



Universidad Nacional del Comahue

Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud

“Evaluación de la exposición a dióxido de carbono proveniente de la combustión de pastos naturales en Bomberos Voluntarios de Centenario”

Brogin, Pablo Andrés

Tesis de Grado

Licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo



Autor

Brogin Pablo Andrés

Legajo

129565

Directora de Tesis

Dra. Guiñazú Natalia

Fecha de Aprobación de Plan de Tesis

Noviembre del 2015.

Fecha de Finalización de Tesis

Noviembre del 2016

RESUMEN

Se desarrolló una investigación con la finalidad de determinar qué efectos y síntomas genera el dióxido de carbono (CO_2) proveniente de la combustión de pastos naturales a elevadas dosis en exposiciones agudas sobre la salud de los Bomberos Voluntarios de la ciudad de Centenario durante el desempeño de las actividades de extinción. Se evaluó por una parte, cómo influye en dichos efectos y síntomas el desplazamiento de oxígeno (O_2) a nivel atmosférico como consecuencia de la presencia de elevadas concentraciones de CO_2 y por otra, el uso, la presencia y el funcionamiento de los elementos de protección respiratoria (EPR) utilizados para estos tipos de contingencias. Además, se efectuó un relevamiento de los móviles de emergencia que la central de bomberos posee para dichos tipos de siniestros.

Con estos fines se efectuó la medición de las concentraciones atmosféricas de oxígeno empleando un medidor de cuatro gases durante el desarrollo de un incendio real de pastos naturales y bines de madera, en las que no se detectó desplazamiento alguno del citado gas como consecuencia de los gases de combustión; sumado a esto, se efectuó una autoconsulta a los bomberos respecto a los síntomas y efectos generados en ellos tras sus labores de extinción en incendios forestales (evaluando en este caso dos grupos, el primero que asistió al incendio, y el segundo en base a su experiencia en este tipo de actividades). En adición, se relevaron estudios efectuados a nivel global los cuales identificaron diversos síntomas y efectos en base a diferentes concentraciones de CO_2 y la deficiencia de O_2 atmosférico, y finalmente se evaluaron los antecedentes de la institución que datan del año 2015 respecto a los siniestros a los que los bomberos asisten diariamente.

Se concluyó que en los incendios forestales pueden generarse muy elevadas concentraciones de CO_2 , lo que genera principalmente efectos tales como hipoxia, acidez y probablemente hipercapnia, pero a pesar de esto los síntomas y efectos no pueden ser atribuidos únicamente a este gas, debido a que su accionar tanto a nivel atmosférico como dentro del cuerpo se encuentra íntimamente relacionado con el oxígeno.

PALABRAS CLAVE

Dióxido de carbono, incendio de pastos naturales, efectos y síntomas.

ABSTRACT

An investigation was conducted with the objective of identify the effects and symptoms produced from a short exposure at high dosis of carbon dioxide (CO₂) by the combustion of natural *grassland* to the health of Centenario's Volunteer Firefighters, while firemen perform extinguishing activities. On one hand, was evaluated how the displacement of oxigen at an atmospheric level as a consequence of high CO₂ concentrations, affects the previously mentioned effects and symptoms; and on the other hand, the use, presence and proper functioning of Respiratory Protective Equipment (RPE) on these kind of contingencies, plus a survey of emergency trucks that the fire central has for these type of sinisters.

With these goals, a measurement was realized of the atmospheric concentration of oxigen, using a four gases meter during the development of a real grassland fire and wooden planks, where no displacement of oxigen was detected as a consequence of combustion gases presence; Moreover, an auto-questionnaire was realized among the firefighters where they identify symptoms and effects on them once finaliced the extinguish activities (in this case two groups where evaluated, the first one with presence on the sinister, and the second according to the experience on these type of activities). In addition, studies from all over the world were relevated and among them, symptoms and effects were identify according to different CO₂ concentrations and atmospheric oxigen deficiencies. Finally, the antecedents (year 2015) of the firehouse were evaluated in order to relevate the sinisters asisted daily from these firefighters.

It was concluded that grassland fires can generate very high CO₂ concentrations, that mostly generate hipoxia, acidity and probably hipercapnia. Besides this, the effects and symptoms cannot be attributed only to CO₂ because its action at an atmospheric level and inside the body its intimately related to oxygen.

KEY WORDS

Carbon dioxide, grassland fire, effects, symptoms.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO	pág.1
1.1	Fuego y Gases de Combustión.....	pág.1
1.2	Fisiología del Aparato Respiratorio y la Homeostasis.....	pág.10
1.3	Toxicología.....	pág.35
1.4	Efectos de la exposición a CO ₂	pág.39
1.5	Efectos de la exposición a CO ₂ derivado de la combustión.....	pág.51
1.6	Elementos de Protección Personal/Respiratoria.....	pág.58
1.7	Marco Legal.....	pág.61
1.8	Contextualización Regional de la Problemática Estudiada.....	pág.67
2.	OBJETIVOS	pág.69
2.1	Objetivo General.....	pág.69
2.1.1	Objetivos Específicos.....	pág.69
3.	ESTRATEGIA METODOLÓGICA	pág.70
3.1	Trabajo de Campo.....	pág.70
3.1.1	Muestreo de Gases y Descripción del Instrumento.....	pág.70
3.1.2	Relevamiento de las Actuaciones.....	pág.73
3.2	Sujeto de Estudio.....	pág.74
3.3	Relevamiento de Elementos de Protección Respiratoria.....	pág.76
3.3.1	Móviles de Emergencia para Incendios Forestales.....	pág.76
3.4	Autoconsulta de Exposición.....	pág.78
3.5	Autoconsulta de Experiencia en Incendios de Pastos Naturales.....	pág.79
3.6	Estimación de la concentración de anhídrido carbónico CO ₂	pág.80
3.7	Análisis de Datos.....	pág.81
4.	RESULTADOS	pág.82
4.1	Antecedentes de la Institución Estudiada.....	pág.82
4.2	Muestreo de gases in situ.....	pág.84
4.3	Siniestro.....	pág.85

4.4	Relevamiento de Máscaras con Filtro.....	pág.87
4.4.1	Móviles de Emergencia para Incendios Forestales.....	pág.91
4.5	Exposición.....	pág.93
4.6	Experiencia.....	pág.95
4.7	Evaluación Individual y Global de Datos Recopilados.....	pág.97
5.	APORTES DEL MARCO TEÓRICO.....	pág.101
6.	CONCLUSIONES FINALES.....	pág.110
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	pág.115
	ANEXOS	
	ANEXO I - MANUAL DE MEDIDOR DE GASES ALTAIR 4X / RELEVAMIENTO FOTOGRÁFICO.....	pág.119
	ANEXO II - PARTE DE SERVICIO, “ANEXO I” Y “ANEXO II”.....	pág.122
	ANEXO III PARTE I - REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL INSTRUMENTO EN EL MUESTREO DE GASES.....	pág.124
	ANEXO III PARTE II – REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL SINIESTRO.....	pág.126
	ANEXO III PARTE III – REGISTRO FOTOGRÁFICO RELEVAMIENTO DE MÁSCARAS CON FILTRO.....	pág.128
	ANEXO III PARTE IV – CUESTIONARIOS.....	pág.137
	ANEXO IV - SOLICITUD/AUTORIZACIÓN.....	pág.142

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

Figura 1 - Zona de conducción del aparato respiratorio.....	pág.10
Figura 2 - Componentes de nariz, faringe y laringe.....	pág.13
Figura 3 - Árbol bronquial.....	pág.14
Figura 4 - Ramificaciones finales del árbol bronquial.....	pág.17
Figura 5 - Componentes celulares de un alvéolo y detalles de la membrana respiratoria.....	pág.18
Figura 6 - Proceso respiratorio.....	pág.22
Figura 7 - Difusión de gases según gradientes de presión.....	pág.28
Figura 8 - Transporte de oxígeno y dióxido de carbono en sangre según gradientes de concentración.....	pág.33
Tabla 1 - Efectos de asfixiantes simples a diferentes saturaciones de hemoglobina arterial.....	pág.40
Tabla 2 - Balance ácido-base normal, y acidosis y alcalosis respiratoria en humanos.....	pág.41
Tabla 3 - Efectos a cortas exposiciones de CO ₂ en humanos.....	pág.42
Tabla 4 - Síntomas predominantes a exposiciones de 5 minutos a 6 y 8% de CO ₂ en 21% de O ₂	pág.42
Tabla 5 - Efectos de exposiciones a CO ₂ breves en humanos y estándares de exposición ocupacionales.....	pág.44
Tabla 6 - Efectos en cortos períodos de tiempo a concentraciones en el sistema corporal moderadas, altas y muy altas de CO ₂ de humanos adultos Saludables.....	pág.45
Gráfico 1 - Cambio en el pH sanguíneo al aumentar la concentración atmosférica de CO ₂	pág.48
Figura 9 - Máscara con sus diversos componentes.....	pág.59

2. MARCO LEGAL

Tabla 7 - Concentraciones máximas permisibles de CO₂ Dto. 351/79.....pág.63

Protocolo 1 - Medición de contaminantes químicos en el aire de un ambiente de trabajo.....pág.64

3. TRABAJO DE CAMPO

Tabla 8 - Muestras de gases *in situ*.....pág.72

Croquis 1 - Metodología propuesta para el muestreo de gases.....pág.72

Tabla 9 - Siniestro.....pág.73

Tabla 10 - Relevamiento de Máscaras con Filtros.....pág.76

Tabla 11 - Móviles de Emergencia para Incendios Forestales.....pág.77

Cuestionario 1 - Exposición.....pág.78

Cuestionario 2 - Experiencia en Incendios de Pastos Naturales.....pág.79

4. RESULTADOS

Gráfico 2 - Porcentajes de servicios distribuidos por tipo.....pág.82

Gráfico 3 - Incendios distribuidos por categoría.....pág.83

Gráfico 4 - Servicios distribuidos por hora y por tipo.....pág.83

Tabla 8 Completada - Muestras de gases *in situ*-.....pág.84

Tabla 9 Completada - Siniestro.....pág.85

Tabla 10 Completada - Relevamiento de Máscaras con Filtros.....pág.87

Gráfico 5 - Móviles para Incendios Forestales con EPR.....pág.88

Gráfico 6 - Móviles Equipados Empleando Máscaras de Reserva.....pág.88

Gráfico 7 - Relevamiento de Máscaras Aptas / No Aptas.....pág.89

Gráfico 8 - Relevamiento de Filtros Aptos para Incendios Forestales.....pág.90

Gráfico 9 - Saturación de Filtros y sus Fechas de Elaboración.....pág.90

Tabla 11 Completada - Móviles de Emergencia para Incendios Forestales.....pág.92

Tabla de Resultados 1 - Cuestionario 1 – Exposición.....pág.94

Tabla de Resultados 2 - Cuestionario 2 - Experiencia.....pág.96

Gráfico 10 – Primer Grupo: Evaluación de Exposición - Uso de E.P.R. en Incendios Forestales.....pág.97

Gráfico 11 – Segundo Grupo: Evaluación de Experiencia – Uso de E.P.R. en Incendios Forestales.....	pág.97
Gráfico 12 - Evaluación Global: Uso de E.P.R. en Incendios Forestales.....	pág.98
Gráfico 13 – Evaluación Primer Grupo: Síntomas / Efectos, Tiempo de Exposición a Gases, Dosis.....	pág.98
Gráfico 14 – Evaluación Segundo Grupo: En base a la Experiencia - Síntomas / Efectos.....	pág.99
Gráfico 15 - Evaluación Global: Síntomas / Efectos.....	pág.100
5. APORTES DEL MARCO TEÓRICO	
Tabla 12 “A” – Efectos a Corto Plazo de Exposiciones a CO ₂	pág.107
Tabla 12 “B” – Efectos a Corto Plazo de Exposiciones a CO ₂	pág.107
Tabla 12 “C” – Efectos de CO ₂ inhalado en cortos períodos de tiempo a diversas dosis.....	pág.108

1. INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

1.1 Fuego y Gases de Combustión

Según lo indicado por Red Proteger (2013), la **combustión** es una reacción química de reducción-oxidación que se genera únicamente en el caso de encontrarse los siguientes componentes: calor, comburente y combustible (que forman el triángulo de fuego). En esta, se produce una transferencia de electrones de un agente que se oxida (pierde electrones) a otro que se reduce (gana electrones). Por lo general el agente que se oxida es el combustible y el agente reducido es el comburente u oxígeno. Esta reacción es exotérmica, autoalimentada, y genera además humo, gases de combustión y llamas. Requiere de un combustible que puede encontrarse en fase sólida (que debe evaporarse previo a arder ó arder directamente mediante incandescencia o rescoldos), líquida (que debe evaporarse) o gaseosa (que arde directamente). Para el caso de los sólidos puede producirse la descomposición química de sus moléculas generado por parte del calor, con el fin de que pase al estado gaseoso, lo que se denomina pirólisis. El **inicio de la reacción** variará dependiendo del combustible a incinerarse y se producirá:

- Al alcanzarse el **punto de flasheo** (temperatura mínima en la cual el combustible comienza a desprender gases inflamables que pueden generar el fuego pero no mantenerlo, por lo que se requerirá de mayor temperatura para lograr la combustión). Para este caso se requiere de una fuente de energía tal como una chispa que pueda dar inicio a la reacción.
- Al alcanzar la **temperatura de ignición** (en la cual la reacción puede mantenerse en el tiempo siempre y cuando tenga los componentes del triángulo del fuego en proporciones adecuadas). Se requiere también la energía de activación.
- Al alcanzar la **temperatura de autoignición**, temperatura muy elevada en la cual no se requiere del aporte externo de una fuente de energía.

