int pin_mq = 2;
void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(pin_mq, INPUT);
}
void loop() {
boolean mq_estado = digitalRead(
    pin_mq); //Leemos el sensor
if(mq_estado) // si la salida del
    sensor es 1
{
Serial.println("Sin presencia de
    alcohol");
}
else // si la salida del sensor
    es 0
{
Serial.println("Alcohol
    detectado");
}
delay(100);
}
```

Cabe señalar que el uso de una salida digital es diferente a una salida analógica, ya que en esta se puede

modificar diferentes niveles de concentración de metano y poco a poco escalarlo según la necesidad del diseñador. El programa para reconocer y activar el MQ-4 se muestra en la figura 3.

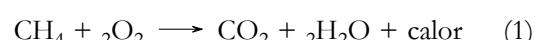
Figura 3
Salida Analógica

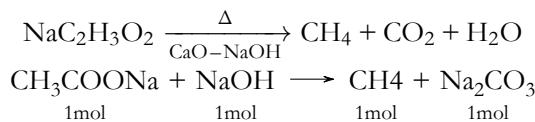
```
void setup()
{
Serial.begin(9600);
}
void loop()
int adc_MQ = analogRead(A0); // Lemos la salida analógica del MQ
float voltaje = adc_MQ * (5.0 /
    1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
Serial.print("adc:");
Serial.print(adc_MQ);
Serial.print(" voltaje:");
Serial.println(voltaje);
delay(100);
}
```

Porque se trabajó con salida analógica, éste código también puede ser usado para otros tipos de sensor MQ lo que se debe cuidar es el tipo de gas y las concentraciones mínimas o máximas. Hay que tener precaución durante el proceso de calentamiento, ya que al ingresar el metano hasta lograr la temperatura adecuada demora unos segundos y lógicamente que el sensor seguirá detectando pequeños residuos de metano, lo cual se notara por la disminución de los valores llegando a cero indicando que ya no existe más gas residual.

3 Resultados

Una vez iniciada la reacción química en la síntesis de gas metano, y su verificación mediante combustión con llama de color azul por su oxidación a CO_2 y H_2O se tuvo la ecuación siguiente:





La ecuación ya balanceada permitió predecir la cantidad de metano que se puede producir al hacer reaccionar una determinada cantidad de reactivos para su generación; de esta forma, considerando que 82.033 g de CH₃COONa producen 16.042 g de CH₄, entonces 2.5 g de CH₃COONa dan 0.489 g de CH₄, equivalente a 489 ppm.

3.1 Resultados de medición

En la tabla 2 se muestran las lecturas de los dos equipos utilizados en la medición de metano. El medidor estándar correspondió a un equipo estandarizado, fué un detector de gases modelo MX6 iBrid, el cual tuvo una lectura máxima de metano ambiental de un 5%. Razón por la cual se tuvo que trabajar con este rango de concentraciones. Las lecturas correspondientes al prototipo dieron lecturas muy cercanas al estándar, quizás se deba al tipo de contacto del gas con el sensor, ya que para el caso del equipo estándar el sensor se ubicó dentro de un tubo al cual se insufló el gas, mientras que para el sensor del prototipo este se halló expuesto de forma libre.

Tabla 2
Lecturas de Metano

Nº	Soluto ^a CH ₄	Solvente ^a He	Concentración CH ₄	Medidor ^b	Prototipo ^b
1	5	10	0.83	4.80	5.2
2	4	10	0.80	4.00	4.8
3	3	10	0.75	3.20	3.6
4	2	10	0.66	2.50	3.1
5	1	10	0.5	1.50	1.9
6	1	20	0.33	0.95	1.2
7	1	30	0.25	0.86	0.89
8	1	40	0.20	0.80	0.86
9	1	50	0.16	0.70	0.74
10	1	60	0.14	0.65	0.72

Nota. Lecturas de metano en el medidor estándar y en el prototipo.

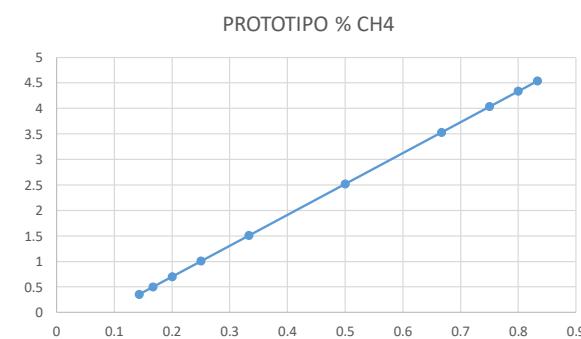
^a Valores en volumen, ^b valores en porcentaje.

