

# MEDICIÓN DE CONCENTRACIONES DE FORMALDEHIDO EN EL LABORATORIO DE ANATOMÍA HUMANA DE LA UNIVERSIDAD EVANGÉLICA DE EL SALVADOR COMPARÁNDOLAS CON ESTÁNDARES INTERNACIONALES

Ernesto Antonio Hurtado Valencia  
 Andrea María Vallecampo Contreras  
 Karen Quintanilla de Liévano  
 Beatriz Ivonne Arana de Artiga  
Guadalupe Vásquez Flamenco  
 Facultad de Medicina

CONTENIDO	
Introducción	E. Instrumentos de registro y medición
Capítulo I. Planteamiento del problema	F. Procesamiento y análisis de la información
A. Situación problemática	G. Estrategias de utilización de resultados
B. Enunciado del problema	Capítulo IV. Análisis de la información
C. Objetivo de investigación	A. Análisis descriptivo
D. Contexto de la investigación	B. Discusión de resultados
E. Justificación	Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones
Capítulo II. Fundamentación teórica	Conclusiones y recomendaciones
A. Estado actual	Fuentes de información consultadas
B. Hipótesis	
Capítulo III. Metodología de la investigación	
A. Enfoque y tipo de investigación	
B. Sujeto y objeto de estudio	
- Unidades de análisis y muestra	
C. Variables e indicadores	
D. Técnicas, materiales e instrumentos	
- Técnicas y procedimientos para la recopilación de la información	

## Introducción

El presente trabajo de investigación surgió de la necesidad de conocer las concentraciones de Formaldehído en el medio ambiente dentro de las instalaciones del Laboratorio de Anatomía humana de la Universidad Evangélica de El Salvador, para valorar el riesgo en salud asociado a la exposición de dicha sustancia.

Las prácticas de laboratorio duran tres horas, el tiempo de estudio libre de los estudiantes queda a discreción de ellos, y la disección de cadáveres o piezas anatómicas es estipulado por los técnicos o profesores; en este sentido, los estudiantes, técnicos y profesores están expuestos constantemente a la mencionada sustancia.

El formaldehído se absorbe rápidamente y es metabolizada por casi todos los tejidos; es conocida por sus efectos adversos más frecuentes por irritación a la conjuntiva bulbar, y epitelio de la cavidad nasofaríngea, manifestándose como lagrimeo y congestión nasal respectivamente.

Aunque se conocen muy bien los efectos a corto plazo del formaldehído en la salud, no se sabe tanto acerca de los posibles efectos a largo plazo. En 1980, estudios de laboratorio indicaron que la exposición al formaldehído podría causar cáncer nasal en ratas. Este hallazgo planteó la interrogante de si la exposición al formaldehído también podría causar cáncer en los seres humanos. En 1987, la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA)<sup>1</sup> de EEUU catalogó al formaldehído como un probable carcinógeno en seres humanos en situaciones de exposición inusualmente alta o prolongada.

Desde ese entonces, algunos estudios en seres humanos han indicado que la exposición al formaldehído está asociada a ciertos tipos de cáncer. La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (International Agency for Research on Cancer, IARC)<sup>2</sup> tiene clasificado al formaldehído como carcinógeno en los seres humanos. En 2011, el Programa Nacional de Toxicología (National Toxicology Program)<sup>3</sup>, integrado por diferentes dependencias del Departamento de Salud y Servicios Humanos de EEUU designó al formaldehído como carcinógeno humano conocido en su 12º Informe sobre Carcinógenos.

En el 2004, un estudio de cohorte de 11 039 trabajadores textiles realizado por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)<sup>4</sup> también encontró una relación entre la duración de la exposición al formaldehído y muertes por Leucemia mielocítica.

El propósito de esta investigación fue determinar, por medio de mediciones seriadas, la concentración de formaldehído en el medio ambiente dentro de las instalaciones del laboratorio de Anatomía Humana durante dos semanas del mes de octubre de 2015 para comparar los valores cuantificados con las normas laborales internacionales, donde está regulado el dispositivo utilizado para las mediciones fue el HAL-HFX105 HalTech.

En El Salvador no se cuenta con este tipo de estudio, por tanto, resulta de interés conocer los resultados. El método cumple con los requisitos de un estudio de campo: sencillo, accesible y reproducible basado en el método científico, fundamentando los datos obtenidos en la medicina basada en evidencia.

## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### A. Situación problemática

El formaldehído conocido también como: metanal, óxido de metileno, oximetileno, metilaldehído, oxometano, formalina (solución con agua), aldehído fórmico, formol, metilen glicol, formaldehyde, siendo esta una de las sustancias más utilizadas en los centros sanitarios, laboratorios de anatomía humana, anatomía patológica; también sirve de materia prima para muchos productos industriales. Sin embargo, por su carácter irritante y al estar clasificado como cancerígeno categoría 1, según la International Agency for Research on Cancer *IARC*.<sup>5</sup>, existe una tendencia a eliminar su uso o reducir la exposición al máximo, tomando las correspondientes medidas de corrección<sup>6</sup>. Por ello, continuamente se están desarrollando nuevos sistemas para llevar a cabo el correcto control de la exposición destinados a lograr una disminución de sus niveles ambientales.

A bajas concentraciones, el formaldehído provoca irritación ocular, del tracto respiratorio y de la piel. El valor límite ambiental para exposiciones cortas (LEPVLA-EC) al Formaldehído, según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) de España en el 2010 determinó que era de 0,3 ppm (0,37 mg/m<sup>3</sup>)<sup>7</sup>.

Para prevenir la exposición a formaldehído es necesario reducir al mínimo posible su presencia en el puesto de trabajo, proteger al trabajador frente a salpicaduras y contactos directos con la piel y establecer un plan de formación e información del personal que lo maneja, el cual en nuestro país no ha sido elaborado<sup>7</sup>.

Teniendo en cuenta la marcada acción biológica del formaldehído (sustancia potencialmente carcinogénica) y el valor TLV-TWA (Threshold Limit Value - Time Weighted Average) que se refiere a la concentración promedio en tiempo de exposición, para un día laborable de 8 horas y una semana 40 horas, a las que casi cualquier trabajador puede ser expuesto día tras día sin efectos adversos, el valor asignado en la American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH) es de 0.3 ppm<sup>8</sup>.

El formaldehído tiene una amplia gama de productos industriales donde es utilizado como materia prima, por lo que la exposición a este producto tóxico es bastante alta<sup>6</sup>.

El principal uso del formaldehído en la industria es en la generación de resinas como la urea formaldehído en el tratamiento de papel y textiles, resinas poliacetil usado en espumas para recubrimiento de superficies, resinas fenólicas usadas para superficies aislantes y adhesivos, resinas de melanina usadas en laminados, el trimetilolpropano utilizadas para la fabricación de lubricantes; otros productos utilizados junto con el formaldehído son los detergentes y productos de limpieza por sus propiedades insecticidas, germicidas y fungicidas. También se usa en jabones, cosméticos, desodorantes y champús<sup>6</sup>.

El uso de formaldehído en varios ámbitos de la salud ha permitido la preservación de tejidos, el control bacteriológico y la eficiencia en procesos de esterilización de instrumentos. Su utilidad se extiende a los aspectos laborales en clínicas, hospitales y morgues, y a los académicos en los Laboratorios de Anatomía y Anatomía Patológica.

En el Laboratorio de Anatomía de la UEES se observa que durante la realización de ciertos trabajos como la disección, se producen niveles de contaminación ambiental por formaldehído que superan los criterios higiénicos propuestos para el contaminante que se manifiestan por la irritación a la conjuntiva ocular, el lagrimeo y la congestión nasal, entre otros síntomas. Por otra parte, la realización de estos trabajos o la simple manipulación de las soluciones, provocan considerables niveles de contaminación residual, de modo que son afectados no solo los técnicos encargados de los trabajos, sino todo el personal docente y estudiantes que permanece en el laboratorio.

El uso de esta sustancia ha traído consigo una variedad de manifestaciones clínicas que afectan la calidad de vida de las personas. Sarmiento en las conclusiones de su estudio de investigación lo expresa<sup>9</sup>.

Los pocos artículos que exploran los efectos adversos de esta exposición en estudiantes de medicina han mostrado que entre 28% y 92% presentan síntomas, y con mayor frecuencia reportan: respiratorios, dermatológicos y neurológicos, además de su efecto irritativo a bajas concentraciones en ojos, nariz y garganta<sup>10</sup>.

Uno de los métodos para disminuir el efecto irritativo del formaldehído es la utilización de medidas de protección como gabacha manga larga, guantes de látex, gafas, gorro y mascarilla. No obstante, las personas no reconocen el riesgo potencial de la exposición y, en consecuencia, no utilizan dichas medidas de forma adecuada; esto puede reflejarse en un aumento de la sintomatología en algunos estudiantes sin relación con el tiempo de exposición<sup>11</sup>.

Puede considerarse que la exposición a formaldehído es un problema de salud pública, pues la sintomatología secundaria, durante las prácticas de laboratorio, puede afectar el desempeño académico del estudiante, además de tener otras consecuencias a corto y largo plazo; por lo cual es importante evidenciar estos efectos para sensibilizar a la población sobre el posible riesgo a su exposición. Dado el amplio uso del formaldehído en la industria comercial, específicamente en los laboratorios de anatomía humana para la fijación y conservación de cadáveres, y conociendo la toxicidad del producto, es necesario realizar el presente trabajo de investigación para conocer las concentraciones de formaldehído en el medio ambiente dentro de las instalaciones del Laboratorio de Anatomía Humana.

Uno de los alcances de este trabajo de investigación es que con los resultados obtenidos, se podrán realizar mejoras de higiene y seguridad laboral, así como hacer conciencia entre el personal de los riesgos que se corren al exponerse al formaldehído.

## B. Enunciado del problema

¿La concentración promedio de formaldehído en el aire, dentro del Laboratorio de Anatomía Humana de la Universidad Evangélica de El Salvador, durante el mes de octubre de 2015, está dentro del límite establecido por estándares laborales internacionales?

## C. Objetivos de la investigación

### Objetivo general

Determinar las concentraciones de formaldehído en el aire dentro del laboratorio de anatomía humana por medio de mediciones seriadas con monitor de lectura directa para comparar los resultados con las principales normas laborales internacionales.

### Objetivos específicos

- a. Medir las concentraciones de formaldehído con monitor de lectura directa en el laboratorio de Anatomía Humana de la Universidad Evangélica de El Salvador, durante dos semanas de octubre de 2015.
- b. Comparar los resultados de las concentraciones de formaldehído en el laboratorio de Anatomía humana con los límites de exposición recomendados por las normas laborales internacionales.

## D. Contexto de la investigación

En el Laboratorio de Anatomía se observa que durante la realización de ciertos trabajos como la disección de cadáveres, preparación de cadáveres, preparación de piezas anatómicas, así como la formulación de sustancias, en el desarrollo de las prácticas de laboratorio se producen niveles de contaminación ambiental por formaldehído que superan los criterios higiénicos propuestos para el contaminante. Por otra parte, realizar estos trabajos o la simple manipulación de las soluciones provoca considerables niveles de contaminación residual, de modo que son afectados, no sólo los técnicos encargados de los trabajos, sino todo el personal docente y estudiantes que permanece en el laboratorio. Teniendo en cuenta la marcada acción biológica del formaldehído (sustancia potencialmente carcinogénica) y el valor TLV-TWA (Threshold Limit Value - Time Weighted Average) que se refiere para la concentración promedio en tiempo de exposición, para un día laboral de 8 horas y una semana 40 horas a las que casi cualquier trabajador puede ser expuesto día tras día, sin efectos adversos; el valor asignado en la American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH) es de 0.3 ppm<sup>12</sup>, siendo esta una de las razones del motivo de la investigación.

## E. Justificación

El presente trabajo de investigación se justifica por la necesidad de conocer las concentraciones de formaldehído en el medio ambiente dentro de las instalaciones del Laboratorio de Anatomía Humana de la Universidad Evangélica de El Salvador, por el riesgo en salud asociado a esta sustancia debido a la exposición de inhalarla constantemente durante las tres horas que dura el desarrollo de las prácticas de laboratorio, así como las horas expuestas al formaldehído cuando se realiza disección de cadáver y preparación de piezas anatómicas.

Para el presente estudio se obtuvo la asesoría de dos ingenieros químicos de la Universidad de El Salvador, quienes aportaron el protocolo a seguir para la toma de valores de concentración de formaldehído en medio ambiente dentro de las instalaciones del laboratorio de Anatomía, asimismo cuatro estudiantes de cuarto año de la carrera de Ingeniería Química quienes realizaron las mediciones. Se determinaron nuevas pautas con los resultados obtenidos en las medidas de seguridad laboral, para el mejor desarrollo de las prácticas de laboratorio en términos de prevención de enfermedades laborales.

La importancia de este trabajo radicó en la necesidad que se tiene de conocer las concentraciones de formaldehído en el medio ambiente dentro de las instalaciones del Laboratorio de anatomía humana, y así compararlas con normas de seguridad e higiene laboral establecidas en otros países.

## CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### A. Estado actual

El formaldehído (HCHO) es el compuesto químico más simple perteneciente al grupo de los aldehídos, lo descubrió el químico ruso Alexander Mikhailovich Butlerov en 1859, fue la primera persona que sintetizó un polímero de este compuesto al hidrolizar acetato de metileno. Una vez terminada la reacción, le llamó la atención el olor característico que provenía del producto; sin embargo, no supo identificarlo<sup>10</sup>. Su fórmula se observa en la Figura 1.

Luego, August Wilhelm Von Hoffman, en 1867, lo identificó como formaldehído y desarrolló los aspectos prácticos para su síntesis, haciendo reaccionar el metanol y el aire en presencia de un catalizador de platino (al poner en contacto una corriente de aire cargada de alcohol metílico con un espiral de platino incandescente).

La preparación del Formaldehído puro fue descrita en 1882 por el químico Alemán Friedrich August Kekulé von Stradonitz. Además, ese mismo año se inició la producción industrial de Formaldehído cuando el químico Alemán Bernhard Tollens descubrió un método para regular el vapor del metanol<sup>10</sup>.

Según Wade Leroy, en su libro de Química Orgánica, el formaldehído o metanal es un compuesto químico, más específicamente un aldehído (el más simple de ellos) altamente volátil y muy inflamable (fórmula  $H_2C=O$ ) que se obtiene por oxidación catalítica del alcohol metílico en condiciones normales de presión y temperatura. Es un gas incoloro, de olor penetrante, muy soluble en agua y en ésteres, las disoluciones acuosas al 40% se conocen con el nombre de formol; líquido incoloro de olor penetrante y sofocante, estas disoluciones pueden contener alcohol metílico como estabilizante. Puede ser comprimido hasta el estado líquido, su punto de ebullición es  $-21^{\circ}C$ <sup>7</sup>.

El formaldehído es un gas inflamable y altamente reactivo. El calor de combustión es de 4.47 kcal/g y forma mezclas explosivas bajo presión atmosférica con el aire y el oxígeno. Su reactividad es tan elevada que puede interaccionar consigo mismo a través de un proceso de autopolimerización para generar paraformaldehído. Se descompone por acción del calor, aunque se necesitan temperaturas muy elevadas, y reacciona con rapidez al entrar en contacto con agentes oxidantes fuertes, álcalis, ácidos, fenoles y urea. Es soluble en agua, alcoholes y otros disolventes polares. En disoluciones acuosas el formaldehído se hidroliza y polimeriza y puede existir como metilenglicol, poli-oximetileno y otros compuestos<sup>13</sup>.

Según se describe en Ullman's<sup>14</sup> el formaldehído es una sustancia de amplia aplicación industrial debido a la gran gama de productos y usos a los que se puede aplicar, se aprecian seis tipos de reacciones principales en las que interviene el formaldehído: descomposición, polimerización, reducción y oxidación, adición, condensación y de formación de resinas, a continuación se describen algunas:

## Descomposición

Ocurre a temperaturas por encima de 150 °C y da lugar a dióxido de carbono y metanol. Por encima de los 350 °C se obtiene monóxido de carbono e hidrógeno. Gracias a esta vía y en presencia de catalizadores metálicos (aluminio, platino, cobre, cromo) se puede conseguir metanol, formato de metilo, ácido fórmico y metano<sup>28</sup>.

## Polimerización

La polimerización del formaldehído sucede a temperaturas que normalmente se encuentra por debajo de 100 °C, este proceso ocurre tanto en forma gaseosa pura como en sus soluciones. Se cataliza con sustancias polares como ácidos, álcalis o agua. Los productos de la reacción corresponden a paraformaldehído en fase gaseosa y polioximetilenos en solución con agua<sup>28</sup>.