El Consejo de Capacitación de la Federación de Asociaciones de Bomberos Voluntarios de la Provincia de Buenos Aires (en adelante C.C.F.A.B.V.P.B.A.) en el año 2013,

indicó que actualmente podemos encontrar las siguientes **clases de fuego**, las cuales dependen del tipo de combustible involucrado:

- **Clase A:** materiales sólidos como madera, carbón, papel, plásticos y similares.
- **Clase B:** sustancias líquidas tales como alcoholes, disolventes e hidrocarburos y sus derivados.
- **Clase C:** fuegos clase A o B que se encuentran energizados eléctricamente.
- **Clase D:** metales como el magnesio, sodio, titanio, zirconio, etc. que al arder liberan muy elevadas cantidades de energía y que a su vez pueden combustionar violentamente. Para su extinción no debe emplearse agua debido a que generalmente reaccionan violentamente a la misma.
- **Clase K:** aceites vegetales y grasas animales, generalmente extinguidos mediante el uso de acetato de potasio, debido a que reaccionan violentamente al agua.

Continuando con lo indicado por Red Proteger, dependiendo de cómo se encuentren los reactivos (comburente y combustible) previo al inicio de la reacción se determinará cómo se generará la llama, con lo que podemos obtener una **llama de difusión** en la cual los gases de la combustión y el oxígeno del aire se van mezclando gradualmente (lo que genera una elevada cantidad de humo, hollín e incandescencia amarilla) ó podemos obtener una **llama de pre-mezcla** en la que el oxígeno y el combustible son mezclados previo al iniciar la reacción, con lo que se produce una reacción mucho más eficiente, de mayor temperatura, de menor generación de productos de la combustión (tales como hollín) y de menor incandescencia amarilla (esta incandescencia es la principal fuente de humo y hollín en un incendio). Estos tipos de llama pueden sencillamente observarse en la coloración generada en la combustión, dado que una coloración azul indica una pre-mezcla de los gases, mientras que una coloración roja-naranja-amarilla indican que la mezcla de gases se va efectuando (por lo menos en esa parte de la llama) de manera gradual e involucra de reducción del comburente que se va uniendo a la reacción pero que no tienen el tiempo suficiente para oxidar por completo a los gases combustibles o no posee la presencia suficiente de gases de la combustión para reaccionar. Otro tipo de **llama es la incandescente**, la cual se genera en

un combustible que posea una baja transferencia del calor y una elevada porosidad, por lo que es una reacción lenta y sin llama visible, pero que luego puede transformarse en una combustión con llama. Asimismo, una combustión con llama podrá transformarse en una incandescente en el caso en que el material combustible (como la madera) se agote de manera tal que ya no pueda seguir emitiendo gases combustibles, por lo que la pirolización cesa y se comienza a quemar directamente el sólido. Finalmente puede generarse una **llama autónoma**, en la que el mismo combustible (como por ejemplo la nitrocelulosa) al descomponerse genera el oxígeno necesario para mantener la reacción.

Continuando con lo descripto, Red Proteger indicó que una vez generada la combustión, al encontrarse esta dentro de los **límites superior e inferior de inflamabilidad** (valores de mezcla entre los gases generados por el combustible y el oxígeno en los cuales la combustión puede generarse, que a su vez depende del combustible que forma parte de la reacción y de la temperatura del lugar, dado que el aumento de esta última ampliará dichos límites) esta empieza a consumir los gases inflamables generados por el combustible, así como el oxígeno presente en la atmósfera. Para que la reacción se mantenga y crezca los gases inflamables generados por el combustible, gracias a la acción del calor, deben ser mayores que los consumidos por la reacción. Ésto, denominado **reacción en cadena**, se genera cuando al oxígeno se le aporta suficiente energía y en consecuencia este se excita por lo que reacciona con las moléculas del combustible generando de esta manera energía y reaccionando con otras moléculas de oxígeno presentes en el ambiente y a su vez liberando más moléculas del combustible gracias a la acción del calor. Lo que realmente importa es que en la llama se generan una gran diversidad de reacciones químicas que tienen como resultado la liberación de tres átomos de hidrógeno cuya finalidad es la de continuar reaccionando con átomos de oxígeno y oxhidrilos para continuar con la cadena.

Según lo indicado por el C.C.F.A.B.V.P.B.A. (2013), la granulometría del combustible así como su superficie en contacto con los gases de la atmósfera influirán en la **velocidad de la combustión**, dado que a menor granulometría y mayor superficie de contacto del material con el aire, más rápidamente se quemará, y lo opuesto se producirá en el caso de ser un

elemento grueso y de poca superficie de contacto. Lo mismo aplica tanto al material sólido como a los gases, polvos, vapores, etc.

Red Proteger (2013) indicó también que la combustión al ser exotérmica libera dos tercios de su **energía** mediante las formas de transferencia del calor (convección, conducción y radiación) lo cual permite su propagación y el calentamiento de las zonas aledañas; un tercio de la energía restante se emplea en misma reacción para que esta emita mayor cantidad de gases inflamables y no se extinga, pero para lograr esto también debe la velocidad de generación de la energía ser mayor que la de disipación de la misma. El calor proveniente de la reacción entonces se propaga ascendentemente (**convección**) debido a que los gases calientes tienen menor densidad que el aire por lo que son más livianos que este y por ende suben. El espacio libre que los gases calientes dejan en las partes inferiores del lugar, genera una depresión que atrae aire a menor temperatura que en parte es utilizado en la combustión. Además, la propagación del calor también se genera como consecuencia del contacto directo entre los materiales lindantes, lo cual depende de la conductividad térmica de estos y su objetivo es generar un equilibrio térmico entre ambos al igualar sus temperaturas, lo que se denomina **conducción**. La tercer forma de transmisión del calor es la **radiación**, caracterizada por transmitirse en línea recta mediante ondas mayormente infrarrojas en todas las direcciones, las cuales pueden ser reflejadas, absorbidas o transmitidas por los materiales receptores. Mientras mayor sea el incendio, mayor será la energía transmitida por este medio.

El **aire** se compone de una mezcla de gases, ente ellos un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno, un 0,9% de argón, un 0,04% de dióxido de carbono y un 0,01% de hidrógeno aproximadamente, de los cuales no todos reaccionan en la combustión en caso de generarse, por lo que estos gases inertes (como el N_2 y el Ar u otros que no reaccionen como el dióxido de azufre o gases que se encuentren en cantidades excedentes como el oxígeno) pasarán directamente a los gases de la combustión. La combustión puede ser:

- **Completa** (idealmente) se cuenta con la cantidad exacta de oxígeno para oxidar todos los gases inflamables presentes en la reacción y en consecuencia no se emite ni oxígeno ni sustancias combustibles en los humos, por lo que en estos se encontrarán

aquellos gases que no formaron parte de la reacción y otros típicos tales como CO_2 y H_2O .

- **Incompleta** genera inquemados, entre ellos H_2 , CO , carbono, hidrocarburos, ácido sulfhídrico, etc. dado que no logra oxidar todos los gases de la combustión, pero si de algún modo apareciese el oxígeno necesario en el lugar este completaría la combustión de los gases pudiendo reactivarse abruptamente el incendio.
- **Con exceso de aire u oxígeno.** En la primera de estas no se generan gases de la combustión incompleta debido al exceso de aire, pero por otra parte se produce una pérdida de calor en la reacción. En la segunda mientras mayor sea el exceso de oxígeno, mayor será la generación de calor, el incremento de la temperatura de la llama, la propagación del fuego, la radiación y la emanación de gases de la combustión incompleta tales como el hollín, además los límites superior e inferior de inflamabilidad se ampliarán, y la temperatura así como el punto de ignición serán menores.

Los **productos de la combustión** dependerán del combustible siendo quemado y en menor medida de la concentración de oxígeno de la reacción, las sustancias generalmente producidas son:

- **Monóxido de carbono (CO):** gas incoloro e inodoro encontrado en todos los incendios, cuya concentración estará directamente relacionada con la deficiencia en la ventilación (oxígeno), por lo que es un producto de la combustión incompleta. A mayor oscurecimiento en los humos de la combustión, se presumirá una mayor concentración de CO debido a que el humo negro tiene un alto contenido de partículas de carbono y monóxido de carbono. La toxicidad de este gas se debe a que posee una mayor afinidad por la hemoglobina de la sangre que el O_2 (es alrededor de doscientas veces más fácil su unión), por lo que desplaza al oxígeno de la sangre y conduce a una eventual hipoxia. Vale aclarar que 25ppm (0,0025%) es el valor límite umbral para concentraciones máximas permisibles (CMP) ponderadas en el tiempo

de ocho horas diarias cuarenta horas semanales para los trabajadores según lo establece la Ley 19.587/72 Dto. 351/79 Anexo III.

- **Anhídrido carbónico (CO₂):** gas incoloro, inodoro y no inflamable resultante de la combustión completa de materiales carboníferos, por lo que se encuentra en concentraciones elevadas en incendios bien ventilados. Según lo establece el Dto. 351/79 Anexo III, es un gas asfixiante que posee una concentración máxima permisible ponderada en el tiempo de 5.000ppm (0,5%), y un valor techo (CMP-C) y una concentración máxima permisible para cortos períodos de tiempo (CMP-CPT) (quince minutos continuos en hasta cuatro exposiciones diarias separadas entre sí por mínimamente una hora) de 30.000ppm (3%).
- **Cianuro de hidrógeno o ácido cianhídrico (HCN):** gas incoloro con olor a almendra, clasificado como asfixiante químico debido a que interfiere con la respiración celular y de los tejidos. Es unas veinte veces más tóxico que el CO y además, es uno de los asesinos más veloces en un incendio. Este gas se produce por la combustión de materiales naturales o sintéticos que contienen nitrógeno (lana, seda, polímeros, nylon, poliuretano, lona, caucho, papel y resinas de urea). Según el Dto. 351/79 Anexo III los efectos críticos del gas son su afectación sobre el sistema nervioso central, los pulmones y la tiroides, y genera irritación y anoxia.
- **Acroleína:** potente gas irritante sensorial y pulmonar, emitido por los rescoldos (brasas) de materiales celulósicos y el polietileno. Según el Dto. 351/79 Anexo III este gas puede generar tanto irritación como edema pulmonar.
- **Óxidos de nitrógeno (NO_x):** estos óxidos involucran la combinación de dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxido nítrico (NO) (este último se convierte rápidamente a NO₂ con la presencia de O₂ o humedad). Estos gases provienen de la oxidación de materiales que contienen nitrógeno (incluyendo también al HCN y al nitrógeno del aire como otras fuentes de NO_x). El NO₂ es un irritante pulmonar color castaño rojizo que pueda causar edema pulmonar y muerte por asfixia, y cuyos efectos pueden ser aparentes varias horas después de su exposición (siendo así tan tóxico como el HCN), mientras

que el NO posee un quinto de dicha toxicidad. Otro factor importante de los NO_x es que son solubles en agua y reaccionan con oxígeno formando ácido nítrico y nitroso, los cuales son neutralizados por los álcalis en los tejidos del cuerpo formando nitritos y nitratos (éstos pueden causar colapso, coma, dilatación arterial, dolores de cabeza y vértigo). Según lo establecido por el Anexo III del Dto. 351/79, la CMP del NO es de 25ppm (0,0025%) y genera anoxia, irritación y cianosis, mientras que el NO₂ genera irritación y edema pulmonar, y su CMP es de 3ppm (0,0003%) y sus CMP-CPT y CMP-C son de 5ppm (0,0005%).

- **Humo visible/hollín:** materia carbonosa compuesta de partículas sólidas de diferentes tamaños y colores, y líquido atomizado en suspensión (aerosol) con tamaños entre 0.005 y 0.01 milimicras que obstaculizan el paso de luz hasta impedirlo por completo. Se genera tras una combustión incompleta, y su color varía con la concentración de oxígeno y el material en combustión. Sus mayores riesgos son impedir la visión, y los efectos irritantes y sobre el sistema respiratorio.

