

Higiene Industrial-Evaluación de la Exposición

Estrategia de Muestreo de “Peor Caso” vs. Muestreo Aleatorio

Texto Original: Industrial Hygiene Exposure Assessments “Worst-case” versus random sampling”- Jerome Spear CIH.

Traducción y Adaptación: Alvaro Araque Garcia: Ingeniero Químico. Especialista en Seguridad e higiene Industrial; Luis Guillermo Araque Muñoz: Ms Prevención de Riesgos Laborales. Especialista en Higiene Industrial.

La evaluación de la exposición en HIGIENE INDUSTRIAL es el proceso mediante el cual se determina el perfil de exposición de una persona a un agente químico o físico. Para medir la exposición real de un trabajador a un contaminante químico por ejemplo, se requiere de un monitor que debe ser colocado próximo a su zona de respiración todos los días, lo cual en muchos casos supone una inversión significativa.

Dado que a menudo no es posible (o práctico) medir la exposición real de cada persona a cada agente químico o físico, los juicios sobre la aceptabilidad de la exposición se basan en una estimación de la dosis de la persona mediante un muestreo representativo.

La estrategia de evaluación de la exposición empleada estará en función del propósito y el objetivo de vigilancia o control de la exposición, así como de lo que la(s) muestra(s) puedan representar para poder tomar decisiones adecuadas. Los dos tipos de estrategias de muestreo consideradas en la higiene industrial para la determinación de la exposición son el muestreo del “peor caso” y el muestreo aleatorio, cuya principal diferencia es que la estrategia de peor caso implica mayor subjetividad que el enfoque de muestreo aleatorio.

En el muestreo de peor caso los trabajadores que subjetivamente se consideran tienen los mayores niveles de exposición no son seleccionados aleatoriamente. Si la muestra del peor de los casos no supera el límite permisible de exposición ocupacional (TLV) el higienista podría estar subjetivamente seguro (sin la confianza estadística) de que el perfil de exposición es aceptable. Por ejemplo, una exposición de peor caso puede ocurrir en un día en el que la tasa de producción de la empresa sea la máxima. Este día se consideró (subjetivamente) como el período de exposición más desfavorable y se destinó para la evaluación, el perfil de exposición entonces se considerara para el establecimiento de medidas de control para todos los trabajadores.

Una estrategia de muestreo aleatorio requiere en primer lugar que los trabajadores se encuentren organizados en Grupos de Exposición Similar (GES) y que los periodos de muestreo sean seleccionados al azar; por ende, los datos de exposición se someten así a un análisis estadístico. Las decisiones sobre la aceptabilidad del perfil de exposición, se pueden determinar entonces con un nivel de confianza conocido basado en la distribución de la muestra, su tendencia central y la dispersión de los datos.

Las aplicaciones de una estrategia de muestreo aleatorio incluyen:

- Descripción de la concentración ponderada en un periodo de la jornada de trabajo, por ejemplo 8 horas (TWA) para un solo trabajador o un GES.

- Descripción de la concentración en un periodo de 15 minutos (STEL) para un solo trabajador o GES.

Ambos tipos de estrategias de muestreo tienen ventajas y limitaciones. La principal ventaja de utilizar una estrategia de peor caso es que se deben tomar menos muestras, por lo que resulta más rentable y se requiere menos tiempo que un enfoque aleatorio de muestreo.

La limitación del muestreo de peor caso es que requiere de un higienista industrial experto para reconocer las condiciones más desfavorables, que pueda incluir el juicio profesional sobre la tarea específica y/o unas prácticas de trabajo específicas.

Sin embargo, ya que el juicio de una persona (el higienista) podría no ser tan buena como se percibe, las muestras de peor caso tomadas (es decir, las condiciones más críticas) probablemente podrían estar basadas en sesgos inherentes a esta persona. Como resultado de ello, no es posible medir la precisión de las muestras del peor caso (Albright, et al 329).

Las conclusiones acerca de la exposición también incluirá los posibles sesgos de juicio sobre las condiciones de trabajo, las prácticas laborales y/o otras condiciones que se cree que tienen un impacto en la exposición. El muestreo aleatorio elimina estos sesgos ya que las muestras de la población son seleccionadas al azar. Como resultado, la variabilidad de los datos (debido a las variaciones de las condiciones de trabajo y circunstancias de exposición entre los trabajadores, día a día, etc.) se mide y se utilizan para estimar los parámetros de exposición. Así, una estrategia de muestreo aleatorio se basa en un análisis objetivo del GES. La Tabla 1 presenta una comparación de los dos tipos de estrategias de muestreo.