En cuanto a incompatibilidades cuando el formaldehído reacciona con ácido clorhídrico o con otros cloruros orgánicos se forma el compuesto bis-clorometil éter, una sustancia considerada cancerígena, además el contacto de esta sustancia con bases fuertes provoca polimerizaciones peligrosas por la cantidad de energía liberada y por el riesgo de explosión que esto trae consigo<sup>28</sup>.

## Reducción y oxidación

Este tipo de reacciones son fundamentales, no solo para la fabricación de productos a partir de formaldehído, sino también para su metabolización y eliminación dentro del organismo. Este compuesto se puede reducir a metanol con hidrógeno en presencia de un catalizador. Se oxida con ácido nítrico, permanganato de potasio, dicromato de potasio u oxígeno hasta ácido fórmico o dióxido de carbono y agua. En presencia de metilatos de aluminio o magnesio el paraformaldehído reacciona para dar lugar a formato de metilo. En este tipo de reacciones, el formaldehído puede presentar algunas incompatibilidades a consecuencia de su comportamiento como agente reductor poderoso de reacción violenta con aminas, compuestos azo, ditiocarbamatos, metales alcalinos y

alcalinotérreos, sulfuros, compuestos alifáticos insaturados, peróxidos orgánicos y agentes oxidantes fuertes como el ácido perclórico<sup>28</sup>.

## Adición

Con ácido hidrocianico forma glicolonitrilo y con acetileno genera 2-butino-1,4-diol. Las bases fuertes convierten al formaldehído en una mezcla de hexosas por condensación aldolica múltiple<sup>28</sup>.

## Condensación

Interviene en reacciones de condensación junto con grupos amino, con aminas e hidrógeno se producen metilaminas, con amoniaco produce hexametilentetramina, con cloruro de amonio forma mono, di y trimetilamina y ácido fórmico, dependiendo las condiciones de reacción. Reacciona con muchas sustancias generando grupos metilol como en el caso de metilolfenol, mono, di y trimetilolurea, etc. Las sustancias aromáticas se combinan con el formaldehído y producen difenilmetanos por esta vía se obtienen las hidracinas, hidrazonas y semicarbazonas<sup>28</sup>.

## Formación de resinas

La reacción de condensación del formaldehído con urea, melamina, uretanos, amidas, amidas aromáticas sulfonadas y fenoles produce una gran cantidad de resinas de uso en diferentes áreas<sup>28</sup>.

La producción industrial a gran escala de este compuesto químico tuvo lugar en 1889 en Alemania, pero fue en 1901 cuando apareció un considerable interés por el desarrollo de los diferentes usos del formaldehído<sup>10</sup>.

## Técnicas de fijación y conservación de cadáveres

El estudio de la anatomía en las ciencias médicas ha sido tradicionalmente el pilar fundamental para la formación de profesionales de la salud<sup>15</sup>.

El uso de cadáveres en la enseñanza de la anatomía ha creado la necesidad de conservar los tejidos durante periodos de tiempo prolongado, lo que permite su manipulación y disección sin que ocurra la descomposición de los mismos. Para lograr este objetivo se han creado diferentes técnicas de fijación y conservación.

El fin último es mantener por tiempo prolongado las características de los tejidos, en un estado similar al del individuo vivo<sup>16</sup> para que las estructuras que componen el cuerpo sean visibles durante la disección.

Antes de la aparición del formaldehído se implementaron diferentes técnicas para conservar los cadáveres que comprendían el uso de sustancias como aceites, resinas y hasta vino que retardaban el proceso de descomposición de los tejidos<sup>17</sup>. Sin embargo, la mayoría no permitía mantener adecuadamente las características de los tejidos para el estudio anatómico. Esta sustancia química de nobles propiedades y gran versatilidad fue utilizada por primera vez como fijador de tejidos por Ferdinand Blum en 1893, quién descubrió sus propiedades fijadoras de manera ocasional durante un ensayo destinado a estudiar su efecto antiséptico<sup>18</sup>.

Con el uso del formol se produjo una innovación en las técnicas de fijación y conservación de piezas anatómicas, así como en la preparación de piezas para el estudio histológico. Sus propiedades de fijación y conservación, unidas a una rápida y fácil difusión tisular, hacen que en la actualidad se esté empleando como base de las innumerables fórmulas existentes para estos fines<sup>19</sup>.

El formol comercial es una solución acuosa saturada (alrededor del 37 y 40%) del gas formaldehído el que presenta ventajas como su bajo costo y eficacia, penetra más rápido que muchos otros fijadores comunes (alrededor de 6 mm cada 12 horas)<sup>20</sup>. Sin embargo, su utilización ha sido cuestionada por ser una sustancia tóxica para sus usuarios y manipuladores<sup>21</sup>.

Sus propiedades físico-químicas lo convierten en un gas altamente irritante para la conjuntiva ocular y, además, su inhalación produce irritación en la mucosa de la vía aérea superior (mucosa nasal, faríngea y laríngea) llegando a afectar incluso a estructuras de la vía aérea inferior (mucosa traqueal y bronquios) en tiempo de exposición prolongada irrita los tejidos cutáneos<sup>22</sup>.

Rivera et al. declararon que las técnicas de conservación a base de formol utilizadas en el área de anatomía de muchas universidades no son las más adecuadas, puesto que presentan desventajas para las piezas tratadas como una mayor rigidez, retracción del volumen de los órganos y la pérdida del color natural<sup>19</sup>.

La disección de cadáveres ha sido la base para la enseñanza de la anatomía en carreras médicas desde hace más de 400 años<sup>23</sup>. La Anatomía es considerada como la piedra angular del currículo para la educación médica<sup>24</sup>.

Esta práctica le permite al estudiante aproximarse a la realidad mediante la observación y manipulación de las estructuras anatómicas con características muy similares a las del organismo vivo<sup>25</sup>.

El uso de cadáveres es aún en nuestros días la mejor manera de proporcionar una visión tridimensional de la anatomía a los estudiantes de medicina<sup>15</sup>

La interacción con el cadáver permite tener una mejor percepción de las dimensiones, relaciones, consistencia, tamaño y forma de todas las estructuras que conforman el cuerpo del paciente, por esta razón constituye un elemento de incalculable valor para la formación del profesional de la salud<sup>26</sup>.

El estudio de la anatomía macroscópica no escapa a las nuevas tecnologías, existen reportes sobre la aplicación de técnicas de enseñanza basadas en el uso de herramientas informáticas con las que se han obtenido buenos resultados<sup>33</sup>. No obstante, la disección le permite al estudiante desarrollar una apreciación de la anatomía que no puede ser alcanzada por métodos computarizados por sí solos<sup>27</sup>.

Cada año se publican nuevos libros de anatomía con ilustraciones bien elaboradas, entre los que se incluyen los textos dedicados a la anatomía macroscópica, pero aún no existe un sustituto ideal para el cadáver en el estudio del cuerpo. El simple hecho de ver, tocar e incluso oler repetidas veces las partes del cuerpo en una sala de disección refuerzan los conocimientos y, en el caso de los cirujanos, incrementa su confianza y precisión durante el acto quirúrgico<sup>28</sup>.

## **Fijación y conservación de cadáveres**

El proceso de conservación de los tejidos se basa en el principio de la fijación que consiste en un proceso fisicoquímico gradual que implica la difusión del fijador hacia el interior de los tejidos, así como una serie de reacciones<sup>29</sup>.

## Configuración de la fórmula del formaldehído

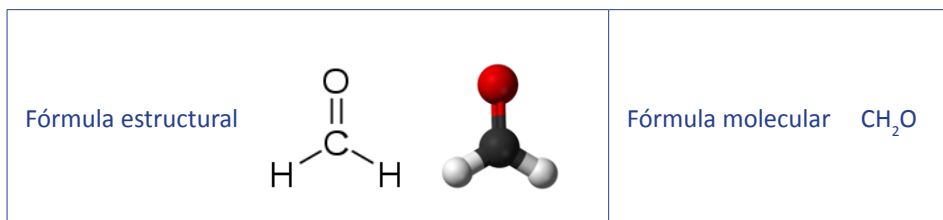


Figura 1. Configuración química del Formaldehído

Fuente: Fox, Whitesell, Química orgánica, Addison Wesley, 2ª edición, Capítulo 3 Compuestos carbonilo, página 125. México, 2000.

En la tabla 1 se resumen y describen las propiedades fisicoquímicas del formaldehído, así como su clasificación de peligrosidad, descritas por la Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades de los Estados Unidos.

Como resultado se producen cambios estructurales que alteran la composición de las proteínas y otras moléculas que finalmente impiden la descomposición<sup>30</sup>.


Un fijador ideal debe producir cierto endurecimiento de los tejidos, mínima distorsión de su morfología y prevenir la descomposición. El formaldehído cumple con estos requisitos por esta razón ha sido la sustancia fijadora más utilizada y estudiada durante décadas<sup>31</sup>.

El formaldehído es un gas muy soluble en agua, su forma comercial se conoce como formalina o formol, la composición química de esta presentación es 37 o 40% de formaldehído y 10% de metanol diluidos en agua<sup>29</sup>

Esta sustancia se utiliza generalmente diluida al 10% para la fijación de los tejidos<sup>32</sup>, así es como se encuentra en las pilas de depósito donde están los cadáveres en el laboratorio de Anatomía de la Universidad Evangélica de El Salvador.

El formaldehído en presencia de oxígeno tiende a oxidarse a ácido fórmico y pierde su efecto fijador, este proceso de transformación ocurre con mayor frecuencia cuando es diluido al 10%, por esta razón una vez preparado no debe ser almacenado durante largos periodos de tiempo.

Tabla 1. Propiedades físicas – químicas – peligrosidad del formaldehído

Propiedades físicas	
Densidad	815,30 kg/m <sup>3</sup>
Masa molar	30,031 g/mol
Punto de ebullición	-19°C
Punto de fusión	-92°C
Propiedades químicas	
Solubilidad en agua	40 % v/v de agua a 20 °C
Peligrosidad	
NFPA 704  Asociación Nacional de Protección contra el Fuego. Utilizado para comunicar los riesgos de los materiales peligrosos. Es importante para ayudar a mantener el uso seguro de productos químicos	 <p>3: salud muy peligroso 2: se inflama a -93°C 2: reactividad, inestable a cambio químicos violentos.</p>
Frases R	R23 (tóxico por inhalación) R24 (tóxico por ingestión) R25 (tóxico por contacto piel) R34 (provoca quemaduras) R40 (Posible cancerígeno) R43 (posible sensibilidad piel)
Frases S	S1/2 (consérvese bajo llave) S26 (contacto con los ojos lávese con abundante agua, consulte con médico) S36 (Úsese indumentaria adecuada) S37 (Úsense guantes adecuados) S39 (Protección ojos y cara) S45 (en caso de accidente consulta médica) S51 (Úsese únicamente en lugares frescos).

Fuente: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Statement for Formaldehyde, Septiembre 2008.

Cuando se realiza la fijación de los tejidos con formol diluido en agua, deberán permanecer a temperatura ambiente durante al menos 24 horas para permitir que ocurra la reacción entre el químico y los componentes de la pieza hasta alcanzar el estado de equilibrio<sup>16</sup>.

El uso de cadáveres, y empleando la técnica de conservación antes mencionada, es aún en nuestros días la mejor manera de proporcionar una visión tridimensional de la anatomía a los estudiantes de medicina<sup>15</sup>.

### **Algunos efectos adversos del formaldehído en la salud**

Un aspecto importante a considerar en la práctica de conservación y disección de cadáveres es el efecto nocivo del formaldehído sobre la salud humana. Debido a que esta sustancia es la más utilizada en este oficio, y que su elevada toxicidad ha sido demostrada, existen normas que regulan su uso y manejo en la mayoría de los países.

Desde 2006, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) lo clasificó como cancerígeno para los seres humanos<sup>33</sup>. La preocupación sobre el tema ha promovido el incremento del número de trabajos científicos orientados a establecer estrategias de prevención y control de la exposición de las personas a esta sustancia confirmado por Bolt et al en 2013<sup>34</sup>.

Un ensayo realizado en ratas para estudiar el efecto de la exposición al formaldehído sobre el riñón reveló que produce daño renal, este efecto adverso del formaldehído fue evaluado mediante la observación de cambios morfológicos de la nefrona, también por la medición de diferentes marcadores como la NAcetyl-b-(D)-Glucosaminidasa, que determina el daño en el túbulo contorneado proximal, los anticuerpos antidesmina que aumentan cuando existe daño en los podocitos, la nefrina y podocina cuya distribución y expresión se ve alterada cuando existe injuria en los podocitos y la membrana basal, así como la desoxinucleotidil transferasa dUTP terminal que determina la presencia de apoptosis celular<sup>35</sup>

El formaldehído tiene efecto tóxico en la mucosa de las vías respiratoria y ocular<sup>36</sup>, se ha reportado desde rinitis e irritación ocular hasta cáncer nasofaríngeo<sup>37</sup>.

Méndez de Teresa, en 2000, realizó un estudio sobre los efectos tóxicos a la exposición crónica al formaldehído, encontrando: tiempo de trabajo en la empresa de 1 a 30 años (media: 15 años); tiempo de Exposición de 8 a 72 h/ semana (media: 28 h/sem). También, las alteraciones respiratorias representaron

un 30% de las patologías observadas: irritación nasal, obstrucción nasal, ardor de garganta, y tos seca. Alteraciones neurológicas, representaron un 30% de las patologías observadas: dolor de cabeza, mareos, fatiga, somnolencia, irritabilidad, disminución de la memoria reciente. Alteraciones dermatológicas representaron un 25% de las patologías observadas: urticaria, ampollas, daños en las uñas, dermatitis y prurito. Alteraciones oculares, representaron un 15% de las patologías observadas: lagrimeo, irritación ocular, y conjuntivitis. El estudio se realizó en profesores y estudiantes de la Cátedra de Anatomía Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad de Los Andes; empleados de los servicios Funerarios de la ciudad de Mérida; empleados de la morgue del cuerpo de policía científica (región Mérida)<sup>38</sup>.

## Fuentes de exposición al formaldehído

### Producción endógena

La formaldehído deshidrogenasa dependiente de glutatión (FALDH) conocida también como ADH clase III, es una enzima ubicua presente en el reino vegetal y animal. La eliminación del formaldehído dentro de la célula se realiza principalmente mediante la FALDH que utiliza NAD<sup>+</sup> como cofactor<sup>39</sup>, ver Figura 2.

El formaldehído es un intermediario del metabolismo celular normal, aunque puede tener también un origen exógeno, siendo un polucionante atmosférico y de aguas residuales. Por otra parte, el formaldehído se forma intracelularmente durante la peroxidación lipídica en situaciones de estrés oxidativo. La eliminación de este formaldehído, siendo muy tóxico para la célula, es necesaria su eliminación para su supervivencia<sup>38</sup>. Como se observa en la figura 3.

Distribución, metabolismo y excreción del formaldehído en el organismo.

Casi todos los tejidos del organismo son capaces de oxidar el formaldehído transformándolo en una sustancia no tóxica, denominada formiato, que se elimina fácilmente por la orina; además, puede metabolizarse en Dióxido de carbono y ser eliminado durante la respiración o ser expulsado a través de las heces en forma de sales u otros metabolitos, en el caso de que no sea excretado, el organismo lo emplea para la generación de moléculas un poco más grandes asimilables por los tejidos<sup>38</sup>.

Sin embargo, puede suceder que se incorpore al ácido desoxirribonucleico (ADN), al ácido ribonucleico (ARN) o a diversas proteínas del organismo, alterándolas de forma reversible o irreversible, contribuyendo al desarrollo de varios tipos de enfermedades de elevada gravedad y a posibles mutaciones<sup>40</sup>.