Las formas de **extinción del fuego** se basan en el denominado tetraedro del fuego, compuesto por comburente, combustible, calor y reacción en cadena. Para lograrlo se debe eliminar o reducir uno o varios de estos componentes, lo cual puede lograrse de la siguiente manera:

- **Comburente o agente oxidante:** por lo general es el oxígeno del aire atmosférico el componente que forma parte de la reacción, y debe removerse este mediante la aplicación de otros gases inertes o que no reaccionen químicamente tales como nitrógeno, argón, helio, dióxido de carbono o vapor de agua. Si por el contrario se aumenta la proporción de oxígeno en la reacción, esta generará mayor temperatura e incluso aumentará la velocidad de la misma de manera tal de producir una deflagración o explosión.
- **Calor:** mediante el enfriamiento lo cual puede llevarse a cabo sobre el elemento que está ardiendo por conducción, toda vez que si se enfrían las zonas aledañas a las de generación del fuego este bajará gradualmente su temperatura hasta generarse un

equilibrio térmico entre las partes en contacto. También puede disminuirse el calor de la llama al aplicar agua pulverizada por ejemplo. Además el enfriamiento puede generarse de manera indirecta al inhibir la reacción en cadena con lo que disminuirá la generación de calor.

- **Combustible:** este debe ser eliminado separándolo físicamente de la reacción o simplemente llevándolo a niveles que excedan de manera superior o inferior los límites de inflamabilidad.
- **Reacción en cadena:** esta se genera al excitarse el oxígeno con una fuente de energía, lo que conlleva a reaccionar con las moléculas del combustible produciendo calor, por lo que los agentes extintores empleados devienen su accionar al reaccionar químicamente con el oxígeno excitado e impidiendo que este reaccione con las moléculas del combustible y de esta manera no generando el calor suficiente para la reacción. Además, también puede deber su accionar al interferir en la generación de los tres átomos de hidrógeno necesarios para la prosecución de la reacción.

Según investigó Red Proteger (2013), para el caso particular de **materiales celulósicos como la madera**, al exponerse al calor empieza a evaporarse el agua presente en la misma en forma de vapor de agua desde el exterior hacia el interior de esta. Tras esto (superados los 250 °C) comienza la decoloración que da inicio a la pirólisis que emite gases combustibles y genera un residuo denominado carbón (carbonización). Continuando en el tema, Suhiltzaileak Nafarroako (s.f.) determinó que el material celulósico también componente principal del papel, vegetales e infinidad de tejidos, poseen un punto de ignición de 230°C el cual depende de la densidad, características físicas, humedad, velocidad y duración del calentamiento, naturaleza del foco de calor, suministro y velocidad del aire, pero por otra parte, los vegetales y la madera en sí poseen un punto de ignición mayor alcanzando los 310°C a 390°C aproximadamente. Continuando en el tema, Solá de los Santos J., Hernández Pérez J.L. y Fernández Cruz R. (s.f.) indicaron que el **calor específico** (cantidad de calor que necesita la unidad de masa de un material para aumentar 1°C su temperatura) de la celulosa se caracteriza por ser mucho menor que el del agua, dado que es de 1,55 KJ/°K.Kg., mientras



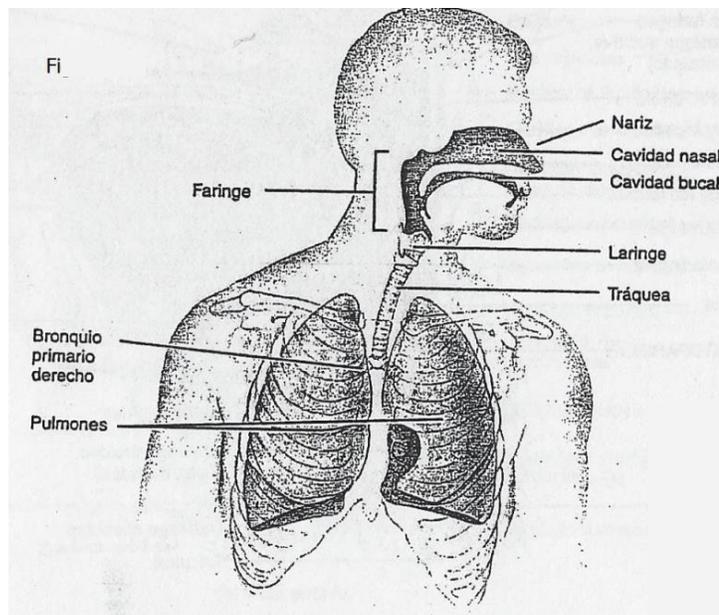
que el del agua es de $4,18 \text{ KJ}/^{\circ}\text{K}.\text{Kg.}$, por lo que requerirá de una cantidad de energía menor para aumentar en 1°C su temperatura. La celulosa genera además por cada kilogramo un calor de $4,0 \text{ Mcal/Kg}$ de **poder calorífico** (cantidad de calor generado por unidad de masa) (Real Decreto 786/2001) y su **conductividad térmica** es de $0,039 \text{ W}/^{\circ}\text{K}.\text{m.}$, lo que indica que en 1 segundo en una superficie de 1 m^2 con un grosor de 1 m y una diferencia de temperatura entre las 2 caras de 1°K , el calor se transmitirá con dicho valor a través del material.

1.2 Fisiología del Aparato Respiratorio y la Homeostasis

Es imprescindible para poder llevar a cabo una evaluación de los efectos de los gases sobre el organismo, tras la inhalación de estos, conocer en profundidad el **aparato respiratorio**, es por esto que se procederá a describir en detalle el funcionamiento de este, de manera específica para cada una de sus partes y todo aquello que se encuentre relacionado con el mismo que pueda tener relación con el tema en investigación.

Con tal sentido, Tortora, G. J. y Derrickson, B. en su libro *Principios de Anatomía y Fisiología*, indicaron que: éste está comprendido por nariz, faringe (garganta), laringe (órgano de la voz), tráquea, bronquios y pulmones, y en base a su función puede ser dividido en la **zona de conducción**, que consiste en una serie de cavidades y tubos interconectados dentro y fuera de los pulmones – nariz, faringe, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos, bronquiolos terminales - que filtran, calientan y humectan el aire y lo conducen a los pulmones, y por otra parte la **zona respiratoria**, que está constituida por tejidos dentro de los pulmones donde tiene lugar el intercambio gaseoso - bronquiolos respiratorios, conductos alveolares, sacos alveolares y alvéolos – que son los sitios principales de intercambio de gases entre el aire y la sangre.

Mediante la **Figura 1**, se observa zona de conducción del Aparato Respiratorio:



Vista anterior que muestra los órganos de la respiración. Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006).

La **nariz** se caracteriza por encontrarse dividida en dos porciones, una interna y externa. La porción interna se encuentra conectada en su parte anterior con la porción externa y en su parte posterior con la faringe, y posee una cavidad denominada cavidad nasal que se encuentra cubierta por músculo y mucosa, y en esta se abren los conductos de los senos paranasales (cavidades en ciertos huesos craneales y faciales cubiertos por mucosa) y los conductos nasolagrimales, mientras que por otra parte, la porción externa tiene la función de calentar, humectar y filtrar el aire inhalado.

Cuando el aire entra en las fosas nasales pasa primero a través del vestíbulo, donde el vello grueso que este posee filtra las partículas grandes de polvo. Los cornetes nasales, por su parte, se encuentran recubiertos por mucosa nasal y subdividen cada lado de la cavidad nasal en una serie de espacios en forma de surcos denominados meatos. Tanto dichos cornetes como meatos aumentan la superficie de la nariz interna, lo que genera que al inspirar el aire se desplace alrededor de estos, donde es calentado por la sangre en los capilares. El moco secretado por las células calciformes humedece el aire y atrapa las partículas de polvo mientras que los conductos nasolagrimales al ser drenados, contribuyen a humidificar el aire y las secreciones de los senos paranasales, para que los cilios desplacen el moco y las partículas de polvo atrapadas hacia la faringe, punto en el cual se puede deglutir o escupir de manera que son eliminados del aparato respiratorio.

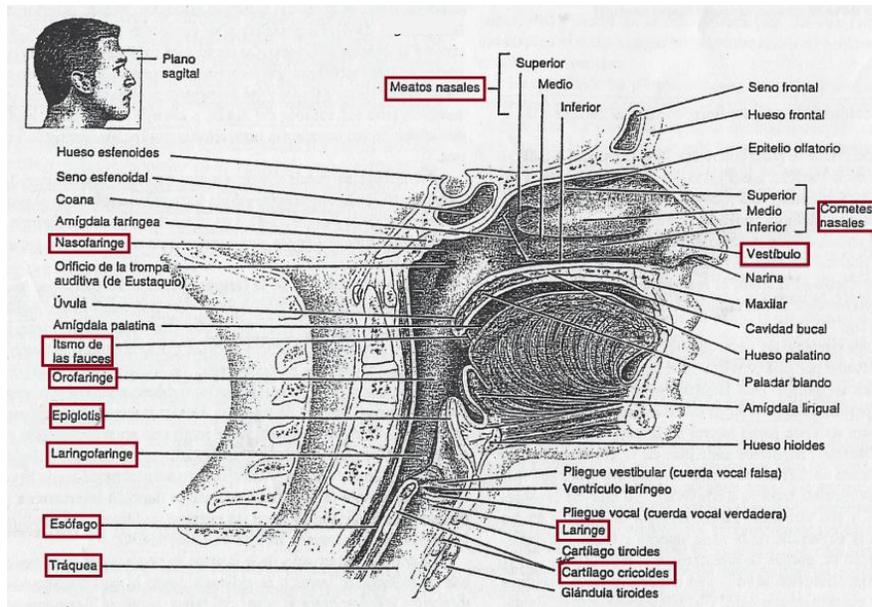
Tal y como se determinó anteriormente, el órgano ubicado tras la parte posterior de la nariz interna es la **faringe o garganta**, dicho órgano es un conducto con forma de embudo que se extiende hasta el cartílago cricoides, el más inferior de la laringe, su finalidad principal es permitir el paso del aire, y su pared se caracteriza por estar formada por músculo esquelético y revestida por una membrana de mucosa. Este conducto se divide en la nasofaringe, la orofaringe, y la laringofaringe. En la primera de estas se encuentran dos fosas nasales internas (por las que se recibe aire desde la cavidad nasal junto con grumos de moco cargados de polvo, y además, posee epitelio cilíndrico pseudoestratificado ciliado que se encarga de mover el moco hacia la parte más baja de la faringe) que se comunican con la orofaringe, esta última caracterizada por contener el istmo de las fauces, que es el paso

común para el aire, los alimentos y líquidos desde la boca. Finalmente, la laringofaringe se abre hacia el esófago en su parte posterior y hacia la laringe en su parte anterior, y es una vía tanto respiratoria como digestiva.

Tal y como se mencionó, a continuación se encuentra la **laringe** la cual es un pasaje corto que conduce hasta la tráquea que posee una pared compuesta por cartílagos impares (tiroides, epiglotis y cricoides) y por cartílagos pares (aritenoides, cuneiformes y corniculados). El cartílago epiglotis posee forma de hoja, está cubierto de epitelio y su parte superior puede moverse hacia arriba y hacia abajo, por lo que al tragar cuando la faringe y laringe ascienden, la epiglotis se mueve hacia abajo y cubre como una tapa a la glotis (pliegues de membrana mucosa) cerrándola, lo que permite durante la deglución que los líquidos y el alimento se dirijan hacia el esófago, manteniéndolos fuera de la laringe y las vías aéreas. Un suceso que frecuentemente suele darse, es que a la laringe ingresen pequeñas partículas de polvo, humo, comida o líquido, y al suceder esto se produce un efecto tusígeno que por lo general expele el material.

El cartílago cricoides está ubicado en la parte inferior de la laringe y es un anillo de cartílago hialino utilizado como referencia para obtener una vía aérea de emergencia. La parte inferior de la laringe y hasta las cuerdas vocales, posee un revestimiento de epitelio cilíndrico pseudoestratificado ciliado que presenta células cilíndricas ciliadas, células calciformes y células basales. Las células calciformes generan moco cuya finalidad radica en atrapar el polvo no eliminado de los conductos anteriores, para luego moverlo por los cilios en el tracto respiratorio superior hacia la faringe.

Mediante la **Figura 2** se observan las partes componentes tanto de la nariz como la faringe y laringe:



Corte sagital del lado izquierdo de la cabeza y cuello que muestra la localización de las estructuras respiratorias. Se resalta en rojo aquellas estructuras de mayor relevancia. Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006).