Tabla 1.

Estrategias de Evaluación en Higiene Industrial Peor Caso versus Muestreo Aleatorio

Estrategia de Muestreo	Ventajas	Limitaciones
Peor Caso	Pocas Muestras para Tomar una Decisión No se requieren habilidades en Estadística	El Juicio de Valor estima el escenario de peor caso. Dificultad en caracterizar el real peor caso Requiere un análisis detallado de las condiciones de trabajo y circunstancias de exposición. Las decisiones se toman sin un conocido nivel de confianza
Muestreo Aleatorio	La exposición caracterizada cuenta con un nivel de confianza. Es considerada una estrategia mas defendible considerando que el resultado se basa en un análisis objetivo.	Mas muestras son requeridas para determinar el perfil de exposición del grupo. Toma mas tiempo interpretar y analizar los resultados de muestreo.

Perfiles de Exposición: Un proceso de ocho pasos

Estadísticamente hablando, siempre es posible tomar una decisión equivocada, no importa el grado de confianza que uno tenga. Sin embargo, la cuantificación del nivel de seguridad a través de una estrategia de muestreo aleatorio maximiza las posibilidades de tomar la decisión correcta. Con la disponibilidad de herramientas especializadas como aplicaciones para procesamientos estadísticos, gran parte del trabajo pesado estadístico está automatizado, lo que hace más fácil emplear una estrategia de muestreo aleatorio. Varios términos y consideraciones estadísticas deben entenderse y tenerse en cuenta cuando se utiliza este enfoque. Estas se describen en el siguiente proceso de ocho pasos para determinar el perfil de exposición.

Paso 1: Identificar el perfil del GES

La consideración clave de categorizar el GES está en seleccionar el grupo de exposición a fin de minimizar la variación entre las muestras, de lo contrario, los intervalos de confianza resultantes (calculado a partir de la media y la varianza) serán demasiado amplios para ser útiles. Un GES puede ser un solo trabajador que realiza una única tarea, sin embargo, a menudo es poco práctico realizar un muestreo aleatorio para cada trabajador.

Un enfoque más razonable consiste en incluir varios trabajadores que tienen exposiciones similares. Por ejemplo, los trabajadores asignados a operar montacargas que utilizan un combustible líquido para izar materiales en una bodega pueden ser agrupados bajo condiciones similares por el hecho de encontrarse expuestos a monóxido de carbono. Si varios GES se conforman, hay que idear un método para jerarquizar las necesidades de recopilación de datos. El texto de la AIHA *A strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures*, proporciona un método para el estudio basado en la propiedad peligrosa de los agentes, las condiciones del entorno de trabajo y la probabilidad de influir en las exposiciones así como las prácticas de trabajo individuales. (Mulhausen y Damiano 89-101).

Paso 2: Seleccionar Aleatoriamente los Trabajadores y los Periodos de Exposición dentro del GES conformado.

Un muestreo aleatorio es aquel en donde cada trabajador y cada periodo de tiempo de trabajo tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Es importante recoger estas muestras de la forma más aleatoriamente posible, de lo contrario, las estadísticas resultarán sesgadas. Una tabla de números aleatorios y/o la función de números aleatorios en una hoja de cálculo (por ejemplo, Microsoft Excel) son herramientas útiles en este proceso. Otra consideración es el número de muestras que deben ser tomadas para que el perfil de la exposición sea útil.

La respuesta depende de varios factores, incluyendo la variabilidad de la muestra. Sin embargo, AIHA recomienda entre seis y diez muestras (Mulhausen y Damiano 106) como necesarias para realizar un perfil de exposición de línea de base o de referencia.

Paso 3: Recolección de muestras de los trabajadores seleccionados al azar

Las muestras de contaminantes químicos deben recogerse cerca de la nariz y la boca del empleado. La zona de respiración se puede visualizar como un hemisferio de unas seis a nueve pulgadas alrededor de la cara del empleado. Las personas encargadas del monitoreo de los trabajadores seleccionados deben tener claro tanto la naturaleza de la

tarea o proceso en el que el agente se utiliza o se genera, como los conceptos básicos de los métodos y técnicas de muestreo de campo y análisis.