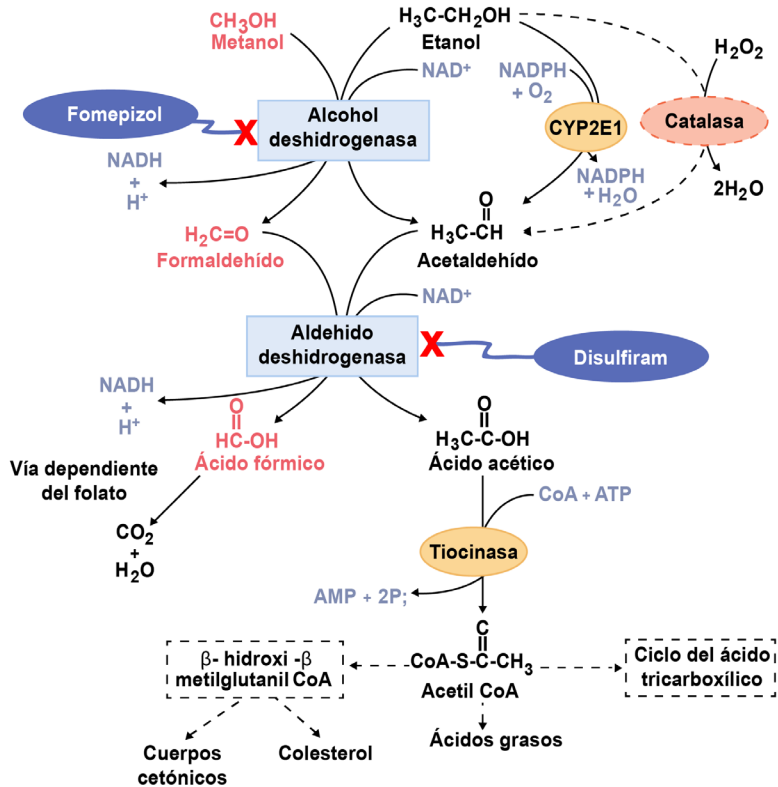


Figura 2. Esquema del metabolismo intracelular del formaldehído.

Fuente: Goodman y Gilman (2019).

## Producción exógena

La principal fuente de producción de formaldehído en el medioambiente es la descomposición natural (oxidación fotoquímica) del metano presente en la atmósfera, este compuesto procede de la ganadería, la agricultura y de las actividades humanas relacionadas con la descomposición de los componentes

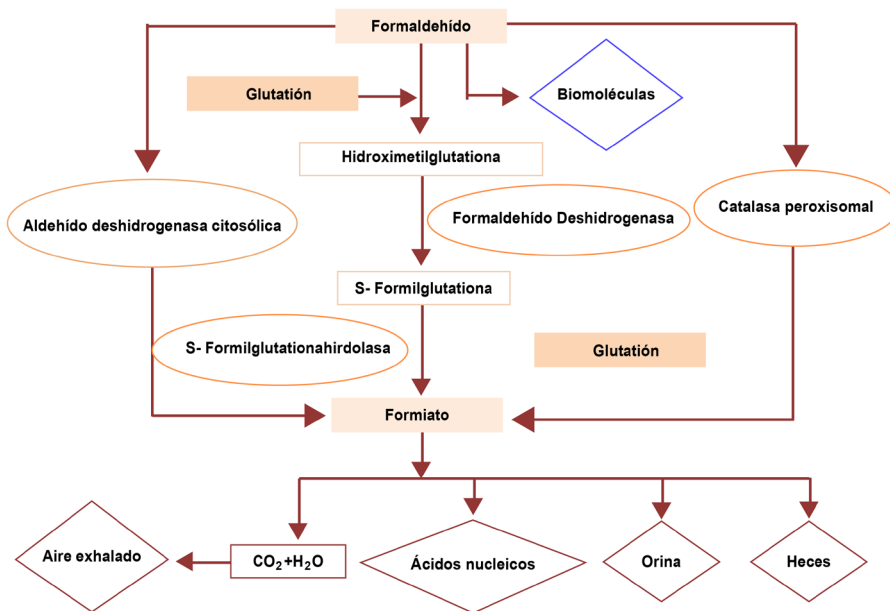


Figura 3. Tóxico cinética del formaldehído en el organismo.

Fuente: Ruso de Méndez. Efectos tóxicos crónicos del formaldehído, Biblioteca virtual en salud. 9(1):45-57, Base de datos: ADOLEC. 2003.

orgánicos volátiles, tales como las emisiones de automóviles y aviones, el tabaquismo, el gas natural, los combustibles fósiles, la incineración de desechos y el refinado de petróleo, además, el formaldehído forma parte de muchas frutas y verduras tales como tomates, peras, manzanas, etc.<sup>41</sup>.

Una de las peculiaridades de este agente químico es que no se acumula en el ambiente, pues en condiciones atmosféricas, la luz solar foto-oxida con facilidad esta sustancia a Bióxido de carbono que se metaboliza y se biodegrada, entre los productos de degradación están el ácido fórmico y el Monóxido de carbono, el formaldehído no parece acumularse en agua, plantas o animales y, aunque se encuentra en algunos alimentos, las cantidades son muy pequeñas<sup>42</sup>.

### Modo de expresar las concentraciones

La concentración de las soluciones es la cantidad de soluto contenido en una cantidad determinada de solvente o solución. También debemos aclarar que los términos diluida o concentrada expresan concentraciones relativas.

Las unidades de concentración en que se expresa una solución o disolución pueden clasificarse en unidades físicas y en unidades químicas.

Partes por millón (ppm) es una unidad de medida con la que se evalúa la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia (agente, etc.) que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo, en un millón de granos de arroz, si se pintara uno de negro, este grano representaría una parte por millón. Se abrevia como “ppm”.

Es un concepto análogo al de porcentaje, solo que en este caso no es partes por ciento sino por millón (tanto por mil). De hecho, se podría tomar la siguiente equivalencia: 10.000 ppm = 1 %.

Es decir que 10.000 ppm equivalen al uno por ciento. De lo anterior, se puede deducir que esta unidad es usada de manera análoga al porcentaje pero para concentraciones o valores mucho más bajos. Por ejemplo cuando se habla de concentraciones de contaminantes en agua o en aire, disoluciones con muy bajas concentraciones o cantidad de partículas de polvo en un ambiente, entre otros.

Un ejemplo podría ser las mediciones de concentración de un contaminante en el aire del ambiente cuyo valor máximo permisible sea 10.000 ppm. Tratar de escribir eso en porcentaje sería poco práctico pues sería mucho menor a 1 %.

Contaminantes del aire: ppm se refiere a partes de vapor o gas por cada millón de partes de aire contaminado  $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ . Otra forma de expresarlo es en  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , de lo que surge un factor de conversión que depende de las propiedades físicas de cada contaminante

### Valor de límite ambiental del formaldehído

El formaldehído tiene asignados diferentes valores límite ambientales que dependen de la legislación de cada país, aunque después de la clasificación realizada por la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) se ha incrementado el interés por llevar a cabo investigaciones más profundas que determinen, de un modo más preciso, la carcinogénesis de esta sustancia.

La asociación francesa (Association Santé Environnement France) ASEF propuso en el 2010 clasificar el formaldehído como cancerígeno de primera categoría con la frase R:49 «causa cáncer por inhalación»<sup>43</sup>, asimismo el gobierno francés le propuso a la Agencia Europea de Sustancias Químicas – European Chemicals Agency (ECHA) que se clasifique el formaldehído como cancerígeno, en cuyo caso entraría en la categoría 1 (1A para el nuevo reglamento de clasificación del Reglamento CLP).

En lo que se refiere a la legislación española (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) en el 2010, el valor límite ambiental de corta exposición (LEPVLA-EC) para el formaldehído es de 0.3 ppm (0.37 mg/m<sup>3</sup>), este valor Occupational Limit Value - Short Time Exposure coincide con el propuesto por la American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH) y ambos están basados en su efecto irritativo agudo, se expone en el informe NTP 873 sobre la Prevención a la exposición al formaldehído<sup>7</sup>

Uno de los aspectos que diferencian a España de otros países de su entorno es el hecho de que no existe un valor límite ambiental de exposición diaria, al igual que en nuestro país, justificación fundamental para la realización de este tipo de trabajos.

En el documento «Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos - Prevención de la exposición a Formaldehído» elaborado por el Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el trabajo (INSHT), en la NTP 873<sup>44</sup> (Norma Técnica de prevención) nota referida al formaldehído menciona: El formaldehído sigue siendo una de las sustancias más utilizadas en los centros sanitarios y en diferentes procesos industriales. Sin embargo, por su carácter irritante y clasificado como cancerígeno (de categoría 3 en la Unión Europea, de categoría 2 según el Reglamento 1272/2008 y de categoría 1 según la IARC) existe una tendencia a eliminar su uso cuando es posible o reducir la exposición al máximo tomando las correspondientes medidas de corrección<sup>44</sup>.

En la 6ª ATP (Adaptación al Progreso Técnico), Reglamento (UE) nº 605/2014 del Reglamento CLP (acrónimo de clasificación, etiquetado y envasado de sus siglas en inglés) se ha modificado la clasificación del formaldehído de cancerígeno a categoría 2 con la indicación de peligro H351 (se sospecha que provoca cáncer) a cancerígeno de categoría 1B con la indicación de peligro H350 (puede provocar cáncer). También ha sido clasificado como mutágeno categoría 2 con la indicación de peligro H341 (se sospecha que provoca defectos genéticos). Dicha clasificación será aplicable a partir del 1 de abril de 2015, sin perjuicio de que pueda aplicarse antes<sup>48</sup>.

Lista de países y su respectiva propuesta del valor de límite ambiental de concentración de Formaldehído permitido en los lugares de trabajo (ver tabla 2). Se puede observar que España es uno de los países más restrictivos, respecto a la concentración de formaldehído en el ambiente laboral, junto con Dinamarca (0.3 ppm o 0.4 mg/m<sup>3</sup>), Bélgica (0.3 ppm y 0.38 mg/m<sup>3</sup>) y Argentina 0.3 ppm. El valor más bajo propuesto de 0.1 ppm corresponde al National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH, EEUU).

Por encima de todos, destacan los valores asignados por Australia, Reino Unido y Sudáfrica que mantienen valores límites ambientales de exposición diaria y los de corta exposición con valor más de seis veces superior al de España.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España menciona en su Nota Técnica de Prevención NTP 466<sup>44</sup>: calidad del aire, determinación ambiental de formaldehído con concentración de formaldehído en aire exterior por debajo de  $0.001 \text{ mg/m}^3$  en áreas alejadas de la ciudad y de  $0.02 \text{ mg/m}^3$  en zonas urbanas; en el interior de las casas, la concentración suele ser entre  $0.02$  y  $0.06 \text{ mg/m}^3$ , debido al desprendimiento de formaldehído que se produce como consecuencia de su presencia en un gran número de productos que se encuentran habitualmente dentro de los hogares, algunos de estos productos son: muebles, pinturas, materiales de construcción, prendas textiles y, sobre todo, el tabaco.

Aunque el interior de las viviendas no concentra niveles preocupantes de este compuesto, sería recomendable reducir al máximo su presencia en los hogares, dada la sensibilidad que pueden presentar algunas personas y los efectos que puede causar durante un tiempo de exposición prolongado.

En los ambientes laborales donde se emplee el formaldehído o cualquier producto que lo contenga y donde no se tomen las medidas preventivas necesarias, los niveles de concentración pueden dispararse y superar los valores límite ambientales, provocando que el trabajador esté expuesto a la inhalación, ingestión o contacto con esta sustancia y a los posibles riesgos para la salud que se puedan derivar de dicha exposición.

Según la Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria en el Ambiente Laboral, en algunos sectores de actividad, la concentración durante 8 horas de exposición puede superar los  $1.23 \text{ mg/m}^3$ , lo que supone un riesgo de desarrollar cáncer nasofaríngeo producido por la inhalación de formaldehído.

**Tabla 2. Valores límites ambientales de concentración de formaldehído en los lugares de trabajo permitido por países**

	Valor límite ambiental de exposición diaria, ppm mg/m <sup>3</sup> . Ocho límite de horas de exposición	Valor límite ambiental de corta exposición, ppm mg/m <sup>3</sup> . Límite a corto plazo	Límite de techo (ppm)
Australia	1	2	-
Argentina	-	-	0,3
Bélgica	-	-	0,3
Brasil	-	-	1,6
Canadá – Alberta	0,75	-	2
Dinamarca	-	-	0,3
Francia	0,5	1	-
Alemania	0,3	0,6	1
Italia	-	-	0,3
Japón	0,1	-	0,2
Holanda	0,12	0,4	-
España	-	0,3	-
Sudáfrica	2	2	-
Noruega	0,5	1,5	-
Suecia	0,5	-	1
Suiza	0,3	0,6	-
Reino unido	2	2	-
E.E.U.U. (ACGIH)	-	-	0,3
EE.UU. (NIOSH)	0,016	0,1	-
EE.UU. (OSHA)	0,75	2	-

**Fuente:** Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung<sup>45</sup>

Por otro lado, aunque la concentración en determinados ambientes laborales sea por debajo de ese valor, no se puede descartar el riesgo de que los trabajadores puedan padecer cáncer de nasofaringe; sobre todo, si la concentración se encuentra comprendida entre 0.25 mg/m<sup>3</sup> y 1.23 mg/m<sup>3</sup>.

Recientemente se ha incrementado el uso del formaldehído en la industria cosmética debido a los novedosos tratamientos de alisado de queratina para el

cabello que se emplean en las peluquerías, así lo expone La Torre en su artículo publicado en 2010 sobre Dermatitis de contacto alérgica por formaldehído y liberadores de formaldehído<sup>46</sup>.

Cuando el formaldehído se encuentra en una disolución acuosa al 40% recibe el nombre de formol, sirve como preservante y fijador, facilitando la aplicación de la queratina.

El periódico La Prensa Gráfica de El Salvador hace referencia a un artículo sobre el alisado del cabello, advirtiendo el peligro del uso del formaldehído en este procedimiento. El problema es que al planchar el pelo durante el tratamiento para sellar finalmente la queratina el formaldehído se libera en forma de vapor exponiendo tanto a los empleados como a los clientes a su inhalación.

## Laboratorio de anatomía humana

La Universidad Evangélica de El Salvador (UEES) es una Institución acreditada por la Comisión de Acreditación de la Calidad de la Educación Superior (CdA), entidad autónoma adscrita al Ministerio de Educación de El Salvador (MINED) obteniendo su primera acreditación para el periodo 2005-2010 y logrando en 2009 la re-acreditación para el periodo 2010-2015. La Universidad está afiliada a la Unión de Universidades de América Latina y El Caribe (UDUAL) se rige bajo normas y leyes de funcionamiento; por tanto, El laboratorio de anatomía Humana también cumple con la Norma Técnica Sanitaria de El Salvador<sup>47</sup>, vale mencionar que en agosto de 2016, el programa académico de carrera de Doctorado en Medicina de la UEES ha sido acreditada internacionalmente por la Red Internacional de evaluadores (RIEV).

Así es que el laboratorio de anatomía cuenta con instalaciones remodeladas recientemente, cumpliendo con la Norma Técnica Sanitaria de El Salvador para el manejo y uso de cadáveres para docencia e investigación, así como la infraestructura para la preservación y mantenimiento de Laboratorio de anatomía (capítulo III) la última versión publicada en el Diario oficial el 05 de junio de 2009 en el acuerdo 505. El capítulo III menciona la infraestructura para la preservación y mantenimiento, específicamente en los laboratorios de anatomía, en el artículo 7 en sus numerales del 1 al 8, hace mención de todas las disposiciones que se deben cumplir para el funcionamiento del laboratorio de anatomía.

El laboratorio de anatomía humana mide 15 metros de largo por 12 metros de ancho, formando un área de superficie de 180 metros cuadrados y 3.10 m de alto. (ver Figura 4).



**Figura 4. Instalaciones del Laboratorio de Anatomía humana de la Universidad Evangélica de El Salvador. Vista de frente e interior.**

## **Clasificación de las sustancias químicas peligrosas**

Según el Ministerio de Trabajo y asuntos sociales de España en su Nota técnica de prevención 465 (NTP 465) en 1999 dicta las sustancias carcinogénicas: criterios para su clasificación, se presentan los criterios aplicados por ocho organizaciones, seis gubernamentales como al Unión Europea, Alemania, Suecia, Noruega, Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Medioambiental EPA), y el National Toxicology Program (Programa Nacional de Toxicología NTP) y dos independientes (American Conference of Governmental Industrial Hygienist (Conferencia Americana de Higienistas Industriales del

Gobierno ACGIH) y la International Agency for Research on Cancer (Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer IARC) para la clasificación de las sustancias químicas respecto a su carcinogenicidad<sup>2</sup>.

Los conocimientos científicos relativos a la actividad carcinogénica de las sustancias químicas han aumentado considerablemente en las dos últimas décadas; esta información incluye estudios epidemiológicos, estudios con animales a largo plazo, ensayos de genotoxicidad y gran variedad de resultados obtenidos a partir de ensayos diseñados para conocer los mecanismos de toxicidad<sup>2</sup>.