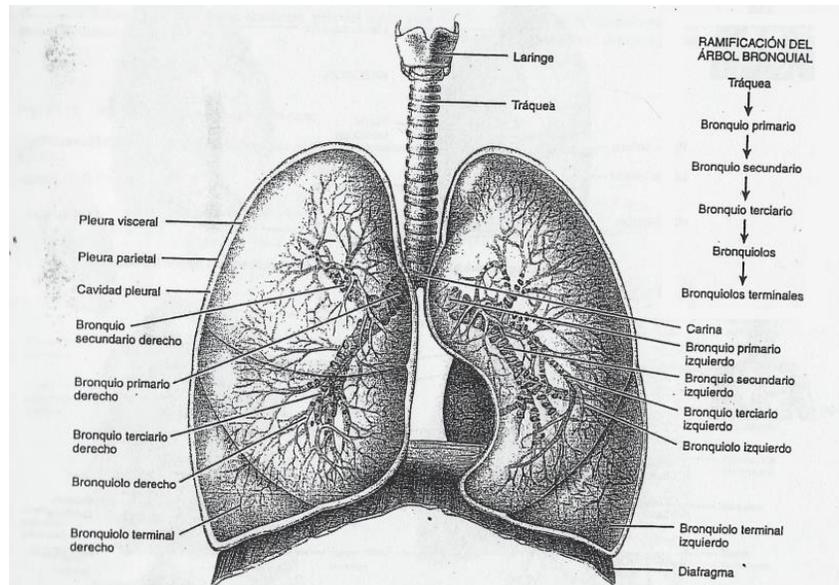
Tras la laringe se ubica la **tráquea**, que es un conducto aéreo tubular que se localiza por delante del esófago y se extiende hasta el borde superior de la quinta vértebra torácica, donde se divide en los bronquios primarios derecho e izquierdo. Su pared está compuesta por las capas: mucosa, submucosa, cartílago hialino y adventicia. La mucosa consiste en una capa de epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado (que provee de la misma protección contra el polvo atmosférico que la membrana de revestimiento de la cavidad nasal y la laringe) y otra de fibras elásticas y reticulares. Cabe aclarar que la capa de cartílago hialino posee anillos con extremos abiertos los cuales son estabilizados por el músculo traqueal y el tejido conectivo elástico, para generar un soporte semirrígido de manera que la pared traqueal no puede colapsarse hacia adentro (especialmente durante la inspiración) y obstruir el paso del aire.

Tal como previamente se mencionó, una vez en la quinta vértebra torácica la tráquea se divide en un bronquio primario derecho que va hacia el pulmón derecho, y un bronquio primario izquierdo que va hacia el pulmón izquierdo. El bronquio primario derecho es más

vertical, corto y ancho que el izquierdo, por lo que es más fácil que un cuerpo extraño aspirado entre y se aloje en este. Una característica importante de los bronquios primarios radica en que poseen anillos con extremos abiertos de cartílago y están cubiertos por epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado.

Ya en la entrada de los **pulmones** los bronquios primarios se dividen para formar bronquios más pequeños (secundarios), uno para cada lóbulo del pulmón (el pulmón derecho tiene tres lóbulos y el pulmón izquierdo tiene dos). Los bronquios secundarios continúan ramificándose y dan lugar a bronquios aún más pequeños, llamados bronquios terciarios que se dividen en bronquiolos, los cuales a su vez se ramifican repetidamente en tubos todavía de menor calibre, denominados bronquiolos terminales. Dicha ramificación que nace en la tráquea se asemeja a un árbol invertido y comúnmente recibe el nombre de árbol bronquial.

Mediante la **Figura 3**, se puede apreciar tanto la tráquea como la ramificación de los bronquios y bronquiolos respectivamente:



Vista anterior de árbol bronquial. Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006).

A medida que la ramificación se hace más extensa en el **árbol bronquial** se generan cambios estructurales, lo cual puede apreciarse dado que en la mucosa del árbol bronquial,

el epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado en los bronquios primarios, secundarios y terciarios, se transforma en epitelio cilíndrico simple ciliado en los bronquiolos más grandes, en epitelio cúbico simple no ciliado sin células caliciformes en los bronquiolos más pequeños y en epitelio cúbico simple no ciliado en los bronquiolos terminales (donde está presente el epitelio cúbico simple no ciliado, las partículas inhaladas son eliminadas por macrófagos). Por otra parte, de manera gradual los anillos con extremos abiertos son reemplazados por placas de cartílago desde los bronquios primarios hasta desaparecer en los bronquios terminales, a medida que esto va sucediendo aumenta la cantidad de músculo liso y como no hay cartílago de sostén, los espasmos musculares pueden obstruir las vías aéreas.

Al realizar actividades físicas, aumenta la actividad en la división simpática del sistema nervioso autónomo (SNA) y, como consecuencia se liberan hormonas adrenalina y noradrenalina, lo que genera la relajación del músculo liso de los bronquiolos y la dilatación de las vías aéreas. Esto produce que el aire llegue a los alvéolos más rápidamente y la ventilación pulmonar mejore, pero en contraposición a esto el sistema parasimpático del SNA puede causar la contracción del músculo liso de los bronquiolos y generar la constricción de los bronquiolos terminales.

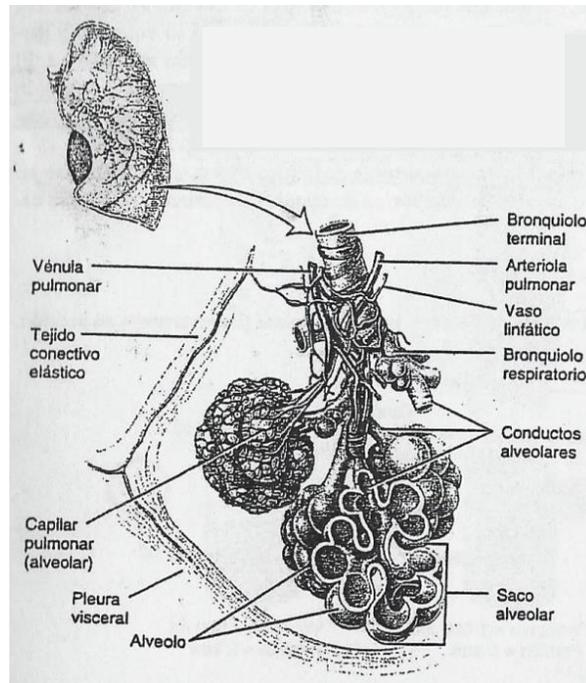
Los **pulmones**, son órganos pares que se caracterizan por tener forma cónica, estar situados en la cavidad torácica, encontrarse separados uno del otro por el corazón y otras estructuras del mediastino (este último divide la cavidad torácica en dos compartimientos anatómicamente diferenciados), y por estar encerrados y protegidos por la membrana pleural (capas cerosas). La membrana pleural está constituida por una capa superficial (pleura parietal) que tapiza la pared de la cavidad torácica y por una capa profunda (pleura visceral) que reviste a los pulmones. Entre ambas capas hay un pequeño espacio denominado cavidad pleural, que contiene líquido lubricante cuya función es reducir la fricción entre las membranas y permitir que se deslicen suavemente una sobre la otra durante la respiración. Los pulmones, en su cara mediastinística contienen hilio, por el cual el bronquio, los vasos sanguíneos pulmonares, los vasos linfáticos y los nervios, entran y salen del órgano. Una característica importante del pulmón izquierdo es que éste, debido al espacio ocupado por el corazón, es un 10% más pequeño que el pulmón derecho, pero por

otra parte, si bien el pulmón derecho es más grueso y más ancho, es también más corto que el pulmón izquierdo dado que el diafragma es más alto en el lado derecho, para dar cabida al hígado que yace por debajo.

Tal como se mencionó de manera previa, el pulmón derecho consta de tres lóbulos (inferior, medio y superior) cada uno con un bronquio secundario, y el pulmón izquierdo solo posee dos (inferior y superior) por lo tanto le corresponden dos bronquios secundarios. Dentro del pulmón a partir de los bronquios secundarios se forman los bronquios terciarios, que son iguales tanto en su origen como en su distribución, hay diez de estos en cada pulmón y abastecen al segmento broncopulmonar. Cada segmento broncopulmonar tiene varios compartimientos pequeños llamados lobulillos que, entre otras cosas, contienen una rama de un bronquiolo terminal, los cuales a su vez se subdividen en ramas microscópicas llamadas bronquiolos respiratorios a medida que penetran más profundamente en los pulmones. Dichos bronquiolos respiratorios, continúan subdividiéndose en conductos alveolares.

Los **conductos alveolares** poseen a su alrededor numerosos alveolos y sacos alveolares. Cada saco alveolar consiste en dos o más alvéolos que comparten una abertura en común y sus paredes tienen células epiteliales alveolares las cuales pueden ser de tipo I (que forman un revestimiento casi continuo sobre la pared alveolar y son el sitio principal de intercambio gaseoso) o de tipo II (que están rodeadas por células epiteliales cúbicas cuyas superficies libres contienen microvellosidades que secretan líquido alveolar para mantener húmeda la superficie entre las células y el aire). En este proceso aparecen además los **macrófagos alveolares**, que están asociados con la pared alveolar y se encargan de eliminar las finas partículas de polvo y otros detritos de los espacios alveolares. También aparecen fibroblastos que producen fibras elásticas y reticulares, y finalmente en la superficie externa de los alvéolos, las arteriolas y las vénulas alveolares se dispersan en una red de capilares sanguíneos.

De esta manera, en la **Figura 4** puede apreciarse una porción de un lobulillo pulmonar:



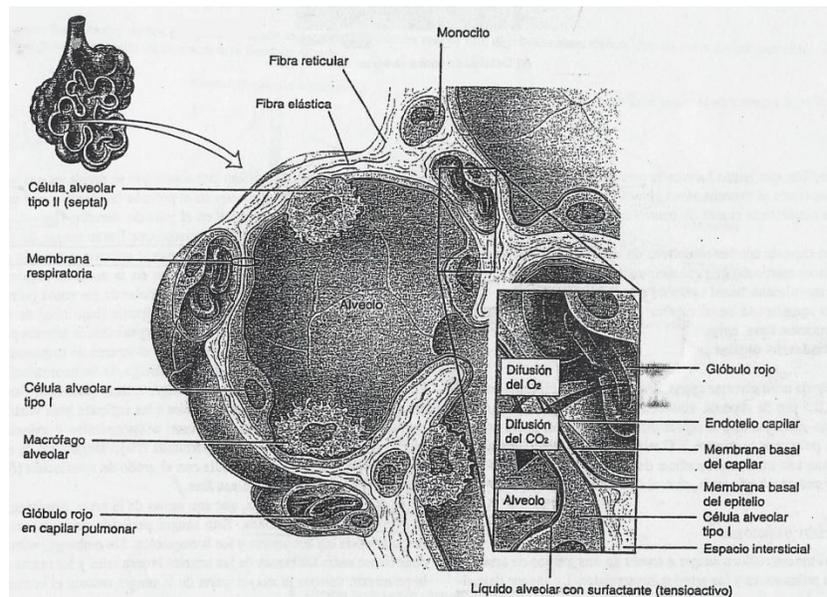
Ramificaciones finales del árbol bronquial. Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006).

El intercambio de O_2 y CO_2 entre los espacios aéreos en los pulmones y la sangre tiene lugar por difusión a través de las paredes alveolar y capilar, que juntas forman la **membrana respiratoria**. Extendiéndose desde el espacio aéreo alveolar al plasma sanguíneo, la membrana respiratoria consta de cuatro capas, pero a pesar de esto es muy fina, lo cual permite una rápida difusión de gases. Un dato importante es que los pulmones contienen unos 300 millones de alvéolos.

Los **pulmones** reciben la sangre a través de dos grupos de arterias: las arterias pulmonares y las arterias bronquiales. Dicha sangre puede encontrarse desoxigenada por lo que pasará a través del tronco pulmonar, que se divide en una arteria pulmonar izquierda que entra en el pulmón izquierdo y una arteria pulmonar derecha que entra en el pulmón derecho. Por otro lado, la sangre oxigenada regresa al corazón mediante las cuatro venas pulmonares que drenan en la aurícula izquierda. Una característica particular de los vasos sanguíneos pulmonares es su contracción en respuesta a la hipoxia (bajo nivel de O_2)

localizada, dado que en todos los demás tejidos del organismo la hipoxia provoca dilatación de los vasos sanguíneos en el intento de aumentar el flujo de sangre, pero en los pulmones se produce la constricción lo que desvía la sangre arterial pulmonar desde las áreas mal ventiladas a las regiones bien ventiladas, generando el fenómeno conocido como relación ventilación-perfusión (la perfusión o flujo sanguíneo de cada área pulmonar se vincula con el grado de ventilación de los alvéolos de esa área). Las arterias bronquiales, que son ramas de la aorta, suministran al pulmón sangre oxigenada la cual perfunde las paredes de los bronquios y los bronquiolos.

Mediante la **Figura 5** se pueden apreciar tanto los componentes celulares de un alvéolo como detalles de la membrana respiratoria:



Componentes celulares del alvéolo y detalles de membrana respiratoria. Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006).

El proceso de intercambio gaseoso en el organismo, llamado respiración, tiene tres pasos básicos: **Ventilación pulmonar** es la inspiración (flujo hacia adentro) y la espiración (flujo hacia afuera) de aire entre la atmósfera y los alveolos pulmonares; **Respiración externa** (pulmonar) es el intercambio de gases entre los alveolos pulmonares y la sangre en los capilares pulmonares a través de la membrana respiratoria (en este proceso, la sangre capilar pulmonar gana O_2 y pierde CO_2); **Respiración interna** (tisular) es el intercambio de

gases entre los capilares sistémicos y las células tisulares (en este paso la sangre pierde O_2 y gana CO_2). Dentro de las células las reacciones metabólicas que consumen O_2 y liberan CO_2 durante la producción de ATP (energía) se llaman **respiración celular**.