Aunque la capacitación formal y/o formación práctica en técnicas de muestreo y los métodos analíticos ofrecen elementos básicos para tomar adecuadamente la muestra, la experiencia profesional resulta imprescindible. Varias fuentes de información son útiles para identificar los métodos de toma de muestra y análisis. Estos incluyen el *manual técnico de operaciones de campo de OSHA* y el *manual de métodos analíticos de NIOSH*.

De otra parte, un laboratorio acreditado AIHA puede proporcionar orientación e instrucciones sobre métodos de muestreo específicos.

Paso 4: Estadística descriptiva aplicada a una serie de datos

La estadística descriptiva incluye la media, la mediana, el porcentaje de muestras por encima del límite de exposición ocupacional (TLV), el rango y la desviación estándar, los cuales caracterizan la distribución de la muestra. La media y la mediana se usan para medir la tendencia central de los datos, mientras que el rango y la desviación estándar son medidas de la variabilidad.

Muchos conjuntos de datos se pueden interpretar simplemente utilizando estadística descriptiva. Cuando la mayoría de los datos se agrupan muy por debajo o bien por encima del TLV, la decisión sobre la aceptabilidad o no del lugar de trabajo se puede hacer con el uso de la estadística descriptiva (Mulhausen y Damiano 235). La media geométrica (MG) y la desviación estándar geométrica (DEG) son estadísticas descriptivas utilizadas para estimar los parámetros de una distribución logarítmica normal (lognormal) (ver paso 5). La MG es el antilogaritmo de la media aritmética de los valores logtransformados (ver cuadro abajo), corresponde al valor por debajo y por encima del cual se encuentra el 50 por ciento de los elementos en la población (es decir, la mediana de la población). Por otra parte la DEG (GSD) es el antilogaritmo de la desviación estándar de los valores log transformados (ver cuadro), abajo), es adimensional y refleja la variabilidad en la población en torno a la MG, por lo tanto, los intervalos de confianza tendrán una mayor extensión en la medida que aumente la DEG.

Calculando la Media Geométrica y la Desviación Estándar Geométrica

1. Transforme los datos iniciales en logaritmos naturales log (loge)

$$Y_i = \log(X_i)$$

Donde X_i = Datos Iniciales y Y_i = Valores Logtransformados

1. Calcule la media de Y y la Desviación Estándar Geométrica (s) de los datos logtransformados.
2. Tome el antilogaritmo de la media y el antilogaritmo de la desviación estándar de los datos logtransformados.

$$GM = \text{antilog}(Y) = e^{\bar{Y}}$$

$$GSD = \text{antilog}(s) = e^S$$

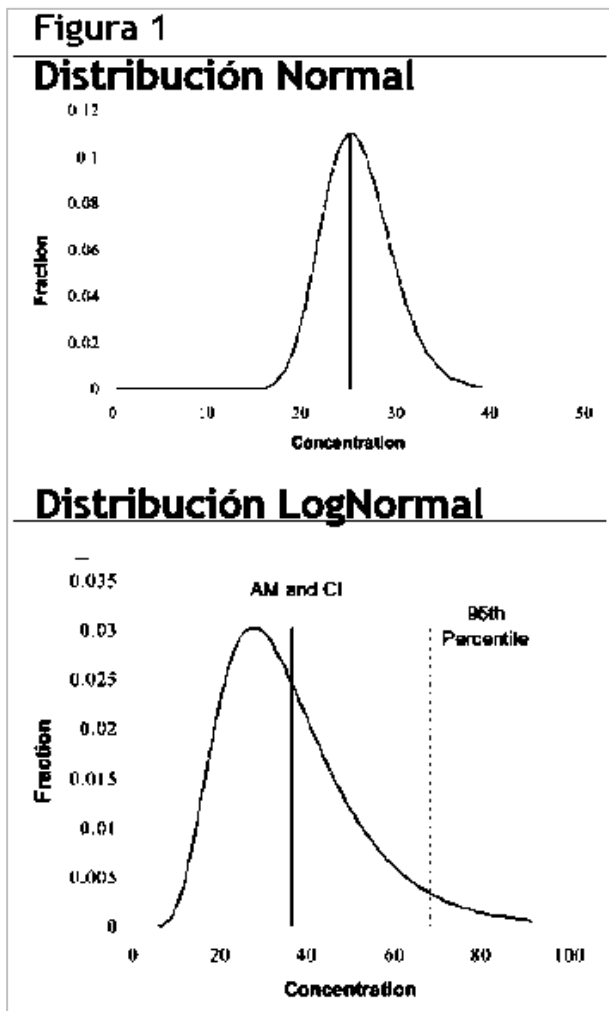
Paso 5: Determinar si los datos se ajustan a una distribución lognormal y/o a una distribución normal