Para el estudio e interpretación de toda esta información a fin de evaluar la carcinogenicidad de las sustancias químicas, se han formado grupos de expertos científicos que pueden ser específicamente creados para la evaluación de carcinógenos o bien grupos científicos que evalúan los distintos efectos tóxicos de las sustancias químicas y, entre ellos, la carcinogenicidad.

Cada uno de dichos grupos ha adoptado un sistema de clasificación y ha definido unos criterios para realizar dicha clasificación. Los criterios pueden variar entre las distintas organizaciones; de ahí la importancia de conocer con base en qué información se ha clasificado las sustancias en las distintas categorías<sup>2</sup>.

Finalmente, algunos de estos organismos han desarrollado documentos de criterio, los cuales contienen la información referente a características físicas y químicas de las sustancias, metabolismo, genotoxicidad, estudios epidemiológicos y con animales de experimentación que han permitido realizar la evaluación del potencial carcinogénico y la clasificación final de la sustancia química<sup>2</sup>.

Todo el proceso está enfocado a la identificación de carcinógenos y, en ese punto, radica su importancia ya que la identificación de un agente carcinogénico en el lugar de trabajo es el punto de partida para la adopción de medidas preventivas y correctoras<sup>2</sup>.

En la práctica, al momento de utilizar el listado de sustancias carcinogénicas de una determinada organización para conocer su potencial es importante no quedarse únicamente en una simple categoría o clasificación, es necesario conocer las particulares características de esa organización y los criterios con los que ha llegado a esa clasificación final. Además, el conocimiento de los criterios empleados puede ayudar a entender por qué una misma sustancia química puede tener una clasificación final diferente por parte de distintas organizaciones.

## Criterios para la clasificación

Los distintos criterios para la clasificación de sustancias carcinogénicas están basados en pruebas obtenidas a partir de estudios en humanos y animales de experimentación, así como también otros datos relevantes (mecanismos de actuación, proliferación celular, metabolismo, genotoxicidad, farmacocinética, etc.)<sup>2</sup>.

Entre los diferentes criterios se pueden distinguir dos maneras de enfocar el problema:

- 1- Clasificar las sustancias carcinogénicas en varios tipos según el grado de evidencia de los efectos carcinogénicos sobre el hombre. Así se puede diferenciar entre a) carcinogénicos en humanos, b) probablemente carcinogénicos en humanos y c) posiblemente carcinogénicos en humanos.
- 2- Priorizar las sustancias carcinogénicas con un grado de evidencia suficiente, ya sea en el hombre o en animales de experimentación, según su potencia carcinogénica (alta/media/baja).

En el primer caso se ubica la mayoría de organizaciones que evalúan la carcinogenicidad de las sustancias químicas; únicamente en el caso de Suecia y Noruega se han priorizado las sustancias según su potencia carcinogénica.

La potencia carcinogénica se expresa como la dosis tumoral (DT) que se define como la dosis más baja (expresada en mg/kg peso corporal/día) que induce un incremento significativo en el número de tumores en experimentos con animales a largo plazo, considerando relaciones dosis respuesta e información sobre sus mecanismos de actuación incluyendo la genotoxicidad y la toxicocinética<sup>2</sup>.

## Clasificación del formaldehído por su grado de carcinogénesis, según organismos internacionales

### La Unión Europea

En la unión Europea, el Formaldehido es clasificado como 1B a partir del 1 de abril de 2015<sup>48</sup>

### Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales

### American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)<sup>12</sup>

- A1. Carcinógenos confirmados en el humano. El agente es carcinogénico en los humanos de acuerdo con el peso de la evidencia de los estudios epidemiológicos, o en la evidencia clínica convincente, en los humanos expuestos.
- A2. Carcinógenos con sospecha de serlo en el humano. El agente es carcinogénico en los animales de experimentación a niveles de dosis, ruta(s) de administración, puntos de tipo histológico o por mecanismos que se consideran importantes en la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles son conflictivos o insuficientes para confirmar un aumento del riesgo en los humanos expuestos.
- A3. Carcinógenos en los animales. El agente es carcinogénico en los animales de experimentación a dosis relativamente elevadas, ruta(s) de administración, puntos de tipo histológico o por mecanismos que no se consideran importantes en la exposición de los trabajadores. Los estudios epidemiológicos disponibles no confirman un incremento del riesgo del cáncer en los humanos expuestos. La evidencia existente sugiere que no es probable que el agente cause cáncer en los humanos excepto por rutas o niveles de exposición no frecuentes o poco probables.
- A4. No clasificados como carcinógenos en humanos. No hay datos adecuados para clasificar el agente en relación con su carcinogenicidad en los humanos y animales.

- A5. No sospechoso como carcinógeno en humanos. El agente no es sospechoso de ser carcinogénico en humanos basándose en los estudios epidemiológicos realizados adecuadamente en estos. De estos estudios se disponen de suficientes historias fiables de seguimiento de la exposición durante largo tiempo, dosis suficientemente elevadas y de la potencia estadística adecuada para concluir que la exposición al agente no conlleva un riesgo significativo de cáncer para el humano. La evidencia sugiriendo una ausencia de carcinogenicidad en los animales de experimentación, se considerará si está apoyada en otros datos relevantes.

### **International Agency for Research on Cancer (IARC)<sup>2</sup>**

- Grupo 1. El agente (o mezcla) es carcinogénico para el hombre. Las condiciones de la exposición conllevan exposiciones carcinogénicas para el hombre. Esta categoría se aplica cuando existen pruebas suficientes de carcinogenicidad en humanos. Excepcionalmente, un agente (o mezcla), puede ser incluido en esta categoría si las pruebas en humanos no son suficientes, pero sí lo son en animales de experimentación, y existen pruebas contundentes en humanos expuestos que el agente (o mezcla) actúa mediante mecanismos relevantes para la carcinogenicidad.
- Grupo 2A. El agente (o mezcla) es probablemente carcinogénico para el hombre. Las condiciones de la exposición conllevan exposiciones probablemente carcinogénicas para el hombre. Esta categoría se usa cuando existen pruebas limitadas de la carcinogenicidad en humanos y pruebas suficientes de la carcinogenicidad en experimentación animal. En algunos casos, un agente (o mezcla) puede ser incluido en esta categoría si existen pruebas inadecuadas de carcinogenicidad en humanos y pruebas suficientes de carcinogenicidad en animales de experimentación, existiendo una fuerte evidencia de que en la carcinogenia están implicados mecanismos que también operan en el hombre. Excepcionalmente, un agente, mezcla o condición de exposición puede ser clasificado en esta categoría únicamente en base a pruebas limitadas de carcinogenicidad en humanos.

- Grupo 2B: El agente (o mezcla) es posiblemente carcinogénico para el hombre. Las condiciones de la exposición conllevan exposiciones posiblemente carcinogénicas para el hombre. Esta categoría incluye agentes, mezclas o condiciones de exposición para los que existen pruebas limitadas de carcinogenicidad en humanos y pruebas insuficientes de carcinogenicidad en experimentación animal. También puede ser utilizada cuando existan pruebas inadecuadas de carcinogenicidad en humanos pero suficientes de carcinogenicidad en experimentación animal.
- Grupo 3. El agente (mezcla o condición de exposición) no puede ser clasificado respecto a su carcinogenicidad para el hombre. Esta categoría es usada ampliamente para aquellos agentes, mezclas o condiciones de exposición para las que existen pruebas inadecuadas de carcinogenicidad en humanos e inadecuadas o limitadas en animales de experimentación. Excepcionalmente, aquellos agentes (o mezclas) para los cuales las pruebas de carcinogenicidad son inadecuadas en humanos pero suficientes en animales de experimentación, pueden ser incluidos en esta categoría cuando existan fuertes evidencias de que el mecanismo de carcinogenicidad en animales de experimentación no opera en humanos. Se incluyen en esta categoría aquellos agentes, mezclas y condiciones de exposición que no puedan ser catalogados en otros grupos.
- Grupo 4. El agente (o mezcla) es probablemente no carcinogénico para el hombre. En esta categoría se incluyen los agentes o mezclas para los que existen pruebas que sugieren la ausencia de carcinogenicidad en humanos y en animales de experimentación.

En algunos casos, se pueden incluir en este grupo los agentes o mezclas para los que las pruebas de carcinogenicidad en humanos son inadecuadas, pero con pruebas que sugieren ausencia de carcinogenicidad en experimentación animal, confirmadas congruentemente por un amplio espectro de otros datos significativos.

La tabla 3 es un resumen de las diferentes agencias internacionales y su respectiva descripción como clasificación del formaldehído como agente cancerígeno.

## Medición del formaldehído

### Clasificación de los métodos para la medición del formaldehído en aire

Asistencia Sanitaria Económica para Empleados y Obreros (ASEPEYO)<sup>49</sup>

### Control ambiental de la exposición a formaldehído

Desde el momento en el que se descubrió la toxicidad del formaldehído para la salud del ser humano, se han estudiado diferentes técnicas de muestreo para poder analizar su concentración en el ambiente laboral y comprobar la cantidad de sustancia a la que están expuestos los trabajadores. Con el paso del tiempo estas técnicas han ido evolucionando y han dejado paso a métodos analíticos de mayor precisión, con límites de detección más bajos y, lo más importante, la muestra captada ha pasado de ser ambiental a ser personal, lo que permite obtener una representación más fiel de la situación a la que está sometido un determinado trabajador con características profesionales y personales propias.

**Tabla 3. Clasificación del formaldehído por diferentes organismos oficiales**

#### Diferentes fuentes

Organización	Clasificación	Descripción
European Chemicals Agency (ECHA)	2	Sospechoso de producir cáncer en humanos. El formaldehído es cancerígeno en animales de experimentación. Los estudios epidemiológicos disponibles no son contundentes o insuficientes para confirmar el riesgo en humanos expuestos 54,
American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH)	A2	Carcinogénico para el ser humano. Existen pruebas suficientes de que el formaldehído provoca cáncer nasofaríngeo, pero insuficientes para la leucemia o el cáncer sinusoidal 8, 12
International Agency for Research on Cancer (IARC)	1	Posibles efectos carcinogénicos preocupantes en el hombre, pero sin pruebas disponibles para realizar una evaluación satisfactoria 2, 5

Unión Europea (EU)	1B	El Diario Oficial de la Unión Europea publicó el REGLAMENTO (UE) No 605/2014 DE LA COMISIÓN de 5 de junio de 2014. La categoría 1B se asigna a sustancias de las que se sabe que son carcinógenas para el hombre, “en base a la existencia de pruebas en animales” <sup>48</sup>
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)	1B	Fecha 29/07/2014. Modificación de la clasificación del Formaldehído (CAS: 50-00-0) En la 6ª ATP (Adaptación al Progreso Técnico), Reglamento (UE) nº 605/2014 del Reglamento CLP, ( <a href="http://www.boe.es/doue/2014/167/L00036-00049.pdf">http://www.boe.es/doue/2014/167/L00036-00049.pdf</a> ), se ha modificado la clasificación del formaldehído pasando de estar clasificado como cancerígeno de categoría 2 con la indicación de peligro H351 (Se sospecha que provoca cáncer), a cancerígeno de categoría 1B con la indicación de peligro H350 (Puede provocar cáncer). También ha sido clasificado como mutágeno de categoría 2 con la indicación de peligro H341 (Se sospecha que provoca defectos genéticos) <sup>55</sup> .
National Toxicology program NTP	N-1	Carcinógeno conocido <sup>56</sup> .

En la tabla 4 se observa la exposición al formaldehído en las diferentes concentraciones y exposiciones laborales, siendo en la práctica de la curtiembre la mayor exposición (4.00 ppm); y en la práctica de disección de cadáveres de 0.38 a 2.94 ppm.

Como la principal vía de entrada en el organismo del formaldehído es la inhalatoria, este proyecto va a dirigir su atención hacia los métodos que determinan la concentración del formaldehído en aire.

## Toma de muestra

Los métodos para la toma de muestra del contaminante en el aire se pueden clasificar en dos grupos atendiendo al tipo de captación. Los métodos de captación activa utilizan una bomba que aspira el aire hacia el muestreador, mientras que los pasivos se basan en el proceso de difusión de los gases para captar el contaminante.

Para los métodos de captación activa del contaminante, el equipo utilizado es una bomba de diafragma o pistón de bajo caudal. Tiene que ser de poco peso (máximo 1.2 kg), para que el trabajador pueda llevarla sujeta al cuerpo durante el tiempo que dure el muestreo. Debe tener autonomía de funcionamiento (entre 2 y 8 horas) y margen de caudal relativamente limitado, regulado por un mecanismo de control constante.

## Monitores de lectura directa

En el presente estudio para la medición gases en medio ambiente se utilizó el dispositivo digital de lectura directa el formaldehidometro HAL-HFX105.

Existe una amplia gama de instrumentos de lectura directa para la medida de concentraciones de gases y vapores, también denominados monitores. El dispositivo típico de un monitor de gases es un sensor electroquímico que genera una señal eléctrica proporcional a la concentración en aire del contaminante a medir. La señal es manipulada por el instrumento de forma digital o analógica hasta convertirla en una indicación numérica en la pantalla de presentación.

Este tipo de instrumentos dispone de un gran número de utilidades entre las que destacan: mediciones de exposición personal, mediciones para comparar con valores límite ambientales de corta duración o valores pico, detección de fugas o de cambios en la concentración de los contaminantes, determinación de focos emisivos, mediciones en espacios confinados y visualización de la exposición personal mediante videos. Además, se pueden emplear como sistema de alarma cuando la concentración del contaminante supere determinados valores o como redes de medición en continuo<sup>50</sup>.

**Tabla 4. Exposición a formaldehído según la actividad laboral**

Actividad	Concentración (ppm)
Curtidos	0.09 – 4.00
Soldadura térmica	0.02 – 0.03
Resinas fenólicas	0.05 – 0.30
Fundiciones	0.09 – 1.25
Fabricación de muebles	0.20 – 0.33
Oficinas (decoración)	0.19 – 0.33
Edificios	0.60 – 0.20
Hospitales (limpieza y desinfección)	0.01 – 1.62
Laboratorio de anatomía patológica	0.08 – 6.90
Endoscopias	0.01 – 0.08
Sala de autopsias	0.07 – 8.40
Prácticas de disección de cadáveres	0.38 – 2.94
Aire urbano	0.02 – 0.04
Peluquerías (tratamiento de queratina)	0.006 – 0.33

**Fuente:** Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo – notas técnicas de exposición – prevención a la exposición al formaldehído NTP 873 – 2010.

### **Tipos de monitores en función del principio físico utilizado para la detección del gas**

- **Eléctricos:** Las propiedades físicas y/o químicas del gas en cuestión introducen cambios en los parámetros eléctricos de un sensor.
- **Térmicos:** Detectan las variaciones en las propiedades térmicas de los gases, conductividad de la mezcla o temperatura de combustión.
- **Electromagnéticos:** La energía electromagnética, en forma de radiación UV, VIS e IR, se absorbe a frecuencias características del contaminante y con intensidad dependiente de su concentración.
- **Quimioelectromagnéticos:** Se basan en el análisis de un gas en el que se produce una reacción química acompañada de una radiación electromagnética, que es la que se mide.

- Espectroscopios: Se basan en la medición de la onda acústica generada por un gas cuando absorbe luz modulada.

## Monitores digitales de lectura directa

Medidor de formaldehído HAL-HFX105 de Lectura directa<sup>50</sup>.

Es el medidor ideal para la detección de formaldehído en aire. El medidor muestra in situ la concentración de formaldehído, lo que evita un análisis costoso que exige mucho tiempo en el laboratorio. El medidor de formaldehído usa un sensor electroquímico que determina los valores límites permitidos actuales. El aparato necesita menos de 30 segundos para una medición. La concentración de formaldehído se muestra en la unidad de ppm. Algunas sustancias, como el etanol, propanol y metanol, pueden interferir en el resultado. Un sensor de humedad relativa le permite una corrección para obtener mediciones exactas, ajusta la medición a la temperatura ambiental. A través de un puerto USB puede conectar el medidor a un PC o portátil y efectuar una medición automática continua y prolongada de la concentración de formaldehído. La pantalla le indica constantemente la hora y el estado de la batería.

Para medir en el aire la evaporación de maderas, pavimentos, muebles, textiles, laboratorios, etc. / alarma para valores límite TLV, STEL, memoria, software y puerto USB.