En la **ventilación pulmonar** el aire fluye entre la atmósfera y los alvéolos gracias a diferencias de presión alternantes creadas por la contracción y relajación de los músculos respiratorios. La velocidad de flujo aéreo y el esfuerzo necesario para la ventilación son también influidos por la tensión superficial alveolar, la distensibilidad de los pulmones y la resistencia de las vías aéreas. Así, el aire se desplaza hacia los pulmones cuando la presión del aire en su interior es menor que la presión atmosférica, y en contraposición, se moviliza hacia afuera de los pulmones cuando la presión de aire dentro de éstos es mayor que la presión atmosférica.

La introducción del aire en los pulmones se llama **inspiración**, la cual se caracteriza porque justo antes de cada inspiración la presión del aire dentro de los pulmones es igual a la presión atmosférica (una atmósfera aproximadamente), y como es requisito que la presión dentro de los alveolos sea más baja que la presión atmosférica para que el aire fluya hacia el interior de los pulmones, se produce un aumento en el volumen de estos últimos. Esto se genera debido a que la presión de un gas en un compartimiento cerrado es inversamente proporcional al volumen del recipiente, y de esta manera se obligan al aire a entrar en los pulmones cuando inspiramos y salir cuando espiramos. Dicho proceso conlleva la contracción de los principales músculos inspiratorios, el diafragma y los intercostales externos.

El músculo más importante en la inspiración es el **diafragma** (músculo esquelético con forma de cúpula que forma el piso de la cavidad torácica) dado que su contracción (responsable del 75% del aire que ingresa en los pulmones) hace que se aplane y baje su cúpula, lo que aumenta el diámetro vertical de la cavidad torácica. Durante la inspiración normal el diafragma desciende alrededor de 1 cm y ello produce una diferencia de presión de 1 a 3 mmHg y la inspiración de unos 500 mL de aire, y por otra parte en la ventilación forzada, el diafragma puede descender 10 cm lo cual da lugar a una diferencia de presión de 100 mmHg y la inspiración de dos a tres litros de aire.

Los músculos que siguen en orden de importancia en la inspiración son los **intercostales externos**, debido a que cuando estos se contraen (permiten el ingreso a los pulmones de un 25% del aire) elevan las costillas y como resultado hay un aumento del diámetro anteroposterior y lateral de la cavidad torácica.

Durante la inspiración normal la presión entre las dos capas de la cavidad pleural, llamada presión intrapleural, es siempre subatmosférica esto puede verse inmediatamente antes de la inspiración dado que en este momento es 4 mmHg menor que la presión atmosférica, o cerca de 756 mmHg (con una presión atmosférica de 760 mmHg). Cuando el diafragma y los intercostales externos se contraen y el tamaño total de la cavidad torácica aumenta, el volumen de la cavidad pleural también se incrementa, lo cual hace que descienda la presión intrapleural a alrededor de 754 mmHg. Durante la expansión del tórax la pleura parietal y visceral se suelen adherir estrechamente por la presión subatmosférica entre ellas y por la tensión superficial creada por sus superficies húmedas en contacto y además, la pleura parietal que tapiza la cavidad es llevada hacia afuera en todas las direcciones, y la pleura visceral y los pulmones son arrastrados con ella.

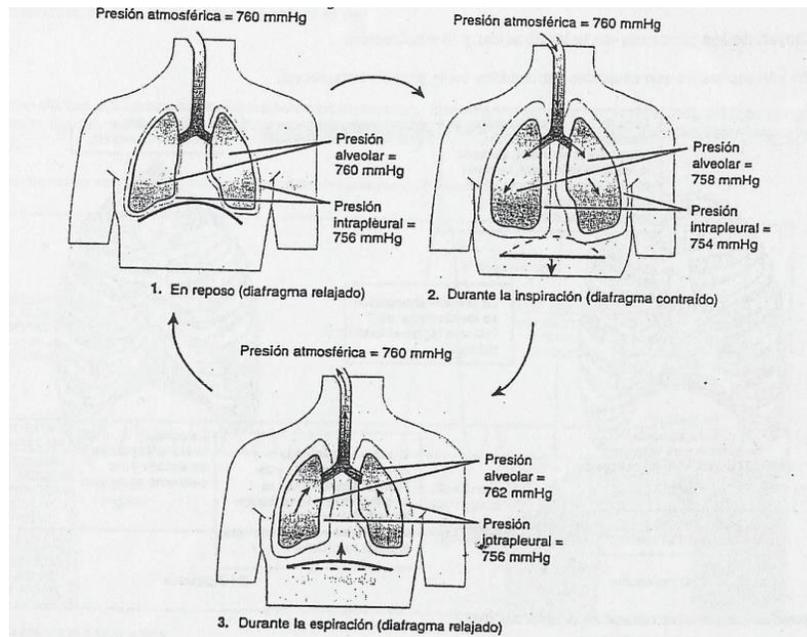
De esta manera, al aumentar el volumen de los pulmones, la presión en su interior llamada presión alveolar cae de 760 mmHg a 758 mmHg y como consecuencia, el aire fluye de la región de mayor presión a la de menor presión generando la **inspiración**. Por otro lado, en el caso en que la inspiración sea vigorosa y profunda (debido a condiciones de ejercicio o ventilación forzada) participan músculos accesorios, los cuales aumentan aún más el tamaño de la cavidad torácica al contraerse en gran medida. Dichos músculos son según su función, esternocleidomastoideos (que elevan el esternón), músculos escalenos (que elevan las dos primeras costillas) y los pectorales menores (que elevan de la tercera a la quinta costilla). Puesto que tanto la inspiración normal como la inspiración durante el ejercicio o la ventilación forzada involucran la contracción muscular, se dice que el proceso de inspiración es activo.

La expulsión del aire, llamada **expiración**, también se debe a un gradiente de presión, pero en este caso el gradiente es en la dirección opuesta dado que la presión en los pulmones es mayor que la presión atmosférica. La expiración normal, a diferencia de la

inspiración, es un proceso pasivo porque no involucra ninguna contracción pulmonar dado que ésta es producto de la retracción elástica de la pared del tórax y los pulmones, que tienen una tendencia natural a retraerse tras su expansión. Las fuerzas dirigidas hacia adentro que llevan adelante dicha retracción elástica son: el retroceso de las fibras elásticas que fueron estiradas durante la inspiración y la tracción hacia adentro de la tensión superficial ejercida por la capa de líquido alveolar.

La espiración comienza cuando los músculos inspiratorios se relajan, dado que al relajarse el diafragma la cúpula se mueve hacia arriba a causa de su elasticidad y cuando los intercostales externos se relajan, descienden las costillas. Estos movimientos disminuyen los diámetros vertical, lateral y anteroposterior de la cavidad torácica lo cual reduce el volumen pulmonar y en consecuencia, la presión alveolar aumenta a cerca de 762 mmHg lo que genera que el aire fluya del área de mayor presión en los alvéolos, al área de menor presión en la atmósfera. Por otra parte, la espiración puede volverse activa sólo durante la ventilación forzada dado que en ésta se contraen los músculos espiratorios (abdominales e intercostales internos) lo cual aumenta la presión en la región abdominal y el tórax. La contracción de los músculos abdominales desplaza hacia abajo a las costillas inferiores y comprime las vísceras abdominales, de manera que el diafragma es forzado hacia arriba y la contracción de los intercostales internos, que se extienden hacia abajo y atrás entre las costillas adyacentes, llevan a las costillas hacia abajo.

Dicho proceso de Respiración puede verse reflejado en la **Figura 6:**



Proceso respiratorio. Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006).

La **velocidad de flujo y la facilidad de la ventilación pulmonar** dependen de los siguientes factores: la tensión superficial del líquido alveolar, la distensibilidad de los pulmones y la resistencia de las vía aéreas. Vale aclarar que en todas las interfaces aire-agua la tensión superficial surge debido a que las moléculas polares del agua se atraen más fuertemente entre sí que con las moléculas de gas, es por esto que los alvéolos durante cada inspiración asumen el menor diámetro posible, y durante el mismo suceso, en los pulmones la tensión superficial debe ser superada para estos poder expandirse. Pasando al segundo factor, la distensibilidad es el esfuerzo requerido para distender los pulmones y la pared del tórax, por lo que si esta es elevada los pulmones y la pared torácica se expanden fácilmente, mientras que si es baja estos resisten la expansión. Éste factor en los pulmones se relaciona con la elasticidad y la tensión superficial, y normalmente estos tienen una alta distensibilidad y se expanden fácilmente porque las fibras elásticas del tejido pulmonar se estiran con facilidad y un surfactante del líquido alveolar reduce la tensión superficial.

Sumado a lo previamente mencionado, la velocidad de flujo a través de las vías aéreas depende tanto de la diferencia de presión (alveolar sobre atmosférica) como de la resistencia en las mismas. Respecto a esto, las paredes de las vías aéreas debido especialmente a los bronquiolos, ofrecen cierta resistencia al flujo normal de aire hacia adentro y hacia afuera de los pulmones, dado que cuando estos se expanden durante la inspiración, los bronquiolos se agrandan porque sus paredes son traccionadas hacia afuera. Por otra parte, durante la espiración dicha resistencia aumenta a medida que disminuye el diámetro de los bronquiolos y además, el diámetro de las vías aéreas también es regulado por el grado de contracción o relajación del músculo liso de sus paredes, es por esto que cualquier estado que estreche u obstruya las vías aéreas aumenta la resistencia, de manera que se necesitará más presión para mantener el mismo flujo aéreo.

Volviendo a la respiración, esta puede ser tanto **superficial como profunda o combinada**, siendo la superficial (torácica) debida al movimiento hacia arriba y hacia fuera del tórax por la contracción de los músculos intercostales externos, y la profunda (abdominal) por el movimiento hacia afuera del abdomen a causa de la contracción y el descenso del diafragma.

En reposo un adulto sano efectúa unas doce ventilaciones por minuto y con cada inspiración y espiración moviliza alrededor de 500 mL de aire hacia adentro y afuera de los pulmones, lo que se denomina **volumen corriente** (VC). La **ventilación minuto** (VM) –el volumen total de aire inspirado y espirado en cada minuto- es la frecuencia respiratoria multiplicada por el volumen corriente:

$$\mathbf{VM} = \text{doce respiraciones/minuto} \times 500 \text{ mL/respiración} = 6 \text{ litros/min}$$

En caso de que la ventilación por minuto sea más baja que lo normal puede ser un signo de disfunción pulmonar. Otro factor de relevancia, es que el volumen corriente varía en gran medida de una persona a otra y en la misma persona en distintas oportunidades. Además en un adulto normal, alrededor del 70% del volumen corriente (350 mL) llega realmente a la zona respiratoria del sistema respiratorio –los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares, los sacos alveolares y los alveolos- y participa en la respiración externa (llegando así a la zona respiratoria en lo denominado ventilación alveolar, un volumen de

aire de 4200 mL/minuto) mientras que el otro 30% (150 mL ó 1800 mL/minuto) permanece en las vías aéreas de conducción -la nariz, la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios, los bronquiolos y los bronquiolos terminales- y no experimenta intercambio respiratorio, por lo que se conoce como espacio muerto anatómico.

Al efectuar una inspiración muy profunda se puede inhalar mucho más que 500 mL de aire, logrando un **volumen de reserva inspiratorio** que alcanza los 3100 mL en un hombre adulto promedio y 1900 mL en una mujer adulta promedio, y se puede inspirar aún más aire si la inspiración es precedida por una espiración forzada. Por lo que si se inspira normalmente y luego se espira de manera forzada se está en condiciones de eliminar mucho más aire que los 500 mL del volumen corriente llegando a los 1200 mL en hombres y a los 700 mL en mujeres, lo que se denomina **volumen de reserva espiratorio**. El volumen espiratorio forzado en el primer segundo ($VEF_{1,0}$) es el volumen de aire que se puede espirar en un segundo con esfuerzo máximo precedido de una espiración máxima. Incluso después de que se espira dicho volumen de reserva espiratorio, una cantidad considerable de aire (llamado volumen residual) queda en los pulmones porque la presión intrapleural subatmosférica mantiene a los alveolos levemente insuflados debido a la diferencia de presión, restando así en éstos 1200 mL de aire en hombres y 1100 mL en mujeres. En el caso en que la presión en la cavidad torácica iguale a la atmosférica, el aire residual sería expulsado y el aire restante dentro de estos se denomina volumen mínimo.