Los límites superior e inferior de confianza (LCS y LCI, respectivamente) y el límite de tolerancia superior (LTS) se calculan con base en el conocimiento, o suponiendo una cierta distribución subyacente del conjunto de datos. El tipo de distribución (es decir,

normal o log normal) generará diferentes intervalos de confianza y límites de tolerancia.

Una variable aleatoria distribuida normalmente se llama de esta forma si la distribución (como se representa en un histograma) aparece como una curva en forma de campana (Figura 1). Sin embargo, los datos de muestreo en higiene industrial a menudo son "sesgados a la derecha" (Figura 2) ya que los valores de exposición profesional tienen un límite inferior (es decir, el valor de exposición medido no puede ser menor de cero).

Tomando el logaritmo de la variable a menudo se mitiga tal asimetría. En tales casos, la distribución se considera distribuida lognormalmente –o log normal- si el logaritmo de la variable es normalmente distribuida. La distribución logarítmica normal se aplica a menudo a exposiciones ocupacionales, sin embargo, la suposición de distribución logarítmica se verifica raramente (Waters, et al 493).



Si el tamaño de la muestra es grande, con un tamaño elevado de datos, éstos pueden ser visualizados mediante la creación de un histograma (es decir, el trazado de la frecuencia relativa de los elementos que están en intervalos especificados). Sin embargo, los datos de muestreo en higiene industrial a menudo consisten en conjuntos de datos pequeños con menos de 10 muestras, debido a los costos. Una forma para determinar cualitativamente si la distribución subyacente sigue una distribución lognormal y/o normal para tamaños de muestra pequeños es representando los resultados en papel de probabilidad.

Se sugiere una distribución log normal si los datos representados en el papel de probabilidad log normal muestran una línea recta, de la misma

forma se considera una distribución normal si los datos representados en papel de probabilidad normal muestran una línea recta. La identificación de las grandes desviaciones de la linealidad se basan en la valoración subjetiva al analizar la gráfica de probabilidad. El papel de probabilidad está disponible para varios tipos de distribuciones de muestra y los procedimientos de trazado se describen en el Apéndice I del manual de NIOSH *Estrategia de la Exposición Ocupacional* (Leidel, et al, 97-105).

Paso 6: Calculo de la media aritmética, LCS y LCI de la media aritmética, percentil 95 y LTS para un conjunto de datos

Media Aritmética Estimada. Para una distribución normal, la media aritmética estimada es la misma media de la muestra. Sin embargo, si los datos corresponden a una distribución lognormal, existen varios métodos para la estimación de la media aritmética y para calcular los límites de confianza. La media de la muestra y los límites de confianza de distribución t , tienen la ventaja de ser fáciles de calcular, aunque pueden ser más variables que otros estimadores (Mulhausen y Damiano 254). Otros de los métodos preferidos para la estimación de la media aritmética y el cálculo de los límites de confianza se describen en la AIHA *A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures*, (Mulhausen y Damiano 253-264).

LCS_{1, 95%} y LCI_{1, 95%} de la media aritmética. Cuando se evalúan agentes que producen enfermedades crónicas, la exposición media deberá ser determinada (Rappaport y Selvin 378). Sin embargo, al evaluar sustancias con efectos agudos (a corto plazo) el límite de tolerancia superior, LTS del percentil 95 es el estimador más recomendado. El LCS_{1, 95%} es un estimador estadístico del intervalo de confianza que representa el máximo valor con un nivel de confianza del 95%. Del mismo modo, el LCI_{1, 95%} es el valor inferior del intervalo con un nivel de confianza del 95%. Si el LCS_{1, 95%} está por debajo del valor límite, hay un nivel de confianza del 95% de que la exposición media de largo plazo está por debajo del valor límite.