La determinación de concentraciones ambientales mediante instrumentos de lectura directa presenta algunas ventajas respecto al sistema de toma de muestras, entre las que podemos destacar: rapidez en las determinaciones, muestras puntuales de interés, economía. Desventajas: según el tipo de equipo de medición puede ser menos preciso y ocasionar problemas de interferencias, pudiendo falsear el resultado final de la medición. Se debe tener en cuenta que aunque, la manipulación de estos equipos sea sencilla, la interpretación de los resultados debe ser realizada por personal especializado<sup>50</sup>

Tipos de instrumentos de lectura directa:

- Sistemas de medición de gases y vapores
- Sistemas de medición de aerosoles

Son equipos en los que la medición se realiza en el propio instrumento, obteniéndose la concentración del contaminante a partir de la lectura reflejada en un dial, display o indicador. Además, pueden disponer de alarmas programadas que avisen de situaciones peligrosas cuando las concentraciones de contaminantes lleguen a un determinado nivel, realizar mediciones puntuales o de larga duración, etc. Los monitores están constituidos por un sensor que en contacto con el gas a medir genera una señal eléctrica que es registrada en un dial y se transforma en unidades de concentración del gas presente en el ambiente. Con la ayuda de una bomba de aspiración, normalmente incorporada en los monitores de lectura directa y una sonda se pueden realizar mediciones desde el exterior de lugares cerrados o de difícil acceso antes de entrar a realizar los trabajos (espacios confinados: alcantarillas, cisternas, silos, pozos, arquetas, galerías).

Ventajas: No implica un gasto adicional en el análisis de las muestras, el resultado de la medición es inmediato, da valores puntuales o para largos períodos.

Limitaciones: Elevado coste del equipo, posibilidad de interferencias (sensibilidad cruzada), errores de interpretación (la interpretación de los resultados debe realizarse por personal experto).

Aplicaciones: Evaluaciones y controles preliminares, localización de focos de contaminación, estimación del posible riesgo para la salud.

Tener en cuenta: Rango de medida, Sensibilidad, y Resolución.

La fiabilidad: Exactitud y precisión.

Selectividad: Posibles interferencias (sensibilidad cruzada).

Tiempos de respuesta.

Vida media de los sensores.

Posible envenenamiento del catalizador.

Reproducibilidad de los resultados.

Mantenimiento de los equipos. Calibración de los sensores.

## Tipos de sensores de los monitores de lectura directa

Electroquímicos <sup>50</sup>:

Se basan en la medida de una corriente que se establece entre dos electrodos del sensor, cuando el gas a medir reacciona electroquímicamente con el electrodo de trabajo. Estos sensores contienen una membrana porosa, normalmente PTFE o un sistema capilar, que permite al gas difundirse en la celda del sensor que contiene el líquido o gel electrolítico y los electrodos. La configuración de los sensores varía según los fabricantes y según el gas a medir.

El gas se difunde en la celda del sensor que contiene un electrólito y dos electrodos. Cuando el gas entra en contacto con el electrólito se crea una corriente eléctrica entre el ánodo y el cátodo que hace variar la diferencia de potencial entre ambos. Esta variación de la señal eléctrica se mide y amplifica siendo proporcional a la concentración del gas presente.

Tipos de sensores electroquímicos<sup>50</sup>.

- Sensores de modificación de la corriente eléctrica: Miden concentraciones de gases (disuelto en el electrólito) mediante la existencia de un orificio que controla el volumen de gas analizado. Al paso de aire contaminado se modifica el valor de la resistencia entre los dos electrodos, por tanto, también lo hace el valor de la intensidad. Estas modificaciones son muy bajas, por lo que necesita ser amplificada la señal. Esto es una ventaja para la aplicación de estos sensores en lugares con riesgo de explosión que los hace intrínsecamente seguros. Estos sensores son bastante específicos para cada gas, aunque en algunos casos se utilizan catalizadores para evitar posibles interferencias de otros gases presentes (sensibilidad cruzada). Algunos gases que se pueden medir (en ppm) con estos sensores son: CO, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, Cl<sub>2</sub>, etc<sup>50</sup>.

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)<sup>7</sup> de España, por medio del Ministerio de Empleo y Seguridad social, en su reglamento laboral define:

- Agente químico: Todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo en una actividad laboral se haya elaborado o no de modo intencional y se comercializara o no.

- Exposición a un agente químico: Presencia de un agente químico en el lugar de trabajo que implica el contacto con el trabajador, normalmente por inhalación o por vía dérmica.
- Peligro: La capacidad intrínseca de un agente químico para causar daño.
- Riesgo: La posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado de la exposición a agentes químicos. Para calificar un riesgo desde el punto de vista de su gravedad, se valorarán conjuntamente la probabilidad de que se produzca el daño y la severidad del mismo.
- Agente químico peligroso: Agente químico que puede representar un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores debido a sus propiedades fisicoquímicas, químicas o toxicológicas y a la forma en que se utiliza o se halla presente en el lugar de trabajo. Se consideran incluidos en esta definición, en particular: los agentes químicos que cumplan los criterios para su clasificación como sustancias o preparados peligrosos establecidos, respectivamente, sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias.
- Actividad con agentes químicos: Todo trabajo en el que se utilicen agentes químicos, o esté previsto utilizarlos; en cualquier proceso, incluidos la producción, la manipulación, el almacenamiento, el transporte o la evacuación y el tratamiento o se produzcan como resultado de dicho trabajo.
- Productos intermedios: Las sustancias formadas durante las reacciones químicas que se transforman y desaparecen antes del final de la reacción o del proceso.
- Subproductos: Las sustancias se forman durante las reacciones químicas que permanecen al final de la reacción o del proceso.
- Valores límite ambientales: Valores límite de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en la zona de respiración de un trabajador. Se distinguen dos tipos de valores límite ambientales: valor límite ambiental para la exposición diaria: valor límite de la concentración media, medida o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de ocho horas diarias. Valor límite ambiental para exposiciones de corta duración: valor límite de la concentración media, medida o calculada para cualquier período de quince minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un período de referencia inferior.

## Ventajas y desventajas de instrumentos de lectura directa

La determinación de concentraciones ambientales mediante instrumentos de lectura directa presenta algunas VENTAJAS respecto al sistema de toma de muestras, entre las que podemos destacar: Rapidez en las determinaciones, muestras puntuales de interés, economía <sup>49</sup>.

DESVENTAJAS: Según el tipo de equipo de medición puede ser menos precisos y darse problemas de interferencias, pudiendo falsear el resultado final de la medición se debe tener en cuenta que aunque la manipulación de estos equipos sea sencilla, la interpretación de los resultados debe ser realizada por personal especializado <sup>49</sup>.

### B. Hipótesis de investigación

- Hipótesis general

Las concentraciones de formaldehído dentro del laboratorio de Anatomía están por arriba de los valores permitidos por los estándares laborales internacionales.

- Hipótesis alterna

Las concentraciones de formaldehído están dentro de los valores permitidos laborales por los estándares internacionales.

- Hipótesis nula

Las concentraciones de formaldehído en los diferentes puntos, días y alturas en el laboratorio de Anatomía son iguales entre sí.

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### A. Enfoque y tipo de investigación

#### Tipo de investigación

La investigación es de tipo cuantitativo debido a que se colectaron datos que probaron la hipótesis, con base en análisis estadístico y numérico, que permitió establecer patrones de comportamiento de las concentraciones de formaldehído en el aire dentro del laboratorio de anatomía humana para compararlos con los estándares internacionales. Se hizo uso del aparato digital HAL-HFX105 HalTech y de la Norma Técnica de Prevención NTP 587 validado para la determinación de gases y vapores orgánicos en aire <sup>50</sup> y se procedió a realizar mediciones en serie.

#### Diseño de la investigación

Es de tipo descriptivo, transversal, de campo y no experimental, se realizó sin la manipulación deliberada de variables en las que se midió el fenómeno en su ambiente natural para después analizar los datos.

### B. Objeto de estudio

#### 1. Unidades de análisis y muestra

#### Unidades de análisis

La unidad de análisis fue el área dentro de las instalaciones del laboratorio de Anatomía humana de la Universidad Evangélica de El Salvador.

Se realizaron un total de 640 mediciones seriadas de los niveles de concentración de formaldehído que fueron utilizadas para el análisis de resultados.

## Criterios para la medición

- Medir la concentración de formaldehído dentro de las instalaciones del laboratorio de anatomía humana del Departamento de Ciencias Morfológicas de la Facultad de Medicina de la Universidad Evangélica de El Salvador. específicamente en el área de Macroanatomía humana.
- Realizar mediciones en cinco puntos descritos (ver anexo 1). Nominados punto A, B, C, D, y E.
- Días en las que se realizaron las mediciones: lunes, martes, miércoles y jueves.
- Horas en que se realizaron las mediciones: 8:00 am, 10:00 am, 12:00 md y 3:00 pm.
- En cada punto de medición se realizaron cuatro tomas en las siguientes niveles de altura:
  - 0.5 metros
  - 1.0 metros
  - 1.5 metros
  - 2.0 metros

## Lugares no considerados para la medición

- Los espacios del laboratorio de anatomía humana que no se incluyeron para realizar mediciones de los niveles de formaldehido fueron los siguientes:
  - El laboratorio de microanatomía humana
  - Área de preparación de cadáveres
  - Bodega
  - Área de contenedores de cadáveres (pilas)
  - Zonas aledañas al laboratorio
  - Días, horas y alturas no contempladas para la medición

## C. Variables e indicadores

### Indicadores

Son las mediciones de concentración de formaldehído en el medio ambiente dentro de las instalaciones del laboratorio de anatomía humana que serán medidas los lunes, martes, miércoles, jueves; en los siguientes horarios 8:00 am, 10:00 am, 12:00 md, y 3:00 pm, se utilizará un mueble en escala (semeja ser una escalera), donde cada peldaño está a la altura de las mediciones en cuestión, así: 0.5 m; 1.0 m; 1.5 m y 2.0 m en cada peldaño se colocará el medidor (instrumento de medición –formaldehído metro) calibrado por la empresa que lo fabricó, presentando un certificado de calibración.

Variables	Indicadores
Formaldehido	Medición de concentración
Tiempo	Hora/ día
Altura	Metros

## D. Técnicas, materiales e instrumentos

### Técnicas y procedimientos para la recopilación de la información

Las mediciones se realizaron con el aparato digital HAL-HFX105 HalTech, instrumentos digitales que pueden ser utilizados según la Norma Técnica de prevención dictada por el Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el trabajo de España, bajo la NTP 587.

Se realizó la técnica analítica para gases usando el dispositivo (instrumento) que posee un sensor electroquímico, bajo el método de captación pasiva por medio de la difusión de gases; el instrumento cuenta con un sensor de sonda que realiza las correcciones de lectura a causa de la humedad relativa (HR) y la temperatura ambiente.

## Procedimiento

Luego de haber realizado pruebas de ensayo- error, mediciones de prueba de valores mínimos y máximos de detección de concentraciones de formaldehído los ingenieros químicos y los colaboradores utilizaron el instrumento en las mediciones, verificando la calibración del instrumento, cerciorándose de la certificación de funcionamiento por la empresa fabricante, según la Norma Técnica de Prevención (NTP) 548 Evaluación de riesgos por agentes químicos: Guía para la selección y utilización del método analítico, la NTP 553 Agentes químicos: Estrategias de muestreo y valoración; luego se procedió a realizar las mediciones.zz

Las mediciones se realizaron bajo un protocolo validado para mediciones de gases en medio ambiente. Para las mediciones se consideró la temperatura ambiente, la humedad relativa, corriente de aire, ventilación, iluminación y el espacio físico para realizar el análisis.

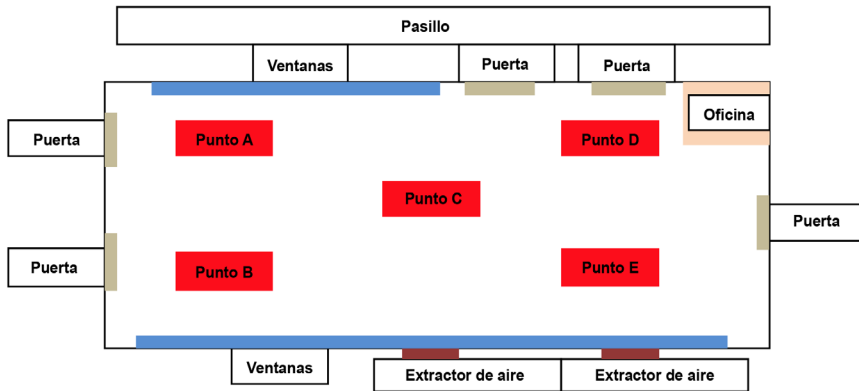
Dentro de las instalaciones del laboratorio de Anatomía se seleccionaron cinco sitios donde se realizaron las mediciones, llamados punto A, B, C, D y E (ver Figura 6). Los días lunes, martes, miércoles y jueves; durante dos semanas del mes de octubre.

En cada uno de estos cinco puntos se ejecutaron cuatro mediciones a diferentes alturas (0.5 mt, 1.0mt, 1.5 mt, y 2.0 mt), y en las siguientes horas 8:00 am, 10:00 am, 12:00 md, y a las 3:00 pm

El laboratorio de Anatomía humana tiene (15 mts de largo x 12 mts de ancho)= 180 mt<sup>2</sup> de superficie, y 3.10 mt de alto. Teniendo 558 mt<sup>3</sup>.

Se construyó un dispositivo de cuatro peldaños; cada peldaño a la altura mencionada donde se colocaba el aparato de medición, y para minimizar el error se colocó en los lugares como se señala en la Figura 7.

El display del instrumento se pone a cero, se le aprieta el botón para medir concentración de formaldehido, luego empieza a medir y la numeración puede fluctuar, después aproximadamente de cinco a 10 segundos, queda fijo el numeral de concentración de formaldehido, se anota el valor en la hoja colectora de datos, la temperatura y la humedad relativa.



**Figura 6. Diagrama del Laboratorio de Anatomía humana Universidad Evangélica de El Salvador.**

Se realizaron 640 mediciones obteniendo igual número de valores.

Se elaboró una base de datos en una hoja de cálculo en Excel, (Office 2010) en la cual se tabularon los valores colectados, se les aplicó estadística de tendencia central (promedio – media aritmética, moda, frecuencia, mediana), se realizó correlación y regresión simple entre las variables para dar respuesta a los objetivos planteados. Las mediciones se llevaron a cabo junto con las actividades académicas programadas de laboratorio con estudiantes, técnicos y profesores.

### **E. Instrumentos de registro y medición**

Se diseñó una hoja colectora de datos (instrumento) donde se anotarán los datos obtenidos del instrumento de medición (ver anexo 2).

#### **Monitor de lectura directa digital. (Medidor de formaldehído HAL-HFX105)**

El medidor muestra in situ la concentración de formaldehído para evitar un análisis costoso que exige mucho tiempo en el laboratorio. El medidor de formaldehído usa un sensor electroquímico que determina los valores límite permitidos actuales. El aparato necesita menos de 30 segundos para una medición. La concentración de formaldehído se muestra en la unidad de ppm. Algunas sustancias, como el etanol, propanol y metanol, pueden interferir en el resultado. Un sensor de humedad relativa le permite una corrección para

obtener mediciones exactas, así también presenta un sensor de temperatura. A través de un puerto USB puede conectar el medidor a un PC o portátil y efectuar una medición automática continua y prolongada de la concentración de formaldehído. La pantalla le indica constantemente la hora y el estado de la batería.

Existe una amplia gama de instrumentos de lectura directa para la medida de concentraciones de gases y vapores, también denominados monitores. El dispositivo típico de un monitor de gases es un elemento sensor que genera una señal eléctrica proporcional a la concentración en aire del contaminante a medir. La señal es manipulada por el instrumento de forma digital o analógica hasta convertirla en una indicación numérica en la pantalla de presentación. Este tipo de instrumentos dispone de un gran número de utilidades entre las que destacan: mediciones de exposición personal, mediciones para comparar con valores límite ambientales de corta duración o valores pico, detección de fugas o de cambios en la concentración de los contaminantes, determinación de focos emisivos, mediciones en espacios confinados y visualización de la exposición personal mediante videos. Además, se pueden emplear como sistema de alarma cuando la concentración del contaminante supere determinados valores o como redes de medición en continuo

#### Medición y muestreo

En la metodología la cuantificación del riesgo laboral, debido a la presencia de contaminantes químicos en los puestos de trabajo, implica la medición o toma de muestras de los mismos para conocer la técnica de medición.

#### Muestreo

Es la forma sistemática y ordenada de coleccionar los datos, se basará en la utilización de un dispositivo electrónico-digital que capte y retenga el contaminante presente en el ambiente.