Continuando en el tema, las **capacidades pulmonares** son combinaciones de volúmenes pulmonares específicos, incluyendo la capacidad inspiratoria (suma del volumen corriente y el volumen de reserva inspiratorio $500 \text{ mL} + 3100 \text{ mL} = 3600 \text{ mL}$ en hombres y $500 \text{ mL} + 1900 \text{ mL} = 2400 \text{ mL}$ en mujeres), la capacidad vital (suma del volumen de reserva inspiratorio, el volumen corriente y el volumen de reserva espiratorio 4800 mL en los hombres y 3100 mL en las mujeres) y la capacidad pulmonar total (suma de la capacidad vital y el volumen residual $4800 \text{ mL} + 1200 \text{ mL} = 6000 \text{ mL}$ en hombres y $3100 \text{ mL} + 1100 \text{ mL} = 4200 \text{ mL}$ en mujeres).

El **intercambio de oxígeno y dióxido de carbono** entre el aire alveolar y la sangre pulmonar se produce por difusión pasiva, la cual es gobernada por el comportamiento de los

gases como se describe en la Ley de Dalton y la Ley de Henry. De acuerdo con la **Ley de Dalton**, en una mezcla de gases cada gas ejerce su propia presión como si ningún otro estuviera presente, siendo la presión de un gas específico en una mezcla llamada presión parcial, y siendo la presión total de la mezcla la suma de todas las presiones parciales. El aire atmosférico es una mezcla de gases – nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), vapor de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2) más otros gases presentes en muy bajas cantidades, por lo que presión atmosférica es la suma de la presión de todos esos gases. La presión parcial ejercida por cada gas de la mezcla puede determinarse multiplicando su porcentaje por la presión total ejercida por ésta, en base a esto en el aire atmosférico se obtienen los siguientes valores aproximados: 78,6% de nitrógeno, 20,9% de oxígeno, 0,04% de dióxido de carbono, 0,06% de otros gases y 0,4% de vapor de agua. Dichas presiones parciales determinan el desplazamiento del O_2 y del CO_2 entre la atmósfera y los pulmones, entre los pulmones y la sangre y entre la sangre y las células del organismo. Cada gas difunde a través de una membrana permeable desde el área donde su presión parcial es mayor hacia el área donde su presión parcial es menor, y cuanto mayor sea la diferencia en la presión parcial más rápida es la tasa de difusión.

En comparación con el aire inspirado, el aire alveolar tiene menos O_2 (13,6% contra 20,9%) y más CO_2 (5,2% contra 0,04%) lo cual se debe a que el intercambio gaseoso en los alvéolos aumenta el contenido de CO_2 y disminuye el contenido de O_2 del aire alveolar, y cuando se inspira el aire se humidifica a su paso por la mucosa nasal húmeda y a medida que aumenta el contenido de vapor de agua del aire, el porcentaje relativo de O_2 disminuye. En contraste con esto, el aire espirado contiene más oxígeno que el aire alveolar (16% contra 13,6%) y menos dióxido de carbono (4,5% contra 5,2%) porque parte del aire espirado se hallaba en el espacio muerto anatómico y no participó en el intercambio gaseoso, siendo así el aire espirado una mezcla de aire alveolar y aire inspirado que estaba en el espacio muerto anatómico.

Ahora bien, la **Ley de Henry** establece que la cantidad de gas que se va a disolver en un líquido es proporcional a la presión parcial del gas y a su solubilidad, por lo que a mayor presión parcial de gas sobre el líquido y a mayor solubilidad, más gas permanecerá en

solución. El CO_2 en comparación con el O_2 se disuelve mucho más en el plasma sanguíneo porque su solubilidad (79%) es veinticuatro veces mayor que la del oxígeno y por otra parte, a pesar de que el aire que respiramos contiene principalmente N_2 , este gas no ejerce en este caso un efecto sobre las funciones del organismo, dado que se disuelve muy poco en el plasma sanguíneo ya que su solubilidad es muy baja. En el caso de aumentar la presión del aire también lo hacen las presiones parciales de todos los gases que lo componen, por lo que cuando se respira aire a alta presión, el nitrógeno en la mezcla puede tener efectos negativos serios dado que al aumentar su presión parcial (en relación a la presión al nivel del mar) una cantidad considerable de N_2 se disuelve en el plasma y en el líquido intersticial.

La **respiración externa o intercambio pulmonar de gas** es la difusión de oxígeno del aire de los alveolos de los pulmones a la sangre en los capilares pulmonares y la difusión del CO_2 en la dirección opuesta. Dicha respiración convierte la sangre desoxigenada proveniente del lado derecho del corazón en sangre oxigenada que vuelve al lado izquierdo del corazón. A medida que la sangre fluye a través de los capilares pulmonares capta O_2 del aire alveolar y desprende CO_2 hacia éste, difundiéndose cada gas desde el área donde su presión parcial es mayor hacia donde su presión parcial es menor. Así, el oxígeno se difunde desde el aire alveolar (presión parcial de 105 mmHg) hacia la sangre en los capilares pulmonares (P_{O_2} de 40 mmHg) en una persona en reposo, y si ha estado haciendo ejercicio la P_{O_2} será menor dado que las fibras pulmonares en contracción están usando más O_2 , efectuando dicha difusión hasta que la P_{O_2} de la sangre capilar pulmonar alcanza los 105 mmHg. Como la sangre que abandona los capilares pulmonares cerca de los espacios aéreos alveolares se mezcla con sangre que ha fluido a través de porciones de conducción del sistema respiratorio donde no se produce intercambio gaseoso, la presión parcial de oxígeno (P_{O_2}) de la sangre en las venas pulmonares es levemente menor que la P_{O_2} en los capilares pulmonares (100 mm Hg).

Mientras el oxígeno se difunde desde el aire alveolar hacia la sangre desoxigenada, el CO_2 lo hace en dirección opuesta, siendo la presión parcial de dióxido de carbono (P_{CO_2}) de la sangre desoxigenada de 45 mmHg en una persona en reposo, mientras que la P_{CO_2} del aire alveolar es de 40 mmHg. A causa de esta diferencia en la P_{CO_2} el dióxido de carbono se

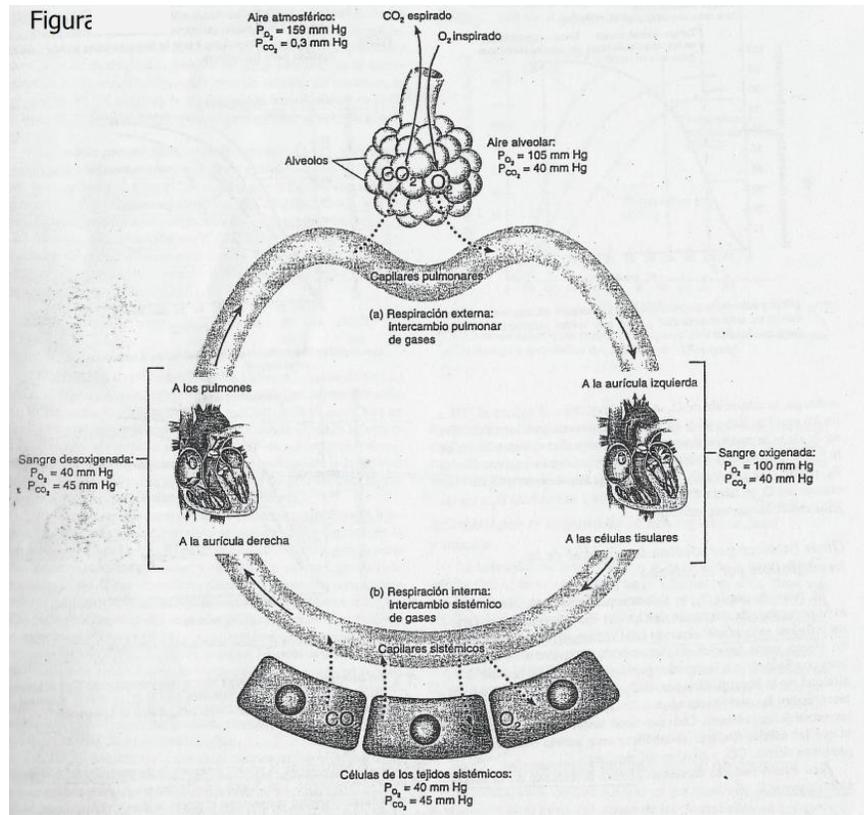
difunde desde la sangre desoxigenada hacia los alveolos hasta que la P_{CO_2} disminuye a 40 mmHg debido a la espiración, y con dicha presión la sangre oxigenada vuelve al lado izquierdo del corazón.

El número de capilares cerca de los alveolos en los pulmones es muy grande y la sangre fluye con la suficiente lentitud a través de éstos como para captar una cantidad máxima de O_2 . Durante el ejercicio intenso cuando el volumen sistólico del corazón aumenta, la sangre fluye de manera más rápida tanto a través de los capilares sistémicos como pulmonares y el tiempo de tránsito de la sangre en los capilares pulmonares es en consecuencia más corto.

El ventrículo izquierdo bombea sangre oxigenada hacia la aorta y a través de las arterias sistémicas a los capilares sistémicos. El intercambio de O_2 y CO_2 entre los capilares sistémicos y las células se llama **respiración interna o intercambio de gas sistémico**. A medida que el oxígeno abandona el torrente sanguíneo la sangre oxigenada se convierte en sangre desoxigenada, y a diferencia de la respiración externa que sólo tiene lugar en los pulmones, la respiración interna se cumple en todos los tejidos del organismo.

La P_{O_2} de la sangre bombeada hacia los capilares sistémicos es más alta (100 mmHg) que la P_{O_2} en las células (40 mmHg en reposo) porque éstas usan constantemente el O_2 para producir ATP. Gracias a esta diferencia de presión, el oxígeno difunde desde los capilares hacia las células. Por otra parte el CO_2 se mueve en la dirección opuesta, y dado que las células están produciendo CO_2 en forma continua, la P_{CO_2} celular (45 mmHg en reposo) es más alta que la de la sangre capilar sistémica (40 mmHg). El resultado es que el CO_2 se difunde desde las células a través del líquido intersticial hacia los capilares sistémicos hasta que la P_{CO_2} en la sangre aumenta a 45 mmHg. La sangre desoxigenada regresa luego al lado derecho del corazón y es bombeada hacia los pulmones para reanudar otro ciclo de respiración externa.

En la **Figura 7**, se observa cómo los gases difunden en base a sus gradientes de presión tanto en la respiración externa como interna:



Difusión de gases según gradientes de presión. Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006).

En una persona en reposo las células necesitan en promedio solo el 25% del oxígeno disponible en la sangre oxigenada, y por otra parte la sangre desoxigenada retiene el 75% de su contenido de oxígeno, pero durante el ejercicio se difunde más oxígeno desde la sangre hacia las células metabólicamente activas, las cuales usan más oxígeno para la producción de ATP y ello determina que el contenido de la sangre desoxigenada se reduzca a menos del 75%.

De esta manera, lo evaluado indica que el **índice o tasa de intercambio gaseoso pulmonar y sistémico** depende de diversos factores:

- Presión parcial de oxígeno de los gases: En la que la P_{O_2} alveolar debe ser más alta que la P_{O_2} sanguínea para que el oxígeno se difunda del aire alveolar a la sangre, siendo la velocidad de

difusión más rápida cuando la diferencia entre dichas presiones es mayor. Además, las diferencias entre la P_{O_2} y la P_{CO_2} entre el aire alveolar y la sangre pulmonar aumentan durante el ejercicio y finalmente, dichas presiones parciales en el aire alveolar dependen también de la tasa de flujo aéreo hacia adentro y afuera de los pulmones.

- Superficie disponible para el intercambio gaseoso: La superficie de los alvéolos es muy grande (cerca de 70 m^2) y muchos capilares rodean a cada alveolo, de manera tal que 900mL de sangre están disponibles para participar en el intercambio gaseoso a cada instante, por lo que cualquier trastorno pulmonar que disminuya la superficie funcional de las membranas respiratorias, reducirá la tasa de respiración externa.
- Distancia de difusión: La membrana respiratoria es muy fina y por lo tanto la difusión se produce de forma rápida, y al ser los capilares de un calibre muy pequeño, los glóbulos rojos deben pasar a lo largo de ellos en fila india, lo cual atenúa la distancia de difusión entre el espacio aéreo alveolar y la hemoglobina en el interior de los glóbulos rojos.
- Peso molecular y solubilidad de los gases: Como el O_2 tiene un peso molecular menor que el CO_2 , se podría prever que difunda a través de la membrana respiratoria más rápido, sin embargo dado que la solubilidad del CO_2 en los líquidos de la membrana es cerca de veinticuatro veces mayor que la del O_2 , la difusión de salida del CO_2 es 20 veces más rápida que la difusión de entrada del O_2 . En consecuencia, cuando la difusión es más lenta que lo normal, la insuficiencia de O_2 (hipoxia) se produce típicamente antes de que haya una retención significativa de CO_2 (hipercapnia).