Percentil 95. El percentil 95 es el valor en el que el 95 por ciento de la población esta incluida. Por ejemplo, la mediana es el percentil 50.

LTS95%,95%. Este es el límite de tolerancia superior del percentil 95 y se suele utilizar para determinar exposiciones de corta duración para efectos agudos. Para una distribución logarítmica normal, el LTS95%,95% se calcula utilizando la siguiente ecuación: $LTS_{95\%, 95\%} = e^{(Y + Ks)}$ (Mulhausen y Damiano 270-272) donde, Y y S son la media y la desviación estándar, respectivamente, de los datos logtransformados. K es un factor del límite de tolerancia que se obtiene de la combinación entre niveles de confianza, percentil y número de muestras.

Estimando la Media Aritmética y Calculo de Los Limites de Confianza

Múltiples técnicas pueden ser utilizadas para estimar la media aritmética y calcular los límites de confianza. La media de la muestra y los límites de confianza de distribución t , tienen la ventaja de ser fáciles de calcular pero pueden ser más variables que otros estimadores (Mulhausen and Damiano 254). La media de la muestra y los límites de confianza de distribución t , se calculan así

Paso 1. Calcule la media de la muestra (Y) y la desviación estándar de la muestra (s)

Paso 2. Calcule los límites de confianza

$$CL = Y \pm t(s/\sqrt{n})$$

Donde: el valor t puede encontrarse en la tabla t de student disponible en la mayoría de libros de estadística

$$LCS = Y + t(s/\sqrt{n})$$

$$LCI = Y - t(s/\sqrt{n})$$

Paso 3. Compare el LCS y el LCI con el TLV TWA

Paso 7: Tome una decisión sobre la aceptabilidad del perfil de exposición

Generalmente, cuando el $LCS_{1,95\%}$ supera el valor límite permisible se entiende que el perfil de exposición es inaceptable, mientras que cuando el $LCS_{1,95\%}$, se encuentra por debajo del valor límite sugiere que el perfil de exposición es aceptable. Para agentes con valores de referencia de corta duración por efectos agudos se tiene en cuenta el LTS del percentil 95.

Sin embargo, cuando se calcula el $LTS_{95\%,95\%}$ con pocos datos se tiende a producir un intervalo de confianza muy amplio, lo que limita su utilidad. Por tanto el estimador comparado con un valor límite de corta duración o techo sugiere que el perfil de exposición es aceptable si no lo supera.

Paso 8: Redefinir el GES

Los resultados del perfil de exposición pueden indicar que el grupo de exposición deba ser redefinido. Por ejemplo, puede encontrarse exposiciones más altas en ciertos individuos. Para probar estadísticamente la importancia de esta variación, un análisis de varianza (ANOVA) se puede realizar. El ANOVA es una prueba inferencial estadística que compara dos o más medias para determinar si las medias son significativamente diferentes. Si las medias son estadísticamente diferentes, el GES posiblemente debe ser redefinido.

Estudios de caso: Aplicación de estrategias de muestreo aleatorio

Para ilustrar el enfoque aleatorio, se presentan los siguientes dos estudios de caso. Uno describe cómo evaluar la exposición de un solo trabajador utilizando un método de muestreo aleatorio. El otro ejemplo implica la estimación de TWA en un turno completo basado en muestras aleatorias de corta duración.

Ejemplo 1: Estimación de la exposición a largo plazo de un solo empleado

Un empleador solicitó una evaluación de ocho horas de un empleado expuesto a formaldehído durante una tarea de fabricación. El primer paso en la evaluación de la exposición a los agentes ambientales es tener un conocimiento profundo de los procesos, las tareas y los contaminantes a ser estudiados. La información puede obtenerse a través de observaciones y posiblemente el uso de dispositivos de lectura directa. Las entrevistas con los trabajadores, gerentes, personal de mantenimiento y demás personal resulta relevante. Además, una revisión de los registros y documentos (incluidos los últimos datos de monitoreo de exposición), la literatura estándares del sector, y / o de otro tipo pueden proporcionar algunas ideas sobre la magnitud de las exposiciones a determinados procesos y tareas realizadas en el lugar de trabajo.