#### Medición

Se basa en la utilización de un dispositivo electrónico-digital que permite conocer de forma inmediata, y sobre el display del aparato, la concentración de formaldehído presente en el ambiente sin necesidad de recurrir a su posterior análisis en un laboratorio. Las mediciones y muestreos deberán ser representativos de la concentración real, en cuanto al lugar, momento y duración.

Vale mencionar que las tomas de muestras y mediciones no constituyen un fin en sí mismas, sino un medio para abordar posteriores estudios encuadrados en una estrategia global dirigida a la planificación de la acción preventiva en el ambiente laboral. En función de los objetivos, el planteamiento de la problemática, la elección del sistema de medición - muestreo y su respectiva estrategia, se consideran los criterios de valoración que se utilizarán para evaluar la concentración obtenida durante las mediciones y muestreos.

Los principales factores que se han tenido en cuenta en la elección del sistema de medición o toma de muestras son:

Las características físicas y químicas del Formaldehído, su estado físico, estado de disgregación, polaridad, solubilidad, volatilidad y estabilidad.

El método analítico (para muestreos) adecuado que incluye la sensibilidad y exactitud del instrumento a utilizar, el método de solubilización de la muestra, el rango de validez del método e interferencias posibles.

La medición y el muestreo del formaldehído en el medio ambiente laboral se llevará a cabo de la siguiente forma teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de instrumentación: Lectura directa o toma de muestra
- Duración: Puntual
- Localización: Estática / personal, por zona

## **Método de toma de muestra y análisis**

### **Protocolo utilizado en el presente trabajo**

Las características del método recomendado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) para la medición del Formaldehído es la siguiente:

Según NTP 5877 (Network Time Protocol – Guía de buenas prácticas): Evaluación de la exposición a agentes químicos: condicionantes analíticos.

Antes de iniciar cualquier proceso de medición o toma de muestras de contaminantes ambientales, deben estar resueltas las respuestas a las preguntas características: ¿Qué? ¿Cómo? ¿Dónde? ¿Cuándo?

La experiencia indica que el tiempo invertido en estas consideraciones previas tiene un especial rendimiento al optimizar de manera determinante la efectividad posterior de las medidas efectuadas.

La medición directa y, sobre todo, la toma de muestras para su análisis posterior en el laboratorio, presenta dos tipos de condicionantes: tecnológicos y estratégicos. Los primeros son los relacionados con el instrumental empleado para la lectura directa y la toma de muestras y corresponderían a las preguntas: ¿Qué? y ¿Cómo? Los condicionantes de estrategia (¿Dónde? ¿Cuándo?) son los que afectan la «representatividad» del resultados, también son los que permitirían contestar básicamente a las preguntas: ¿Se mide lo que se quiere medir? y ¿El resultado obtenido permite «opinar»? son los propios condicionantes tecnológicos (del método analítico), el número de muestras a tomar, el número de trabajadores y de jornadas a muestrear, la duración del muestreo, las alternativas (una muestra larga o muchas muestras cortas) descrito en la NTP 553.

La adecuada combinación entre las características de la exposición, las del método analítico disponible y las del criterio de valoración a aplicar es el punto de partida necesario para el éxito en la determinación de la exposición.

¿Qué medir?

Tenemos claro que son las concentraciones de formaldehído en el medio ambiente dentro de las instalaciones del Laboratorio de Anatomía humana.

¿Cómo medir?

El procedimiento empleado para medir los contaminantes se describe en el correspondiente método analítico. Sin embargo, cabe recordar las amplias posibilidades de elegir: captación activa directa, captación activa por concentración, captación por difusión y lectura directa.

La metodología a seguir es:

Tomar la muestra durante distintos periodos de exposición.

Cuando la exposición se repita de forma continuada la solución es muestrear distintas operaciones o, si el trabajo es cíclico, ciclos de trabajo hasta el tiempo de muestreo fijado por el método, obteniéndose en este caso la concentración promedio de las distintas exposiciones medidas. Si la exposición es discontinua, también se puede muestrear continuamente, pero teniendo en cuenta que el resultado obtenido corresponderá a periodos de exposición y de no exposición, aspecto que habrá que considerar el hacer la valoración. Si el procedimiento

lo permite, porque no hay riesgo de pérdida de muestra, también se puede detener el muestreo entre exposiciones y reanudarlo de nuevo al inicio de la nueva exposición y, sucesivamente, hasta llegar también al tiempo de muestreo fijado por el método.

De modo que se realizaron mediciones de lectura directa con el dispositivo HAL-HFX105, de lunes a jueves, en las horas 8:00 am, 10:00 am, 12:00 md y 3:00 pm. La técnica de análisis utilizada es la electroquímica con el aparato digital HAL-HFX105 HalTech.

El procedimiento empleado para la obtención de la muestra debe ser adecuado para la técnica analítica a aplicar. Evidentemente, cuando se dispone de un método analítico normalizado no existe posibilidad de cometer errores en este sentido. Sí, en cambio, existe cuando se deben emplear procedimientos indagatorios o estrictamente experimentales de los que no se conoce a priori cual será el procedimiento de análisis instrumental a aplicar. Las técnicas analíticas dependen, fundamentalmente de la naturaleza del contaminante (Formaldehído) pero también de las restantes circunstancias de la medida, como la humedad, temperatura, ventilación e iluminación.

Idoneidad del sistema elegido

Se ha considerado la idoneidad del sistema escogido con el valor límite a comprobar y las características de la exposición. En la NTP 587 y 548 Evaluación de riesgos por agentes químicos: Guía para la selección y utilización del método analítico donde se explica ampliamente de los aspectos básicos, las características y los criterios a tener en cuenta en la elección de un método analítico. La elección del sistema y condiciones de muestreo que vendrá fijada con pocas posibilidades de variación por el método analítico disponible, puede presentar diferentes desajustes con la realidad de la exposición y del criterio a aplicar. Por las características de los sistemas de lectura directa, razón por la que ha sido seleccionado.

Los métodos de lectura directa son dispositivos donde, la toma de muestras y la determinación de la concentración es simultánea; son rápidos y la determinación es instantánea, por lo que permiten obtener datos precisos y puntuales a un coste relativamente bajo.

### Ubicación de la medición

Se pueden establecer lógicas excepciones y aceptar mediciones estáticas (instrumentos instalados en un determinado lugar), cuando lo que se pretende es la confirmación de hipótesis a través de datos aproximados o midiendo en condiciones extremas.

El muestreo personal, además de que el instrumental sea portátil y autónomo, debe cumplir el requisito de que el soporte de muestreo y sensor esté situado en la zona de respiración del individuo, esto es dentro de una semiesfera de radio 30 cm cuyo centro se halla en el centro de un eje imaginario que une las orejas. En la práctica se traduce en colocarlo lo más cerca posible del cuello.

### Número mínimo de muestras por jornada

Será fijado por el tiempo de duración de las muestras y el tipo de muestreo según los modelos.

La precisión de este instrumento se determinará por el fabricante y su utilización exige, por otra parte, calibraciones periódicas por medio de atmósferas o mezclas de gases de composición controlada. Estas calibraciones pueden ser llevadas a cabo por el propio usuario, o por el fabricante o un organismo competente, en cuyo caso es importante que se disponga del correspondiente certificado a efectos de aseguramiento de la calidad en la determinación (el dispositivo que será utilizado presenta certificado de la empresa que lo fabricó).

El mercado ofrece gran diversificación en este tipo de instrumental, cuyo uso ha aumentado con la extensión de las células electroquímicas específicas y, sobretodo, por la posibilidad de almacenamiento informático de los datos, lo que permite su posterior tratamiento hasta límites insospechados.

Disponer de un monitor específico permite, sin ningún esfuerzo, obtener una descripción la variación de la concentración a lo largo del tiempo de manera casi puntual, con todas las ventajas que ello representa de cara una descripción completa de la exposición para su posterior comparación con el criterio de valoración a aplicar.

**Tabla 5. Recomendación de UNE-EN 689**  
**Número mínimo de muestras por jornada**

T duración de la muestra	Ejemplo de tipo de medición	N° de muestras necesarias para abarcar el 25% o de la exposición (8 horas)	N° mínimo de muestras recomendado por la UNE 689
10 segundos	Sistemas de lectura directa medición puntual	720	30
1 minuto	Tubos colorimétricos de detección	120	20
5 minutos	Tubos colorimétricos de detección	24	12
15 minutos	Tubos de carbón activado	8	4

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), calculadores INSHT <sup>57</sup>.

### ¿Dónde medir?

En higiene industrial cuando se trata de medir la exposición de un trabajador por vía respiratoria, se suele exigir que la muestra sea personal, es decir, tomada en el área respiratoria del trabajador. Otras alternativas son: el puesto de trabajo, el punto de emisión y ambiental (puntual, general, automatizada), según la norma NTP 553 que redacta sobre Agentes químicos: estrategias de muestreo y valoración <sup>58</sup>.

En el presente trabajo se realizarán mediciones de concentración de formaldehído en las mesas de trabajo de cada uno de los tres instructores de Laboratorio de anatomía humana, se presentarán con su cadáver y sus respectivos estudiantes distribuidos de forma cuadrilátera hasta cubrir los cuadrantes del salón del laboratorio.

### ¿Cuándo medir?

La determinación de la exposición a un contaminante requiere una medida continua durante toda la jornada laboral o durante todo el tiempo que dure la

exposición. Debido a que es irrealizable en la mayor parte de los casos, mientras que cuándo se efectuará la medida vendrá dado por la estrategia de muestreo escogida según NTP 553 <sup>58</sup>.

En el presente trabajo será en grupo de exposición homogénea, discontinua.

Tipos de muestreo en una jornada de trabajo <sup>49, 50, 58</sup>.

La concentración media correspondiente a 8 horas de trabajo que se puede obtener muestreando durante las 8 horas de la jornada laboral. Es un hecho comprobado que la concentración ambiental en un puesto de trabajo varía de forma aleatoria a lo largo de la jornada laboral y de una jornada a otra. Esto es motivado por variaciones no detectables en las condiciones de trabajo, realización de las tareas, tiempos, corrientes de aire, movimientos de los trabajadores, etc.

Los resultados obtenidos después del muestreo deben ser representativos de la exposición, esto significa que las concentraciones halladas deben corresponderse con las que realmente existen en el puesto de trabajo. Para esto se definen diferentes formas de realizar el muestreo. El laboratorio de Anatomía Humana de la Universidad Evangélica de El Salvador se encuentra en la primera planta de la Facultad de Medicina (Edificio N°3) cuenta con cinco puertas de acceso: dos que se dirigen al pasillo principal de la primera planta, una puerta de acceso al preparador y bodega, y dos puertas que colindan con el laboratorio de microanatomía.

El laboratorio cuenta con dos extractores de aire, vertiéndolo hacia la parte trasera del laboratorio, con la observación que a cuatro metros de distancia se encuentra una pared que llega hasta la segunda planta, de esta manera el aire extraído con formaldehído, puede percibirse hasta la tercera planta. El laboratorio tiene tres lavamanos, una ducha con lava ojos para emergencias, cuatro depósitos para material contaminado descartable (guantes, mascarillas, gorros, gabachas). El laboratorio cuenta con 18 mesas de acero inoxidable, donde cada una de ellas se encuentra un cadáver, en el centro de la mesa se encuentra un desagüe para el formaldehído que es escurrido del cadáver y cae en un balde.

Se tomaron muestras puntuales del contaminante alrededor del instructor (a nivel de las fosas nasales) durante el tiempo establecido. El análisis de las muestras se realiza mediante el método electroquímico que utiliza el dispositivo HAL-HFX105. Las concentraciones de formaldehído encontradas en el aire del ambiente laboral alrededor del instructor serán comparadas con los límites establecidos en normas internacionales de mayor relevancia.

### Instrumento de medición

El dispositivo HAL-HFX105 posee sensor digital de alta precisión para temperatura ambiente y humedad, un condensador para mejorar la toma de muestra con precisión, auto-calibración, detección de gas: aire formaldehído rango de detección: 0 ~ 5 ppm Tiempo de detección: T90 <50 segundos, resolución en ppm. Presenta certificado de fábrica de calibración.

En la tabla 6 se puede observar unas características a contemplar.

La tabla 7, es un sumario en una matriz de congruencia para poder analizar en una forma breve y concisa la presente investigación, donde se enlaza el tema con el objetivo general y los específicos, la unidad de análisis, las variables y su operatividad, con los indicadores, la técnica empleada y el instrumento de medición.

## **F. Procesamiento y análisis de la información**

Se creó una base de datos en digital (computadora) en el programa Excel (Office 2010) donde se introdujeron los datos obtenidos (concentración de formaldehído, expresados en unidades partes por millón - ppm) para aplicarles análisis estadísticos de tendencia central como la media aritmética, moda, mediana y desviación estándar; luego se realizó cruce de variables, gráficos de datos para obtener resultados y responder a los objetivos planteados.

**Tabla 6. Sistemas de lectura directa. Características a contemplar**

¿Para qué sirve?
¿Qué mide?
Posibilidades
Fundamento físico / químico / electrónico de la medida
Tipo de captación del contaminante: activa o pasiva
Posibilidad de utilización como lector personal
Intervalo (frecuencia) lectura
Posibilidad de tratamiento estadístico de las lecturas
Requisitos ambientales
Facilidad de lectura
Alimentación energética
Especificidad
Interferencias
Sensibilidad. Límite de detección
Sensibilidad. Resolución
Intervalo de trabajo
Precio
Garantía
Mantenimiento: coste y facilidad
Asistencia técnica
Dirección del fabricante y del distribuidor
Fiabilidad comercial

Fuente: Nota técnica de prevención 587 <sup>50</sup> Evaluación de la exposición a agentes químicos, del Instituto Nacional de salud e higiene del trabajo (INSHT). Asistencia Sanitaria Económica para Empleados y Obreros (ASEPEYO), Medición y muestreo Dirección Seguridad e higiene <sup>49</sup>.

En cumplimiento a los objetivos planteados, los datos obtenidos se compararon con las normas establecidas de otros países.

### **G. Estrategias de utilización de resultados**

Los resultados se pretende darlos a conocer a la comunidad científica y a la sociedad con la finalidad de tomar medidas (acciones) de corrección, observación, sugerencias o de prevención. Estos se conocerán por medio de la publicación en revista indexada; además, participar en certámenes de investigación local, nacional e internacional.

**Tabla 7. Indicadores y su medición. Matriz de congruencia**

Medición de concentraciones de Formaldehído en el Laboratorio de Anatomía Humana de la Universidad Evangélica de El Salvador, comparándolas con estándares internacionales.						
Enunciado del problema	¿La concentración de formaldehído en el aire, dentro del Laboratorio de Anatomía Humana, en general, está dentro del límite establecido por estándares laborales internacionales?					
Objetivo general	Determinar las concentraciones de formaldehído en el aire, dentro del laboratorio de Anatomía humana, por medio de mediciones seriadas con monitor de lectura directa, para comparar los resultados con las principales normas laborales internacionales.					
Objetivos específicos	Unidad de análisis	VARIABLES	Operacionalización de variables	Indicadores	Técnica	Instrumento
<p>Objetivos específicos</p> <p>a) Medir las concentraciones de formaldehído con monitor de lectura directa en el laboratorio de Anatomía Humana de la Universidad Evangélica de El Salvador, durante dos semanas de octubre.</p> <p>b) Comparar los resultados de las concentraciones de formaldehído en el laboratorio de Anatomía humana, con los límites de exposición recomendados por las normas laborales internacionales.</p>	<p>Medio ambiente (aire)</p> <p>dentro de las instalaciones del laboratorio de Anatomía humana de la universidad evangélica de El Salvador</p>	<p>- Concentración de formaldehído en medio ambiente dentro de las instalaciones del laboratorio de anatomía humana.</p> <p>-Tiempo</p> <p>Altura</p>	<p>Dentro de las instalaciones del laboratorio de Anatomía, se seleccionaron cinco sitios donde se realizaron las mediciones, llamados punto A, B, C, D y E (ver figura 6). Los días lunes, martes, miércoles y jueves; durante dos semanas del mes de octubre.</p> <p>En cada uno de estos cinco puntos se realizaron cuatro mediciones a diferentes alturas (0.5 mt, 1.0mt, 1.5 mt, y 2.0 mt), y en las siguientes horas 8:00 am, 10:00 am, 12:00 md, y a las 3:00 pm</p> <p>Se construyó una escalera de cuatro peldaños, cada peldaño a la altura mencionada, donde se colocaba el aparato de medición.</p>	<p>Concentración de formaldehído en el aire dentro del laboratorio de anatomía humana, expresado el valor en ppm</p>	<p>Medición por electroquímica, en diferentes días, horas, y alturas</p>	<p>Dispositivo digital</p> <p>HAL-HFX105</p>

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### Resultados

#### A. Análisis descriptivo

Se observa, por los resultados estadísticos de los puntos de medición A y B que se encuentra el mayor promedio de concentración de formaldehído en 0.47 ppm y 0.36 ppm respectivamente; para el punto C: 0.26 ppm, D: 0.09 ppm y E: 0.05 ppm, resultando el punto más bajo de concentración de formaldehído (ver Figura 8). Los puntos A y B que tiene los datos más altos, en el laboratorio están ubicados en áreas de menor ventilación, con la observación que se registraron estos valores el día lunes, día que se sacan los cadáveres de los contenedores para ubicarlos en las áreas mencionadas, vale mencionar que este día no hay prácticas de laboratorio.