Tal como se mencionó, el **Oxígeno** no se disuelve fácilmente en agua, de manera que sólo el 1,5% de dicho gas inspirado se disuelve en el plasma sanguíneo (que en su mayor parte es agua). Cerca del 98,5% del oxígeno sanguíneo está unido a la hemoglobina en los glóbulos rojos y cada 100mL de sangre oxigenada, se contiene el equivalente a 20mL de oxígeno gaseoso. Además, el oxígeno y la hemoglobina se unen dado que esta última posee cuatro átomos de hierro, por lo que puede retener hasta cuatro átomos de oxígeno y se genera una reacción fácilmente reversible para formar oxihemoglobina. El 98,5% del oxígeno

que está unido a la hemoglobina se halla dentro de los glóbulos rojos, de tal modo que sólo el oxígeno disuelto (1,5%) puede difundirse fuera de los capilares hacia las células.

El factor más importante que determina cuánto oxígeno se unirá a la hemoglobina es la P_{O_2} , dado que cuanto más alta sea más oxihemoglobina se generará. Al producirse dicha unión, que generase la oxihemoglobina (HbO_2), se dice que la hemoglobina está totalmente saturada y por otro lado, cuando la hemoglobina (Hb) consiste en una mezcla de Hb y HbO_2 , se dice que está parcialmente saturada. Es así que en los capilares pulmonares, donde la P_{O_2} es alta, se une mucho O_2 a la Hb y en los capilares de los tejidos, donde la P_{O_2} es menor, la Hb no es capaz de retenerlo en gran cantidad por lo que el O_2 disuelto pasa por difusión a las células de los tejidos. Vale aclarar que la Hb a una P_{O_2} de 40 mmHg todavía está saturada con oxígeno en un 75%. Cuando la P_{O_2} oscila entre 60 y 100 mmHg, la Hb está saturada con O_2 en un 90% o más, de esta manera, la sangre toma de los pulmones casi una carga completa de O_2 , sin embargo, la saturación de oxígeno de la Hb se reduce al 35% a los 20 mmHg. Otro dato importante es que en los tejidos activos como los músculos en contracción, la P_{O_2} puede caer por debajo de los 40 mmHg, y por lo tanto, un gran porcentaje de oxígeno se libera de la hemoglobina y aporta más oxígeno a los tejidos metabólicamente activos.

A pesar de la importancia de la relación previamente expuesta, existen otros factores que influyen en la **afinidad con la cual la Hb se une al O_2** , los cuales son:

- Acidez (pH): A medida que aumenta la acidez (disminuye el pH), lo cual se debe al aumento de ion hidrógeno en sangre, la afinidad de la Hb por el O_2 disminuye disociándose así más fácilmente de esta. Además, la unión de oxígeno con Hb hace que ésta se libere del hidrógeno, y si bien la Hb puede actuar como un amortiguador o buffer para los iones de hidrógeno, estos se unen a sus aminoácidos y alteran levemente su estructura, disminuyendo su capacidad transportadora de O_2 . Todo esto genera que al caer el pH se deje más O_2 disponible para las células. En contraste, la elevación del pH aumenta la afinidad de la Hb por el oxígeno.
- Presión parcial de dióxido de carbono: El CO_2 también se puede unir a la Hb, este fenómeno se genera cuando la P_{CO_2} se eleva y la Hb libera oxígeno con más facilidad. La P_{CO_2} y el pH son

factores relacionados porque una P_{CO_2} alta produce un descenso del pH (acidosis), y a medida que el CO_2 entra en la sangre, la mayor parte es convertida temporariamente en ácido carbónico (H_2CO_3), reacción catalizada por la enzima presente en los glóbulos rojos llamada anhidrasa carbónica (AC). El ácido carbónico formado en los glóbulos rojos se disocia en iones hidrógeno e iones bicarbonato y a medida que la concentración de hidrógeno aumenta, el pH disminuye. El aumento de la P_{CO_2} produce un ambiente más ácido lo cual contribuye a liberar O_2 de la Hb, y por otro lado durante el ejercicio, el ácido láctico también reduce el pH sanguíneo.

- Temperatura: Dentro de ciertos límites, a medida que la temperatura aumenta también se eleva la cantidad de oxígeno liberado por parte de la Hb, esto sucede dado que las células metabólicamente activas necesitan más oxígeno, y al obtenerlo se liberan mayores cantidades de sustancias ácidas y de calor.
- 2,3 Bifosfoglicerato (BPG): Es una sustancia que se encuentra en los glóbulos rojos que disminuye la afinidad de la Hb por el oxígeno dado que cuanto mayor es su nivel, más oxígeno se desprende de la Hb.

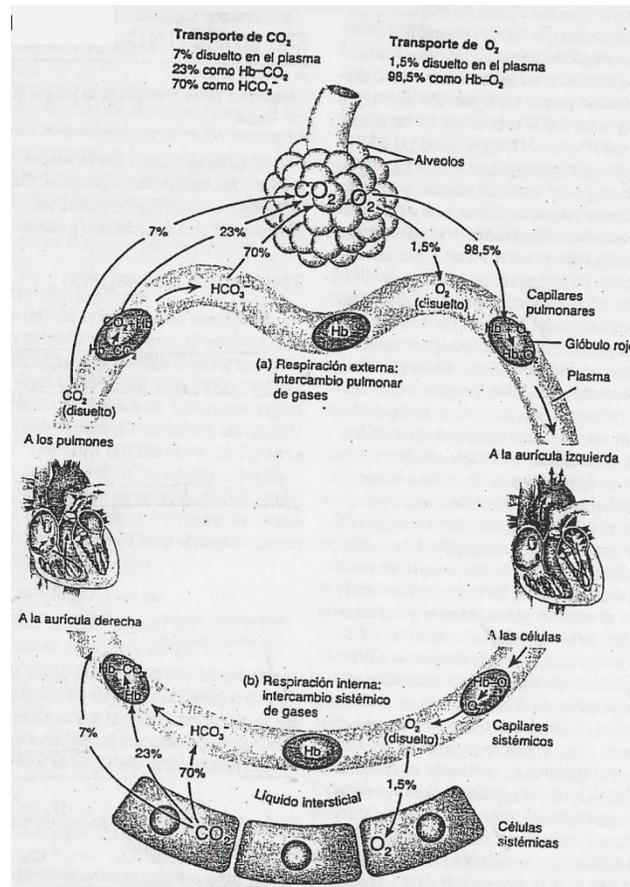
En condiciones normales de reposo, 100mL de sangre desoxigenada contienen el equivalente de 53mL de **CO_2 gaseoso** que se transportan en la sangre de las siguientes formas:

- CO_2 disuelto: El porcentaje más pequeño (cerca del 7%) está disuelto en el plasma sanguíneo, que una vez llegado a los pulmones se difunde hacia el aire alveolar y se elimina.
- Compuestos carbamínicos: Un porcentaje más alto (cerca del 23%) se combina con los grupos amino de los aminoácidos y las proteínas de la sangre para formar compuestos carbamínicos y dado que la proteína prevalente en la sangre es la Hb (dentro de los glóbulos rojos sanguíneos), la mayor parte del CO_2 transportado de esta manera está unido a la Hb, lo que se denomina como carbaminohemoglobina ($Hb-CO_2$). La formación de carbaminohemoglobina es influida sustancialmente por la P_{CO_2} , lo cual puede ser apreciado en los capilares tisulares, en donde la P_{CO_2} es relativamente alta, lo cual promueve su

formación, pero en los capilares pulmonares la P_{CO_2} es relativamente baja y el CO_2 se separa con rapidez de la Hb para entrar en los alveolos por difusión.

- Iones bicarbonato: El porcentaje mayor del CO_2 (cerca del 70%) es transportado en el plasma sanguíneo como iones bicarbonato (HCO_3^-), el cual se produce cuando el CO_2 entra en los glóbulos rojos y reacciona con el agua en presencia de la enzima anhidrasa carbónica (AC), formando ácido carbónico el cual se disocia en ion hidrógeno y HCO_3^- . A medida que la sangre toma CO_2 , el bicarbonato se acumula dentro de los glóbulos rojos y parte de éste sale hacia el plasma sanguíneo siguiendo su gradiente de concentración, para luego ser intercambiado por iones de cloruro (Cl^-) que pasan del plasma a los glóbulos rojos. El efecto neto de estas reacciones es que se elimina el CO_2 de las células y es transportado en el plasma sanguíneo como bicarbonato. Cuando la sangre pasa a lo largo de los capilares pulmonares todas estas reacciones se revierten y se desprende CO_2 . Otro dato importante es que la cantidad de CO_2 que puede ser transportado en la sangre es influida por el porcentaje de saturación de la hemoglobina con oxígeno, por lo que cuanto menor sea la cantidad de oxihemoglobina (HbO_2) mayor será la capacidad sanguínea de transporte de CO_2 . La desoxihemoglobina además, tiene la capacidad de poder eliminar los iones hidrógeno de una solución y favorecer la conversión de CO_2 en HCO_3^- mediante la reacción catalizada por la anhidrasa carbónica.

En la **Figura 8**, puede apreciarse cómo se efectúa el transporte de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre, teniendo en cuenta sus gradientes de concentración:



Transporte de oxígeno y dióxido de carbono en sangre, según gradientes de concentración. Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006).

La **absorción de gases mediante vía respiratoria**, según Guiñazú, N. (2014), se caracteriza por contar con las siguientes **medidas defensivas**: la nariz (filtro de retención de partículas mayores, eliminadas mediante estornudo o deglución al depositarse en los cilios), la nasofaringe (que retiene el 50% de las partículas de más de 5 micras debido a la presencia de moco y cilios), la zona traqueobronquial (en donde quedan retenidos los gases hidrosolubles y de tamaños de 2 a 5 micras por acción del moco, cilios y pueden eliminarse mediante expectoración –tos-), el alvéolo (el cual recibe partículas de un tamaño igual o menor a 1 micra, sobre todo en forma de aerosoles y mediante el accionar de los macrófagos puede eliminarlos, pero en caso de no hacerlo estos tendrán una rápida



absorción en sangre). Vale aclarar que si la sustancia es inhalada por la boca solo el 20% es retenida, por lo que se podrá sufrir una intoxicación más rápidamente. Si las sustancias quedasen retenidas en el moco, estas solo se absorben en caso de ser deglutidas (lo que dependerá de los hábitos higiénicos del individuo).

1.3 Toxicología

Guiñazú, N. (2014) indicó que desde el punto de vista toxicológico, al llevar a cabo una **evaluación de efectos** generados por parte de un **tóxico sobre un blanco o diana** en un organismo vivo, deben tenerse en cuenta aspectos inherentes a dicho agente tóxico (estado físico, reactividad o estabilidad química, estructura química, blanco de acción, toxicidad, tamaño, liposolubilidad), a la exposición (vías mediante las cuales puede llegar al lugar de acción, siendo inhalatoria, dérmica, digestiva, intravenosa, parenteral), a la duración de la exposición (que para el caso de humanos se clasifica en aguda, subcrónica o crónica) y a la dosis (cantidad de una sustancia que ingresará al organismo en una sola vez).

La **dosis** puede variar de las siguientes maneras:

- Dosis de exposición: concentración del contaminante en el medio al que se expone durante un determinado período de tiempo.
- Dosis absorbida o retenida: cantidad presente en el cuerpo en un determinado momento durante la exposición o después de ella.
- Dosis umbral: nivel de la dosis por debajo del cual no hay ningún efecto observable.
- Dosis efectiva 50 o DE₅₀: dosis que produce sobre el 50% de los animales utilizados a modo experimental un efecto específico no letal.

Por otra parte, los **tóxicos** una vez en el organismo pueden generar efectos reversibles o irreversibles lo cual puede derivar tanto en intoxicaciones agudas como crónicas y a su vez pueden ser tanto locales (aquellos que ocurren en el sitio de primer contacto entre el tóxico y la persona) como sistémicos (aquellos que requieren de la absorción y distribución del tóxico desde el punto de contacto). Los **índices de toxicidad** por otra parte, se encargan de determinar los límites tolerables de exposición y hacen referencia a las concentraciones máximas permisibles para humanos, indicando de esta manera la peligrosidad de los tóxicos. Dichos índices se clasifican en toxicidad aguda (dentro de los que encontramos entre otros, a la DE₅₀) y toxicidad a dosis repetidas.

La **toxicidad** puede ser alterada por factores ambientales (tales como condiciones climáticas y meteorológicas, actividad lumínica, temperatura ambiental, presión atmosférica

y ruido) e individuales (especie, etnia, sexo, edad, idiosincrasia, enfermedades y situación psicosocial) y depende de la **constante de haber** (concentración atmosférica del tóxico por tiempo respirado), y de la frecuencia y volumen respiratorio del sujeto.

Continuando con lo indicado por Guiñazú N. (2014), la **tolerancia** que es un estado de respuesta disminuida a un efecto tóxico en particular, resultante de una exposición previa al mismo tóxico o a otro con estructura parecida que genera que menor cantidad del tóxico llegue al órgano blanco o diana y/o se genere una menor respuesta del tejido, lo cual sucede por ejemplo a exponerse repetidamente a elevadas dosis de CO₂ a lo largo del tiempo.