En este caso, el empleado opera un equipo para formar esteras de fibra de vidrio, material utilizado en el sector de la construcción. La posible exposición al formaldehído se identificó a través de la consulta de la MSDS de la resina utilizada en la fabricación de la estera. Para evaluar la exposición a este trabajador, utilizando una estrategia de muestreo de peor escenario, se recogió la muestra el día que se cree que se produce la mayor exposición al formaldehído. Los resultados del muestreo se utilizarían luego para derivar conclusiones basadas en criterios profesionales (y sesgos potenciales) de las condiciones más desfavorables.

Para eliminar los posibles sesgos o juicios erróneos, fue diseñada una estrategia de muestreo aleatoria. Fueron seleccionados un total de cinco días de trabajo al azar, que representaba los períodos de exposición de ocho horas. Se colocó un monitor de formaldehído en la zona de respiración del empleado en los días de trabajo seleccionados al azar para medir la concentración de formaldehído. Una vez procesados estadísticamente se obtuvieron los siguientes resultados:

- Máximo: 0,85 ppm
- Mínimo: 0,43 ppm
- Rango: 0,42 ppm

- Media: 0,624 ppm
- Mediana: 0,60 ppm
- Desviación estándar: 0,15 ppm
- Media geométrica: 0,610 ppm
- Desviación geométrica estándar: 1,274 ppm

Estas estadísticas indican que no hay valores extremos sustanciales en los datos, ya que la media y la mediana están relativamente cerca en valor.

A continuación, para asegurar que los datos siguen una distribución normal o lognormal, se realizaron pruebas de ajuste, lo que indicaron que se ajustaban tanto una distribución logarítmica normal como normal. Como resultado, los estimadores, media aritmética, $LCS_{1,95\%}$ y $LCI_{1,95\%}$ se calcularon asumiendo una distribución logarítmica normal (ver más abajo):

- Media aritmética aproximada: 0,624 ppm
- $LCS_{1,95\%}$: 0,823 ppm
- $LCI_{1,95\%}$: 0,512 ppm

En este ejemplo, se puede concluir, con un nivel de confianza del 95%, que la exposición de este empleado al formaldehído será inferior a 0,823 ppm en cualquier día dado. Aunque la concentración media de formaldehído (0,624 ppm) para este empleado es inferior al PEL de la OSHA de 0.75 ppm, el enfoque más conservador sería reducir la exposición a un nivel menor que el $LCS_{1,95}$. Por lo tanto, para el empleador en cuestión de asegurar un lugar de trabajo seguro, las intervenciones adicionales para reducir la exposición a este empleado de formaldehído están garantizadas ya que el empleador no puede concluir con certeza que el 95 por ciento de su exposición está por debajo del PEL.

Sin embargo, desde una perspectiva de cumplimiento, no sería posible demostrar con un nivel de confianza del 95% de que la exposición del trabajador excede el PEL debido a que el $LCI_{1,95\%}$ es inferior al PEL.

Ejemplo 2: Estimación de una concentración TWA basado en muestras aleatorias de corta duración

Un empleador identificó una posible exposición al 1,6-hexametilendiisocianato (HDI) entre los trabajadores que utilizan pintura en aerosol para tanques de almacenamiento de combustible. Debido a las limitaciones del muestreo y método analítico seleccionado de HDI, la duración de la muestra tenía que ser de aproximadamente 15 minutos.

La tarea de pulverización de pintura es realizada por los trabajadores en una plataforma elevada. A veces, dos pintores trabajan desde la misma plataforma, y otras veces, sólo un pintor realiza la tarea. Como resultado, fue desarrollada una estrategia de muestreo que emplea tanto el peor de los casos como técnicas de muestreo aleatorio. Debido a las limitaciones de duración del muestreo, la estrategia incluyó recolección al azar, de corta duración en la zona respirable de cada trabajador estimando la concentración TWA de la tarea basada en estas muestras. Además se realizó un muestreo de peor caso. Las muestras aleatorias de corta duración se recogieron cuando los dos trabajadores se encontraban a la misma elevación en la plataforma que esta condición suponía la mas alta exposición a la pintura

Se recolectaron cuatro muestras aleatorias de corta duración en la zona respiratoria de cada operario de pintura (ocho muestras en total). Los resultados de los procesamientos estadísticos se presentan a continuación:

- Máximo: 0,0042 mg/m³
- Mínimo: <0,00037 mg/m³
- Rango: 0,00394 mg/m³
- Media: 0,002 mg/m³
- Mediana: 0,002 mg/m³
- Desviación Estándar: 0,001 mg/m³
- Media geométrica: 0,002 mg/m³

- Desviación estándar geométrica : 2,545 mg/m³
- Media aritmética : 0,002 mg/m³
- Desviación estándar geométrica : 2,545 mg/m³

Estos resultados no indican significancia ya que los valores de la media y la mediana son equivalentes.