En la figura 4, se aprecia las curvas de lectura de ambos equipos demostrando una variación DS 1.53 y 1.74 entre ellos los cuales nos podría permitir asumir que el prototipo puede dar lecturas similares al del equipo estándar.

3.2 Ecuación para curva patrón

Para poder obtener una curva lineal, ya que estos sensores según sus características presentan curvas lineales, se procedió a realizar el ajuste según lo siguiente: $Y = 6.0602X + (-0.5126)$

Figura 5
Curva Patrón Para Prototipo



4 Discusión

Actualmente, hay varios métodos para la detección y medición del metano y muchos fabricantes coinciden que los métodos deben ser más precisos para cuantificar emisiones anuales de metano debido a que las emisiones no son solo del momento, sino que están en función al tiempo.

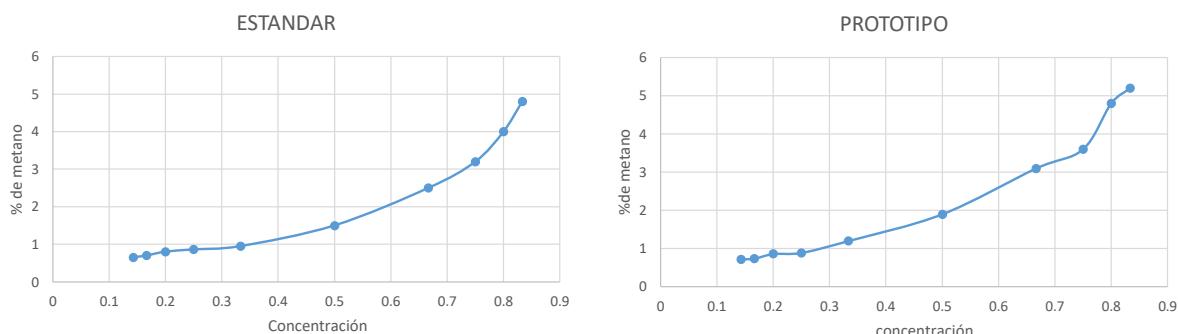
Lógicamente que la mayor certeza sobre los niveles de emisiones de metano dependerán mucho de costos y beneficios económicos, lo cual permite tomar decisiones basadas en hechos y datos de campo precisos.

Por ejemplo el detector láser de metano (LMD) se ha propuesto como un método para caracterizar las emisiones de metano entérico (CH₄) de los animales en un entorno natural. Para validar el uso de LMD, sus salidas de CH₄ (LMD-CH₄) se compararon con el CH₄ medido con cámaras de respiración (cámara-CH₄). El LMD se usó para medir la concentración de CH₄ ($\mu\text{L}/\text{L}$) en el aire exhalado de 24 ovejas lactantes y 72 novillos de acabado.

En ambos experimentos, la cámara-CH₄ se explicó mejor mediante modelos con la duración de los eventos de eructo (tiempo) y los valores máximos de concentración de CH₄ durante los eventos de respiración ($\mu\text{L}/\text{L}$; $P < 0.01$). La correlación entre los méto-

Figura 4

Curva de lectura del medidor estándar y Prototipo



dos difirió entre los períodos de observación, lo que indica que los mejores resultados de la LMD se observaron de 3 a 5 h después de la alimentación. Dado el corto tiempo y la facilidad de uso de LMD, existe un potencial para su aplicación comercial y estudios de campo.

El modelo RM5000 es un detector laser de metano hasta 150 metros su rango de medición es de ppm. a 99999 ppm., su costo se halla por \$5500 dólares. El modelo JJB30 es un detector de gas portátil su rango de medición es de 0 a 5% en volumen, su costo se halla por los \$12000 dólares. El modelo tinselpro es un detector de gas metano cuyo rango de medición se halla entre 0 y 999 ppm es de bajo costo se halla por los \$1200 dólares.

Considerando las condiciones ambientales del punto de origen del gas, CCAC (2019) refiere que hay diversos tipos de detectores, el tipo Optical leak imaging (IR camera) es estrictamente para mediciones en turbinas, solo requiere el cambio de lentes con el tiempo su costo se halla por los \$115000 dólares. El Laser Leak Detector (RMLD), solo detecta metano hasta una distancia máxima de 30 metros. Útil para detectar fugas de metano originadas de fuentes difíciles de alcanzar y / o en todo terreno difícil. Su rango de medición es de 0 a 99,999 ppm. Pero su costo está por \$ 25 000 dólares. El Toxic Vapor Analyzers Mide concentraciones de vapor orgánico sobre 10,000 ppm, en combinación puede medir la concentración de metano en el área que rodea una fuga en un gran rango. Las concentraciones se pueden convertir en una aproximada. Tasas de emisiones masivas mediante correlación con ecuaciones SOCMI es lento y

requiere calibración frecuente. Su costo se halla por los \$13000 dólares. Los Medidores De Gas En Turbinas solo trabajan con flujos superiores o iguales a 0,283 m³ estándar/ minuto o 10 scf / minuto No trabajan fuera del sistema su costo se halla por los \$4000 dólares.