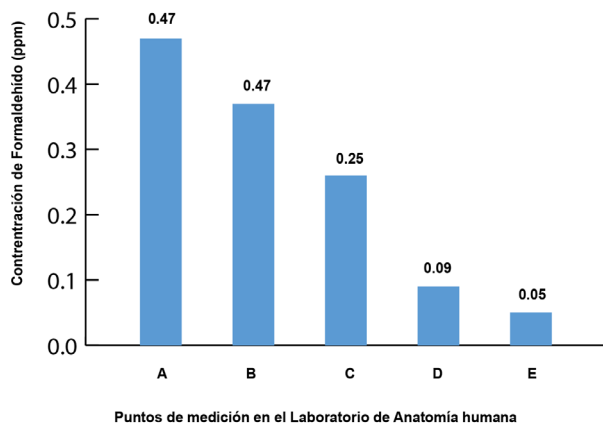
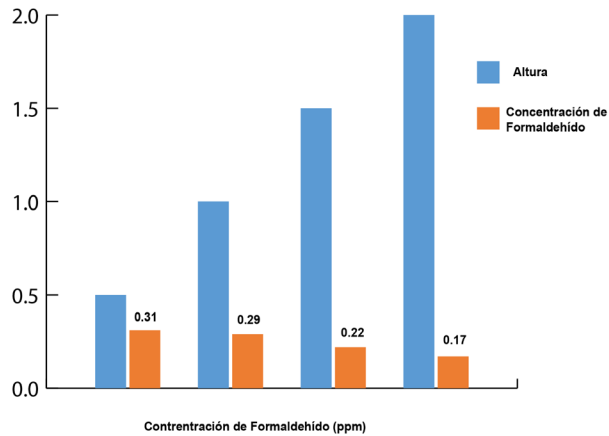


Figura 8. Promedios de concentración de formaldehído por puntos de medición.

De las cuatro diferentes alturas (0.5 m, 1.0 m, 1.5 m y 2.0 m) en 0.5 m es donde se encuentra el promedio mayor de concentración de formaldehído con un valor de 0.31 ppm, luego 1.0 m con 0.29 ppm, le sigue 1.5 m con 0.22 ppm que sería el más bajo promedio con 0.17 ppm (ver Figura 9).



**Figura 9. Promedios de concentración de formaldehído a diferentes alturas dentro del Laboratorio de Anatomía humana.**

Para dar respuesta a la hipótesis planteada se usó la Estadística Inferencial Básica como el Análisis de Varianza, bajo el modelo de Bloques aleatorizados en el programa Excel (2010); también, se trabajó con alfa numérico de 0.05 y se tabularon los promedios de concentración de formaldehído.

Se observa en el gráfico 9 (por los valores obtenidos) que a mayor altura, menor concentración de formaldehído.

De acuerdo al resultado del análisis de varianza, no hay diferencia estadística significativa entre los promedios de concentración de formaldehído.

Se deduce que la hipótesis nula se acepta: las concentraciones de formaldehído en los diferentes puntos, días y alturas en el laboratorio de Anatomía son iguales estadísticamente entre sí. Es decir, existe homogeneidad estadística en las diferentes concentraciones de formaldehído dentro del laboratorio de Anatomía.

En general el valor promedio encontrado de concentración de formaldehído en el Laboratorio de Anatomía de la Universidad Evangélica de El Salvador es de 0.24 ppm.

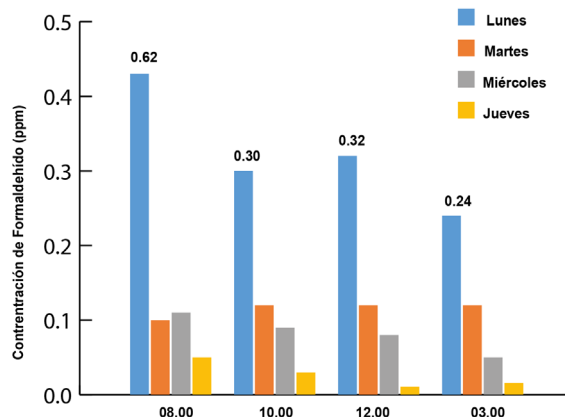
Del estudio realizado se ha encontrado que los límites de concentración de exposición laboral al formaldehído para la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) permitido de exposición (PEL) es de 0.75 ppm como promedio durante un tiempo laboral de 8 horas; y de 2.00 ppm para la exposición laboral durante 15 minutos. Valores bastante altos al resultado del presente estudio, no concordando con la National Institute for Occupational Safety

and Health (NIOSH), con promedio laboral de 10 horas su valor de Límite de exposición recomendado es de 0.016 ppm y de 0.1 ppm para exposición de 15 minutos, valores por debajo del presente estudio. Según la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) el límite valor promedio es de 0.3 ppm que nunca debe excederse en ningún momento, valor por arriba del presente estudio.

El instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, dicta en su Norma Técnica de Prevención que el valor límite ambiental para exposiciones cortas al formaldehído es de 0.3 ppm, valor por arriba del presente estudio.

Este valor de exposición de limite ambiental de España es igual para Bélgica, y Argentina, el de Dinamarca es de 0.4 ppm.

En la primera semana del estudio el valor más alto en medición de concentración de formaldehído fue el día lunes con 0.62 ppm, a las 8.00 am, el valor es lógico y esperado ya que se acaban de sacar los cadáveres de los estanques de resguardo, el promedio semana 1 fue de 0.15 ppm, promedio humedad: 91% y promedio temperatura: 24 °C. (ver Figura 10)



**Figura 10. Semana 1 de medición. Gráfico de promedios de concentración de formaldehído, por día y hora.**

En la segunda semana del estudio el valor más alto registrado fue a las 12:00 md, con 1.12 ppm, con una temperatura promedio de 25°C, y humedad de 88%, por tanto la temperatura y humedad son importantes variables a considerar para las concentraciones de formaldehído en medio ambiente (ver Figura 11), promedio semana 2 fue de 0.34 ppm.

En promedio, semana 1 y 2, las concentraciones de formaldehído fueron de 0.24 ppm, con una humedad relativa de 89.5%, y temperatura de 24.5°C, los día lunes a las 8:00 am (0.74 ppm) y 12:00 md (0.72 ppm) son las mediciones más altas, vale mencionar que este día NO HAY LABORATORIOS PROGRAMADOS. (ver Figura 12)

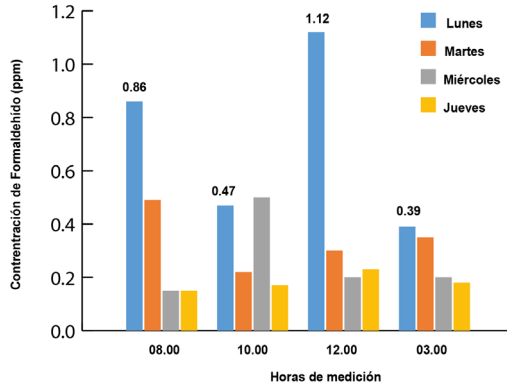


Figura 11. Semana 2 de mediciones. Gráfico de promedios de concentración de formaldehído, por día y hora.

En las dos semanas del estudio los días lunes presentaron la mayor concentración de formaldehído en promedio (semana 1: 0.37 ppm y semana 2: 0.71) se puede observar que a medida avanza la semana disminuyen las concentraciones de formaldehído (ver Figura 13).

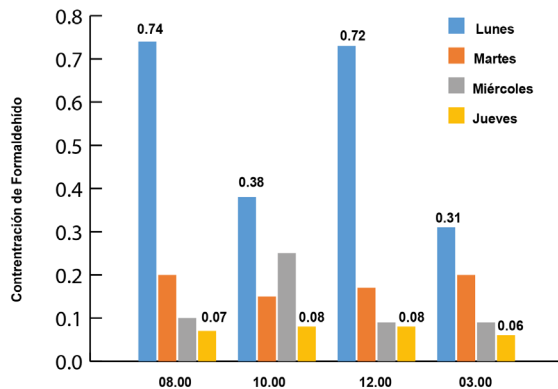
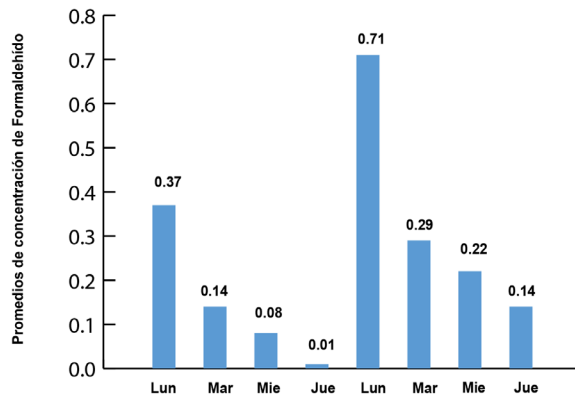


Figura 12. Gráfico de promedios de concentración formaldehído versus horas y días de medición.



**Figura 13. Promedios de concentración de formaldehído durante los días secuenciales de medición Media 0.24 ppm.**

La medición más alta registrada es de 2.20 ppm, segunda semana, día lunes, punto A, a 0.50 m. A las 12:00 md, este día no hay prácticas de laboratorio. El valor más bajo fue de cero punto cero.

En cada una de las mediciones de concentración de Formaldehído se hizo, también, la medición de temperatura y humedad relativa, observándose que el valor promedio mayor de temperatura fue de 25.76°C, y mínima de 25.15°C; en promedio para la humedad relativa el valor mayor fue 82.77%, y el valor menor de 79.48%, para las concentraciones de Formaldehído fueron en promedio de 0.47 ppm y 0.04 ppm la mayor y mínima respectivamente. Se deduce que la temperatura es un factor importante para la concentración de Formaldehído en el medio ambiente así como la humedad: a mayor temperatura y humedad relativa, mayor es la concentración de Formaldehído en el medio ambiente y viceversa. Factores importantes en el comportamiento de los gases.

**Tabla 8. Mediciones en la segunda semana. Registro de mayor concentración de formaldehído 2.20 ppm. Semana 2. Lunes. Punto A. 0.50 mts, 12.00 md**

punto	12:00 m.d.	altura (mt)			
		0.50	1.00	1.50	2.00
A	% HR	82	82	82	82
	T (°C)	24	24	24	24
	ppm HCHO	2.20	1.68	1.29	1.20
B	% HR	82	82	82	82
	T (°C)	24	24	24	24
	ppm HCHO	1.32	1.60	1.48	1.00
C	% HR	79	79	79	79
	T (°C)	25	25	25	25
	ppm HCHO	1.76	1.80	1.61	1.55
D	% HR	77	77	77	77
	T (°C)	26	26	26	26
	ppm HCHO	1.45	0.73	0.27	0.02
E	% HR	78	78	78	78
	T (°C)	26	26	26	26
	ppm HCHO	0.74	0.66	0.10	0.00
		1.123			

## B. Discusión de resultados

En un estudio publicado en el 2005 por Ghasemkhani<sup>50</sup> sobre «La exposición al formaldehído en algunos hospitales escuela de Teherán» menciona que la concentración de formaldehído en los laboratorios de anatomía patológica se encuentra en un rango de concentración de 0.08 a 6.9 partes por millón (ppm), considerados valores mucho más altos que el encontrado en el presente estudio, así mismo sobre el valor permitido para una jornada laboral estipulada por la American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH).

Ohmichi K<sup>51</sup>, en 2006, en su publicación sobre «La exposición al formaldehído en un laboratorio de anatomía a nivel personal es más alta que la concentración en el medio ambiente laboral», concluye que el promedio de las concentraciones de formaldehído en el laboratorio oscilan de 0.23 hasta 1.03 ppm resultado más bajo que el encontrado en el presente estudio. También reporta que los niveles de formaldehído en el centro del laboratorio eran más altos que los de las esquinas; contrario al resultado que se ha encontrado en el presente estudio que señala el punto C (0.26 ppm). Además, menciona que esto podría estar relacionado con la disposición de los difusores de suministro de aire y rejillas

de retorno, en su estudio reporta que las esquinas del laboratorio es donde se encuentra menos concentración de formaldehído por la ubicación de las ventanas, contrario a nuestro estudio que en una de las esquinas es donde se encuentra el valor mayor de concentración en promedio en el punto A (0.47 ppm). Pudiera deberse a que está más lejos del extractor.

Por su parte, en 2010, Lakchavapakorn K<sup>52</sup>, en su estudio «La exposición al formaldehído de los estudiantes e instructores médicos y los síntomas clínicos durante el laboratorio de anatomía en la Universidad de Thammasat», reporta que se midieron las concentraciones de formaldehído en la zona aérea (medio ambiente) y cercana a los estudiantes de medicina durante la disección de cadáveres. Las concentraciones de formaldehído en el medio ambiente y en la zona de respiración variaron entre 0.401 a 0.581 ppm (media de 0.491 +/- 0.090) y desde 0.472 a 0.848 ppm (media de 0.660 +/- 0.188) respectivamente.

La media de las concentraciones de formaldehído en la zona de respiración de los estudiantes de medicina e instructores fue significativamente mayor que la media de la concentración de formaldehído en el medio ambiente ( $p < 0.05$ ), estos valores son superiores a los encontrados en este estudio, en este sentido se encontró que a nivel de 1.5 m la concentración en promedio de formaldehído fue de 0.22 ppm.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Las concentraciones de formaldehído en el medio ambiente del laboratorio de anatomía humana como promedio estimado de medición se encuentra en general dentro de los límites permitidos por estándares laborales a nivel internacional.
- Existen puntos dentro del laboratorio de anatomía humana donde los valores de concentración de formaldehído se encuentran arriba del estipulado por organismos ambientales laborales internacionales.



## Recomendaciones

- Los cadáveres para el uso de las prácticas de laboratorio deben permanecer en decúbito ventral para mejorar el escurrimiento de estos.
- Mantener los cadáveres cubiertos con una funda impermeable para minimizar la emanación de formaldehído.
- Adoptar otra técnica de fijación y conservación de cadáveres con el objetivo de evitar la exposición a sustancias tóxicas para mejorar el riesgo laboral.

## FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

### (ENDNOTES)

1. United State. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation. Report to Congress on Indoor Air Quality. Volume II: Assessment and Control of Indoor Air Pollution. Localizador: nepis. [localizador de información]. 1989. [consulta: 02 may 2015]. <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9100LMBU.PDF?Dockey=9100LMBU.pdf>
2. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans [document en línea]. Volume 88 (2006): Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. [consulta: 04 may 2015] <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/index.php>
3. United State. National Toxicology Program. Report on Carcinogens, Twelfth Edition. Department of Health and Human Services, Public Health Service. [documento en línea] Retrieved June 2011, [consulta: 25 abr 2015]. <http://ntp.niehs.nih.gov/go/roc12>
4. Pinkerton LE, Hein MJ, Stayner LT. Mortality among a cohort of garment workers exposed to formaldehyde: An update. *Occupational Environmental Medicine* 2004; 61:193–200 [documento en línea] [consulta: 25 abr 2015]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14985513>
5. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans [en línea]. Volume 88 (2006): Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. [consulta: 04 may 2015]. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/index.php>
6. Estados Unidos. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Reseña Toxicológica del Formaldehído. Atlanta: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EEUU [en línea]; 1999. [consulta: 24 abr 2015]. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs111.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.pdf)
7. Nota Técnica de prevención NTP 873. Prevención de la exposición a formaldehído. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo en España. [documento en línea] 2010. [consulta: 18 mar 2015]. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/873w.pdf>

8. American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH). Occupational safety and health guideline for formaldehyde potential human carcinogen. Estados Unidos. 1988. [consulta: 18 mar 2015]. <http://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0293.pdf>
9. Sarmiento N, Peinado J, Cadena L. Sintomatología causada por la exposición al formaldehído en estudiantes de medicina y sus posibles mecanismos fisiopatológicos. [seriada en línea]. Revista Médica Universidad de Antioquía. Colombia. Vol. 27 (4). 428 – 438. 2013. [consulta: 12 mar 2015]. <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/iatreia/article/view/14872/17396>
10. Duque J, Díaz J. El formol su génesis, normas, aplicaciones e incidencia sobre la salud humana. [seriada en línea]. Revista Universidad Pontificia Bolivariana. UPB. Volumen 18 (1) 35-46. 1999. [consulta: 27.04.2015]. <http://revistas.upb.edu.co/index.php/Medicina/article/view/930/841>
11. United State. California Department of Public Health. California Department of Industrial Relations. Hazard Evaluation System & Information Service. Formaldehyde. [Localizador de información]. California: Department of Public Health. 2011. [consulta: 27.04.2015] <http://www.cdph.ca.gov/programs/hesis/Documents/AnnualReport2011.pdf>
12. American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH). Occupational safety and health guideline for formaldehyde potential human carcinogen. Estados Unidos. 1988. [consulta: 18 mar 2015]. <http://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0293.pdf>
13. Wade Leroy, química orgánica 7ª edición, Person educación, capítulo 18 Cetonas y aldehídos pág. 807 – 831, México 2011.
14. Ullman´s. Encyclopedia of Industrial Chemistry; Volumen 11; Quinta edición completamente revisada; Editorial VCH; New York, U.S.A.; 1989.
15. Korf H, Wicht H, Snipes R, Timmermans J, Paulsen F, Rune G, Baumgart-Vogt E. The dissection course – necessary and indispensable for teaching anatomy to medical students Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger. [documento en línea], Volume 190 (1), 16-22. 2008. [consulta: 17.03.2015]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18342138>
16. Gage G, Kipke D, Shain W. Whole animal perfusion fixation for rodents. [seriada en línea] J Vis Exp 2012; 30:(65). 35-64. [consulta: 01.05.2015] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3476408/pdf/jove-65-3564.pdf>

17. Saeed M, Rufai A, Elsayed S. Mummification to plastination. [seriada en línea]. Saudi Med J 2001; 22 (11):956-959:(5 pantallas). [consulta: 12.03.2015] <http://www.smj.org.sa/index.php/smj/article/download/3421/1195>
18. Fox CH, Johnson FB, Whiting J, Roller PP. Formaldehyde fixation. [seriada en línea]. J Histochem Cytochem 1985; 33(8):845-853. [consulta: 08.05.2015]. <http://jhc.sagepub.com/content/33/8/845.full.pdf+html>
19. Bustamante A. Prieto G. Preservación de placenta humana. Técnica anatómica. [artículo en línea]. Int. J. Morphol. 2007; 25(3):545-548. [consulta: 23.05.2015]. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022012000200013](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022012000200013)
20. Hildebrand M. Anatomical preparations. [en línea]. University of California Press, 1968. [consulta: 18.05.2015]. < [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=2987038&pid=S0717-9502201200020001300009&lng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=2987038&pid=S0717-9502201200020001300009&lng=es) > También está disponible en [consulta: 18.05.2015] : [https://books.google.com/sv/books?hl=es&lr=&id=52JO4mrZkCAC&oi=fnd&pg=PA1&ots=ILZjGK3wH8&sig=C5cMLx4F-7662WJml2IUaI3AhuvM&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com/sv/books?hl=es&lr=&id=52JO4mrZkCAC&oi=fnd&pg=PA1&ots=ILZjGK3wH8&sig=C5cMLx4F-7662WJml2IUaI3AhuvM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
21. Rivera M, Bonino F, Fioretti C, Galán M, Gigena S, Moine R, Mouguelar H, Natali J. Análisis Multivariado Aplicado a la Etapa de Deshidratación en la Técnica de Plastinación del Riñón de Caballo. [artículo en línea]. Int. J. Morphol., 27(3):855-859, 2009. Base de datos LiLacs [consulta: 02.05.2015]. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?I-sisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=598948&indexSearch=ID> También puede ser consultado en: base de datos Scielo [consulta: 02.05.2015]. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-95022009000300035](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022009000300035)
22. Ballenguer J. Some effects of formaldehyde on the upper respiratory tract. [seriada en línea] The Laryngoscope; 1984. 94:1411-1413. Resumen. [consulta: 09.05.2015]. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1288/00005537-198411000-00002/abstract>
23. Aziz M, McKenzie J, Wilson J, Cowie R, Ayeni S, Dunn B. The human cadaver in the age of biomedical informatics. [seriada en línea] Anat Rec 2002; 269(1):20-32. [consulta: 09.05.2015]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11891622>

24. Rizzolo L, Stewart W. Should we continue teaching anatomy by dissection when? [seriada en línea] *Anat Rec B New Anat* 2006; 289(6):215-218. [consulta: 09.05.2015]. [https://www.cc-seas.columbia.edu/sites/dsa/files/continue\\_teaching\\_by\\_dissection.pdf](https://www.cc-seas.columbia.edu/sites/dsa/files/continue_teaching_by_dissection.pdf)
25. Collipal L, Silva M. Estudio de la anatomía en cadáver y modelos anatómicos. Impresión de los estudiantes. [seriada en línea] *Int J Morphol* 2011; 29(4):1181-1185. [consulta: 12.04.2015]. <http://www.scielo.cl/pdf/ijmorphol/v29n4/art18.pdf>
26. Cornwall J, Stringer M. The wider importance of cadavers: educational and research diversity from a body bequest program. [seriada en línea] *Anat Sci Educ.* 2009; 2(5):234-237. [consulta: 17.05.2015]. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19728368>
27. Rath G, Garg K. Inception of cadaver dissection and its relevance in present day scenario of medical education. [seriada en línea] *J Indian Med Assoc* 2006; 104(6):331-333. [consulta: 09.05.2015]. <http://www.ucla.edu/ve/dveterin/departamentos/CienciasBasicas/gcv/2530int2530er2530no/articulos/documasp/~me1tzw6m.pdf>
28. Tolhurst DE, Hart J. Cadaver preservation and dissection. [seriada en línea] *Eur J Plast Surg* 1990; 13:75-78. [consulta: 01.05.2015]. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00177811#page-1>
29. Thavarajah R, Mudimbaimannar V, Elizabeth J, Rao U, Ranganathan K. Chemical and physical basics of routine formaldehyde fixation. *J Oral Maxillofac Pathol* [seriada en línea] 2012 ;16:400-405. [consulta: 18.05.2015]. <http://www.jomfp.in/text.asp?2012/16/3/400/102496>
30. Kiernan J. Formaldehyde, formalin, paraformaldehyde and glutaraldehyde: What they are and what they do. [seriada en línea] *Microscopy Today* 2000; 8(1):8-12. [consulta: 22.04.2015]. <http://publish.uwo.ca/~jkiernan/formglut.htm>
31. Dixit D. Role of standardized embalming fluid Conservación de piezas anatómicas 10 in reducing the toxic effects of formaldehyde. [seriada en línea] *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology* 2008; 2(1): 2008-01 - 2008-06. [consulta: 18.05.2015]. <http://www.ucla.edu/ve/dveterin/departamentos/CienciasBasicas/gcv/2530int2530er2530no/articulos/documasp/~me1tzw6m.pdf>

32. Duque J, Díaz J. El formol. Su génesis, normas, aplicaciones e incidencia sobre la salud humana. [seriada en línea] Medicina UPB. 1999; 18(1):35-46. [consulta: 18.05.2015]. <https://revistas.upb.edu.co/index.php/Medicina/article/view/930>
33. International Agency for Research on Cancer Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tertButoxypropanol-2-ol. [en línea] IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans 2006; 88:39-325. [consulta: 14.05.2015]<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/>
34. Bolt H, Morfeld P. New results on formaldehyde: the 2nd International. Formaldehyde Science Conference (Madrid, 19-20 April 2012). [ponencia en línea] Arch Toxicol 2013; 87:217-222. [consulta: 14.05.2015]<http://link.springer.com/article/10.1007/s00204-012-0966-4>
35. Qin W, Xu Z, Lu Y, Zeng C, Zheng C, Wang S, et al. Mixed organic solvents induce renal injury in rats. [en línea] PLoS One 2012; 7(9):e45873. [consulta: 18.04.2015] <http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info:doi/10.1371/journal.pone.0045873&representation=PDF>
36. Njoya H, Ofusori D, Nwangwu S, Amegor O, Akinyeye A, Abayomi T. Histopathological effect of exposure of formaldehyde vapour on the trachea and lung of adult wistar rats. [seriada en línea] IJIB 2009; 7(3):160-165. [consulta: 13.04.2015] [http://www.researchgate.net/profile/Osasere\\_Amegor/publication/44259412\\_Histopathological\\_effect\\_of\\_exposure\\_of\\_Formaldehyde\\_vapour\\_on\\_the\\_trachea\\_and\\_lung\\_of\\_adult\\_wistar\\_rats/links/0c9605236b7cb36fe3000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Osasere_Amegor/publication/44259412_Histopathological_effect_of_exposure_of_Formaldehyde_vapour_on_the_trachea_and_lung_of_adult_wistar_rats/links/0c9605236b7cb36fe3000000.pdf)
37. Minako H, Yoshitaka O, Hideaki C, Syuji Y, Daiju S, Shigetoshi H. The influence of environmental exposure to formaldehyde in nasal mucosa of medical students during cadaver dissection. [seriada en línea] Allergol Int 2011; 60(3):373-379. [consulta:13.04.2015] [https://www.jstage.jst.go.jp/article/allergolint/60/3/60\\_3\\_373/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/allergolint/60/3/60_3_373/_article)
38. Russo de Méndez T. Efectos tóxicos crónicos del formaldehído / Toxic chronic effects of formaldehyde, [Biblioteca virtual en salud ]. 9(1):45-57, 2003. Base de datos: ADOLEC. Pesquisa: 406156. [consulta: 13.04.2015] <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IisScript=iah/iah.xis&src=google&base=ADOLEC&lang=p&nextAction=Ink&exprSearch=406156&indexSearch=ID>
39. Goodman y Gilman, Las bases farmacológicas de la terapéutica, capítulo 23 etanol y metanol. Pág 629. 12ª edición, Mc GrawHill, México, 2012

40. Gil Ángel. Tratado de nutrición – Bases Fisiológicas y bioquímicas de la nutrición, tomo I, 2ª edición, editorial médica Panamericana, capítulo 2. Funciones del metabolismo de los nutrientes, segunda fase del ciclo del Krebs, dextracarboxilación – oxidación, pág. 33, México 2010.
41. Castell y cols. Reciclaje y tratamiento de residuos diversos: Reciclaje de residuos industriales, 2ª edición. editorial: Ediciones Díaz de Santos, España. 2012. Pág.: 13-20.
42. Departamento de Salud y servicios Humanos de los EE.UU, Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Resumen de salud pública. Formaldehído CAS#: 50-00-0 [en línea] 1999. [consulta: 09.05.2015] [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs111.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.pdf)
43. ASEF (Association Santé Environnement France), Chemical watch, Global risk & regulation news. France proposes new cancer classification for formaldehyde. [en línea]. 2010. [consulta: 11.04.2015] <https://chemicalwatch.com/5928/france-proposes-new-cancer-classification-for-formaldehyde>
44. Nota técnica de Prevención NTP 466, Calidad del aire: determinación ambiental de formaldehído y medición de su contenido en tableros. Instituto Nacional de Salud e Higiene en el Trabajo (INSHT). [en línea]. 1999. [consulta: 08.04.2015] [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp\\_466.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_466.pdf)
45. Instituto de Seguridad y Salud Ocupacional del Seguro Social Alemán de Accidentes (IFA). Lista de Límites de Seguridad y Salud en el Trabajo (IFA Informe 1/2013). [documento en línea]. 2013. [consulta: 12.03.2015] <http://www.dguv.de/ifa/Publikationen/Reports-Download/Reports-2013/IFA-Report-1-2013/index.jsp>
46. Latorre N, Silvestre J, Monteagudo A. Dermatitis de contacto alérgica por formaldehído y liberadores de formaldehído. [documento en línea]. Actas Dermo-Sifiliográficas, Volume 102 (2): 86-97. 2011. [consulta: 09.04.2015] [http://apps.elsevier.es/watermark/ctl\\_servlet?\\_f=10&pident\\_articulo=90001142&pident\\_usuario=0&pcontactid=&pident\\_revista=103&ty=80&accion=L&origen=actasdermo&web=www.actasdermo.org&lan=es&fichero=103v102n02a90001142pdf001.pdf](http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=90001142&pident_usuario=0&pcontactid=&pident_revista=103&ty=80&accion=L&origen=actasdermo&web=www.actasdermo.org&lan=es&fichero=103v102n02a90001142pdf001.pdf)
47. Norma Técnica Sanitaria de El Salvador. Diario Oficial. Tomo N° 383 - número 103. Viernes 05 de junio 2009. Norma Técnica sanitaria para el manejo y uso de cadáveres en docencia. Pág. 59 – 74. [documento en línea]. 2015. [consulta: 31.08.2015] <http://www.diariooficial.gob.sv/diarios/do-2009/06-junio/05-06-2009.pdf>

48. Diario Oficial de la Unión Europea. Reglamento (UE) No 605/2014 de la comisión de 5 de junio de 2014. Consejo de clasificación etiquetado y envaso de sustancias y mezclas (reglamento CLP). Indicadores de peligro. [documento en línea]. 2014. [consulta: 01.04.2015] <http://www.boe.es/doue/2014/167/L00036-00049.pdf>
49. Asistencia Sanitaria Económica para Empleados y Obreros (ASEPEYO), Medición y muestreo Dirección Seguridad e higiene. Control ambiental de la exposición a formaldehído. Clasificación de los métodos para la medición del formaldehído en aire. [documento en línea]. 2014. [consulta: 20.04.2015] [http://www.formacionsh.asepeyo.es/contenidos/sh/DSH\\_MEDMUES\\_AICC/CONTENT/MEDIA/PDF/I1\\_3.PDF](http://www.formacionsh.asepeyo.es/contenidos/sh/DSH_MEDMUES_AICC/CONTENT/MEDIA/PDF/I1_3.PDF)
50. Nota técnica de Prevención NTP 587, Evaluación de la exposición a agentes químicos: Instituto Nacional de Salud e Higiene en el Trabajo (INSHT). [en línea]. 2001.[consulta:08.04.2015] [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_587.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_587.pdf)
51. Ghasemkhani M, Jahanpeyma F, Azam K. Formaldehyde exposure in some educational hospitals of Tehran. [seriada en línea] Occupational Health Department, School of Public Health and Institute of Public Health Research, Tehran University of Medical Sciences. Oct;43(4):703-7. 2005. [consulta: 15.03.2016] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16294927>
52. Ohmichi K, Komiyama M, Matsuno Y, Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory--personal exposure level is higher than indoor concentration. [seriada en línea] Department of Bioenvironmental Medicine, Chiba University, Japan. Mar;13(2):120-4. 2006. [consulta: 15.03.2016] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16612901>
53. Lakchayapakorn K, Watchalayarn P. Formaldehyde exposure of medical students and instructors and clinical symptoms during gross anatomy laboratory in Thammasat University. [seriada en línea]. Department of Preclinical Science, Faculty of Medicine, Thammasat University, Bangkok, Thailand. Dec;93 Suppl 7:S92-8. 2010. [consulta: 02.02.2016] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21294402>
54. European Chemicals Agency (ECHA). Formaldehyde. [seriada en línea]. 7 de diciembre de 2012. [consulta: 15.04.2015]. <http://echa.europa.eu/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table>

55. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Informe anual. Modificación de la clasificación del Formaldehído (CAS: 50-00-0) En la 6ª ATP (Adaptación al Progreso Técnico), Reglamento (UE) nº 605/2014 del Reglamento CLP. [consulta: 22.05.2015]. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/873w.pdf>
56. National Toxicology program (NTP). Listed substances toxicology. [documento en línea] 2010. [consulta: 18.03.2015]. [http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/listed\\_substances\\_508.pdf](http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/listed_substances_508.pdf)
57. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Calculadores INSHT. [documento en línea] 2010. [consulta: 24.11.2016]. <http://calculadores.insht.es:86/Exposici%C3%B3naagentesqu%C3%ADmicos/Introducci%C3%B3n.aspx>
58. Nota técnica de Prevención NTP 553: Agentes químicos: estrategias de muestreo y valoración [en línea]. 2000. [consulta: 24.11.2016] [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_587.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_587.pdf)