Para asegurar que los datos siguen una distribución normal o log normal , estos fueron trazados en papel de probabilidad , realizando una prueba de ajuste que indicó una distribución tanto normal como log normal.

De esta forma se estimó la media aritmética , el LCS 1,95 % y LCI 1,95 % asumiendo una distribución logarítmica normal :

- LCS1, 95%: 0,007 mg/m³
- LCI1, 95%: 0,001 mg/m³

En este ejemplo, se puede concluir con un nivel de confianza del 95% que la exposición a HDI para la tarea será menor a 0,007 mg/m³. Ya que el LCS1,95 % esta por debajo del valor PEL de 0,034 mg/m³, la exposición se determinó que era aceptable tanto desde la perspectiva del empleador como de la perspectiva del oficial de cumplimiento de OSHA.

Es importante tener en cuenta que, dado que el muestreo se limita a periodos dentro de un turno laboral único, este estudio de caso no tiene en cuenta la variación día a día que pueden existir. Por lo tanto, los resultados representan la concentración TWA para la tarea que se realiza en la fecha de la medición.

Más allá de las exposiciones aerotransportadas

Históricamente, la principal atención en el estudio de las exposiciones se ha concentrado en su presencia en el aire (contaminantes químicos) que por a agentes físicos y la exposición dérmica. Sin embargo, en muchas situaciones, las estrategias de muestreo aleatorio pueden aplicarse a otros datos diferentes a las exposiciones en el aire. Para algunas sustancias químicas, la absorción por la piel puede ser la vía predominante de exposición y las muestras de aire no son la variable más apropiada para estudiar tales exposiciones. El control biológico puede ser más apropiado en tales circunstancias. El enfoque de muestreo aleatorio puede aplicarse a los agentes físicos. Sin embargo para datos de exposición a ruido u otras variables medidos en escala logarítmica el análisis de la dosis (en porcentaje, por ejemplo) en lugar de decibeles puede considerarse en el uso de herramientas estadísticas para el calculo de la exposición.

Tanto la estrategia de peor caso como la estrategia de muestreo aleatorio son útiles en la evaluación de la exposición. Es importante entender las limitaciones de cada uno y de aplicar correctamente la estrategia de muestreo seleccionada. Un beneficio principal de una estrategia de muestreo aleatorio es que permite determinar el perfil de exposición del GES con un conocido nivel de confianza lo cual hace mas defendible y objetiva la estrategia de muestreo. La principal ventaja de un método de muestreo de peor caso es que se necesitan menos muestras (lo que es un menos costoso y consume menos tiempo) para emitir un dictamen exposición. En algunos casos, una combinación de ambos enfoques puede ser preferida.

Bibliografía

Albright, S., et al. *Data Analysis and Decision Making with Microsoft Excel*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing Co., 1999.

Leidel, N., et al. *Occupational Exposure Sampling Strategy Manual*. DHEW/NIOSH Pub. 77-173. Cincinnati, OH: NIOSH, 1977.

Mulhausen, J. and J. Damiano. *A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures*. 2nd ed. Fairfax, VA: AIHA Press, 1998.

NIOSH. *NIOSH Manual of Analytical Methods*. Washington, DC: U.S. Dept. of Health and Human Services, CDC, NIOSH. <<http://www.cdc.gov/niosh/nmam>>.

OSHA. *OSHA Technical Manual*. Washington, DC: U.S. Dept. of Labor, OSHA. <http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_toc.html>.

Rappaport, S. and S. Selvin. "A Method for Evaluating the Mean Exposure from a Lognormal Distribution." *AIHA Journal*. 48(1987): 374-379.

Selvin, S., et al. "A Note on the Assessment of Exposure Using One-Sided Tolerance Limits." *AIHA Journal*. 48(1987): 89-93.

Waters, M., et al. "A Measure of Goodness-of-Fit for the Lognormal Model Applied to