Para el presente diseño se tuvo que realizar varias pruebas en especial para la obtención de gas metano, por ejemplo se trabajó con la implementación de un mini digestor anaeróbico para la obtención de gas CO₂/CH₄, pero debido a su muy prolongado tiempo de obtención de metano y además de ser muy inestable, se dio por eliminado este método de obtención, además de contener varios gases como CO₂, NH₃, los cuales interfieren en un proceso de medición de gas metano.

El prototipo desarrollado se halla dentro de los medidores de baja concentración con la provisión de un sensor tipo MQ-4 el cual puede realizar mediciones de mayor concentración, pero debido a la falta de un referente o equipo patron con rango de mediciones mayores no se trabajó mayores concentraciones, razón por la cual el prototipo tiene un rango de operación ajustado hasta 5% de gas metano o sus valores en ppm de 0 a 5000, aparte de considerarse como instrumento portátil de bajo costo, el cual está por los \$800 dólares en componentes y ensamblaje sin considerar los estudios y pruebas de calibración. La técnica empleada fue mediante sensor calefactor el cual vaporiza el gas, que corresponde a los de tipo conductividad térmica, dando una diferencia de potencial que es detectada por el procesador del sistema arduino y convertida en valores de porcentaje a tra-

vés de un factor de corrección y conversión el cual es incorporado en la programación del sistema arduino UNO.

El proyecto permite facilitar el acceso a sensores de detección de gases para así prevenir la presencia de gas metano al medio ambiente. Se puede expresar que hay limitaciones las cuales pueden ser que: Los sensores a usarse son menos sofisticados que los que se usan en industrias son más especializadas y de mayor precio. También limita nuestro rango, en donde no podríamos detectar una concentración muy baja o muy alta del gas en el caso de la síntesis de gas metano vía metabólica o química lo que impediría realizar mediciones fuera de rango, además de la precisión de la lectura y el tiempo de circulación del mismo. Además de esta utilidad, el sistema se presta para distintas áreas entre ellas el de detectar gas metano en un espacio determinado, como sabemos el metano es un gas que produce combustión inmediata, el sistema podría detectar esos niveles y dar alerta. También puede de tener utilidad en el área agrícola, para monitorear procesos biotecnológicos para la obtención de gas a partir de residuos orgánicos y también incorporar este instrumento en equipos más sofisticados como lo es la fermentación in vitro en los estudios de degradación digestiva simulada diseñando nuevos alimentos para diferentes especies de carácter pecuario.

5 Conclusiones

1. Se logró elaborar una técnica para la cuantificación del gas metano mediante un sensor arduino.
2. Se logró aislar y purificar el gas metano, utilizando una reacción química entre la cal sodada y acetato de sodio lo cual permitió obtener el gas metano de manera pura.
3. Se logró construir un prototipo con sensor de metano en el sistema arduino el cual por ajuste lineales se tiene una curva patron fiable para rangos entre 0 y %5 en volumen

6 Recomendaciones

1. Realizar pruebas de sensibilidad para determinar la distancia de detección.

2. Realizar pruebas para lugares de difícil acceso como tuberías, sótanos, etc. a fin de acondicionar un tubo para la captura de gas.
3. Realizar mediciones con más altas concentraciones de metano ya que con el estándar que su tuvo solo se manejó hasta un 5% en vol. de metano.

Referencias

- González, F., & Rodríguez, H. (1999). *Proyección de Las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI): Colombia 1998-2010*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483-2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Kurihara, M., Magner, T., Hunter, R. A., & McCrabb, G. J. (1999). Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *British Journal of Nutrition*, 81(3), 227-234. <https://doi.org/10.1017/S0007114599000422>
- McCaughey, W. P., Wittenberg, K., & Corrigan, D. (1999). Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 79(2), 221-226. <https://doi.org/10.4141/A98-107>
- Primavesi, O., Frighetto, R. T. S., Pedreira, M. D. S., Lima, M. A. D., Berchielli, T. T., & Barboza, P. F. (2004). Metano Entérico de Bovinos Leiteiros Em Condições Tropicais Brasileiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(3), 277-283. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011>
- Tejido, M., Ranilla, M., & Carro, M. (2002). In vitro digestibility of forages as influenced by source of inoculum (sheep rumen versus Rusitec fermenters) and diet of the donor sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 97(1-2), 41-51. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00012-3)