Los factores **toxicocinéticos** determinarán cómo será el movimiento del tóxico dentro del organismo desde su ingreso hasta su eliminación, involucrando los procesos de:

- **Absorción:** paso de un tóxico **desde el exterior hacia los fluidos biológicos** – correspondiendo una absorción mediante difusión simple o pasiva, en la cual se produce un flujo neto de moléculas a través de una membrana permeable o semipermeable sin aporte externo de energía y determinado por una diferencia de concentración y/o presión entre dos medios separados por la membrana. En este caso la velocidad de difusión estará determinada por la **Ley de Fick**, la cual involucra:

$$V = K \cdot \frac{A (C_1 - C_2)}{d}$$

Dicha velocidad es directamente proporcional a la constante K (la cual depende de tamaño o peso molecular, forma, grado de ionización –pK (constante de disociación del agente) y pH-, liposolubilidad –a mayor liposolubilidad, mayor grado de absorción-, presión parcial del gas entre los compartimientos alveolar y sanguíneo -la P_{O₂} alveolar debe ser más alta que la P_{O₂} sanguínea para difundir del aire alveolar a la sangre-), a la superficie de absorción (A) y al gradiente de concentración (C₁ – C₂) e inversamente proporcional al grosor de la membrana respiratoria (d) siendo de cinco micras de espesor-. Vale aclarar que el pK depende de si los ácidos o las bases orgánicas débiles en solución acuosa se encuentran en forma ionizada o no, dado de que de esto dependerá donde será llevada a cabo su absorción. Además, debe tenerse en cuenta la gran superficie disponible para el intercambio gaseoso, toda vez que los alvéolos ocupan una superficie de 70m² por lo que disponen de

900ml de sangre, y al tratarse de una superficie de intercambio de tal magnitud, el tóxico al llegar a la sangre, alcanza rápidamente elevadas concentraciones.

- **Distribución:** el tóxico una vez absorbido pasará **desde la sangre hasta los tejidos** donde ejercerá su efecto (metabolizándose en tejidos sensibles o lugar de acción) y/o bien se acumulará (en tejidos de acumulación o de almacenamiento). Dicho paso se efectúa disuelto (tóxicos hidrosolubles o de elevada presión parcial retenidos en el plasma y líquido extracelular), unido a proteínas plasmáticas (uniones estables pero reversibles en las que el tóxico no es activo, lo que significa que no difunde a los tejidos, no puede ser excretado ni producir efectos tóxicos debido al elevado tamaño molecular que adquiere) o fijado a membranas celulares. Dentro de dichas proteínas plasmáticas encontramos a los glóbulos rojos, los cuales transportan aniones y tóxicos muy liposolubles, estos últimos se caracterizan por tener una fracción unida y otra libre (biodisponible). Dichas fracciones están en equilibrio por lo que a medida que la fracción biodisponible se consume al ser difundida en los tejidos, la proteína libera tóxico para mantenerla. Por otra parte, el grado de tóxico que se distribuye a los tejidos depende principalmente del nivel de vascularización (presencia y disposición de vasos sanguíneos y linfáticos) y del grado de afinidad por dichos tejidos (en el caso del CO_2 , debido a su liposolubilidad éste ingresa directo por la membrana plasmática de la célula la cual es permeable al mismo).

Metabolismo: una vez en los tejidos, el tóxico sufre **biotransformaciones** con la finalidad de formar un compuesto hidrosoluble, disminuir su toxicidad y facilitar su eliminación. La biodegradación de los tóxicos se efectúa en dos fases: Fase I que involucra oxidación, reducción e hidrólisis. En dicha fase el tóxico es transformado para luego en la Fase II dar lugar a una nueva sustancia más hidrosoluble mediante reacciones de conjugación, empleando compuestos endógenos y facilitando de esta manera su excreción. Estas biotransformaciones pueden resultar en pérdida de actividad biológica (detoxificación) o producir metabolitos más tóxicos que los originales (bioactivación). En el caso del CO_2 , se genera una reacción con el agua (formando ácido carbónico H_2CO_3 , el cual ionizará a ion bicarbonato HCO_3^- e ion hidrógeno H^+) lo cual afectará al balance ácido-base o homeostasis del organismo. Esto causa cambios en la frecuencia de las reacciones celulares químicas y

procesos metabólicos, lo que produce acidosis y como consecuencia se estimula la ventilación con el fin de aumentar la eliminación del gas a través de los pulmones.

- **Excreción:** finalmente la **excreción vía pulmonar** es efectuada mediante difusión pasiva. En este caso se depende de que las diferencias de presiones tanto intracorporales como atmosféricas, así como las presiones parciales de cada uno de los gases presentes en la mezcla para poder ser parcialmente eliminados a través de los capilares pulmonares hacia los alvéolos por difusión y excretados con el aire exhalado.

1.4 Efectos de la exposición a CO₂

En el año 2004, Electric Power Research Institute, efectuó un estudio para identificar y cuantificar los **efectos tóxicos del CO₂** en diversos organismos vivos en relación a la concentración y el tiempo de exposición, con la finalidad de determinar los perfiles para los humanos y otros mamíferos, así como identificar la disponibilidad de información respecto a otras especies. Con tal fin se determinó que el intercambio de O₂ y CO₂ entre el mamífero y el ambiente es crucial para sobrevivir, dado que el O₂ es necesario para el metabolismo celular y debe ser obtenido de la atmósfera, y el CO₂ es un producto de tal metabolismo y debe ser removido del organismo, siendo los pulmones y la sangre los vehículos que promueven la homeostasis para la mantención de las concentraciones de los mencionados gases entre límites críticos en los tejidos. Los efectos de los **asfixiantes simples** dependerán de la concentración atmosférica, el desgaste físico situacional, los factores inherentes al individuo y la saturación arterial de O₂ de la hemoglobina. El mecanismo homeostático cuya finalidad es controlar el nivel de CO₂ producido por el metabolismo celular (la mayor fuente de CO₂ bajo circunstancias normales) puede ser perturbado a niveles excesivamente estresantes para el organismo y producir toxicidad, lo cual es irreversible cuando el daño en los tejidos no puede ser reparado porque la capacidad de reparación misma ha sido superada.

Mediante la Tabla 1, se detallan los efectos observados de los asfixiantes simples a diferentes saturaciones de la hemoglobina arterial.

Tabla 1 - Efectos de asfixiantes simples a diferentes saturaciones de hemoglobina arterial (SaO ₂)		
Etapa	SaO ₂	Efectos Agudos
Indiferencia	90%	Visión nocturna disminuida.
Compensatoria	82-90%	Frecuencia respiratoria incrementada; pulso incrementado; visión nocturna disminuida; habilidad para desempeñarse levemente disminuida; estado de alerta levemente disminuido.
Perturbación (hipoxemia)	64-82%	Mecanismos compensatorios son inadecuados. Necesidad de aire e hiperventilación prominente. Fatiga, visión de túnel, mareos, dolor de cabeza, agresividad, euforia, disminución de agudeza visual, entumecimiento y hormigueo de las extremidades, poco juicio, pérdida de memoria y cianosis. Disminución en la habilidad para escapar del ambiente tóxico.
Crítico	<60-70%	≤3-5 minutos: deterioración en juicio y coordinación. Total incapacidad e inconciencia siguen rápidamente.

Fuente: Electric Power Research Institute (2004).

Además, se detectó que el CO₂ puede entrar al cuerpo durante la respiración cuando la concentración atmosférica excede la concentración alveolar, lo cual se debe a que este gas se mueve acorde a su gradiente de presión, incluso si es opuesto a su gradiente de concentración. Otros resultados indicaron que el CO₂ una vez en el plasma, reacciona con agua formando ácido carbónico (H₂CO₃), el cual ionizará a ion de bicarbonato (HCO₃⁻) e ion hidrógeno (H⁺) lo cual afectará al **balance ácido-base o homeostasis**, que es la habilidad del cuerpo de mantener la concentración del ion hidrógeno en los fluidos entre un rango fisiológicamente aceptable, siendo el pH normal en sangre de 7.35 a 7.45. La desviación de este causa cambios en la frecuencia de las reacciones celulares químicas y procesos metabólicos, lo que produce acidosis severa con un pH en sangre menor a 6.8 o alcalosis

severa con un pH mayor a 7.8, lo cual es generalmente incompatible con la vida. Sumado a esto, cuando la presión arterial de CO_2 (PaCO_2) o arterial de ion hidrógeno es elevada, los receptores químicos sistémicos centrales o periféricos, envían señales para estimular la ventilación lo que genera un aumento de la eliminación de CO_2 a través de los pulmones producido para mantener el pH sanguíneo entre rangos normales.

Mediante Tabla 2 se contrastaron aquellos valores normales del organismo con aquellos que generasen efectos sobre la homeostasis.

Tabla 2 - Balance ácido-base normal y acidosis y alcalosis respiratoria en humanos			
Sangre Arterial	Valores Normales	Acidosis	Alcalosis
PaCO_2	35-45 mmHg	>45	<35
Bicarbonato (HCO_3^-)	22-26 mmol/L	>26	<22
Proporción de HCO_3^- a CO_2 disuelto	20:1 (24 mmol HCO_3^- /L a 1.2 mmol CO_2 /L)	<20:1	>20:1
pH	7.35-7.45	<7.35	>7.45

Fuente: Electric Power Research Institute (2004).

Además se concluyó que cantidades excesivas de CO_2 en el organismo producen acidosis respiratoria producida por un incremento de la producción celular de CO_2 , la inhalación de incrementadas concentraciones ambientales de dicho gas y/o la inhabilidad del sistema respiratorio de expulsar suficiente CO_2 . Por otra parte, se detectó que si el nivel de O_2 disponible para abastecer las necesidades metabólicas de los tejidos es insuficiente, se produce la hipoxia (condición corta de anoxia o falta total de O_2), siendo en este caso una hipoxia anóxica (interferencia con la fuente de O_2) caracterizada por un nivel menor al normal de la P_{O_2} en la sangre arterial.

Mediante Tabla 3 fueron determinados los efectos del CO₂ en humanos a cortas exposiciones.

CO ₂	Efectos
1%	Frecuencia respiratoria incrementa 37%
1.6%	Vmin incrementa un 100%
2%	Frecuencia respiratoria incrementa un 50%
3%	Tolerancia al ejercicio disminuye en trabajadores al respirar en contraposición de una resistencia inspiratoria y expiratoria.
5%	Vmin incrementa un 200% Frecuencia respiratoria incrementa un 100% Dolor de cabeza, mareos, confusión, y disnea (dificultad o trabajosa respiración).
7.2%	Frecuencia respiratoria incrementa un 200% Dolor de cabeza, mareos, confusión y disnea.
8-10%	Severo dolor de cabeza, mareos, confusión, disnea, sudoración, y visión borrosa.
10%	Disnea inaguantable, seguido por vómitos, desorientación, hipertensión, y pérdida de conciencia.

Fuente: Electric Power Research Institute (2004).

En relación al O₂ se aclara que las altas concentraciones pueden mitigar algunos de los efectos adversos del CO₂, pero si las mismas son mucho mayores que las atmosféricas pueden de hecho aumentar la toxicidad del CO₂. Tales casos pueden ser observados mediante Tabla 4, en la que se observan las probabilidades de incidencia de diversas sensaciones corporales sobre individuos expuestos a concentraciones de CO₂ a niveles moderados-altos ante un 21% de O₂ durante cortos períodos de tiempo.

Sensaciones Corporales	Incidencia sobre el nivel de control	
	6% CO ₂	8% CO ₂
Sensación de respiración acortada	50%	72%
Sudoración	28%	72%
Palpitaciones del corazón	16%	44%
Presión en el pecho	56%	38%
Debilidad en las piernas	0	34%
Mareos	0	28%
Dolor de cabeza	3%	25%
Visión borrosa o distorsionada	0%	22%
Hormigueo en los dedos	13%	19%
Sensación de estar desconectado del cuerpo solo parcialmente presente	0	19%
Adormecimiento de brazos o piernas	0	16%

Fuente: Electric Power Research Institute (2004).

Otro factor observado en los individuos es que en **respuesta a moderadamente altas concentraciones de CO₂** (por ejemplo 5% por severos minutos) el volumen de intercambio gaseoso por minuto (V_{min}) así como la frecuencia respiratoria incrementan. Si la concentración ambiental de CO₂ es incrementada más allá del 10%, menor tiempo es requerido para alcanzar la máxima estimulación respiratoria. Otros cambios advertidos en el sistema respiratorio fueron variaciones en las respuestas de las vías aéreas, dado que se generó una disminución en la conductividad específica de las mismas al inhalar entre 5% y 10% de CO₂ en aire. Para concluir, se observó que el CO₂ a muy altas concentraciones (21% O₂ en 30% CO₂) actúa como depresor y disminuye significativamente muchas de las respuestas homeostáticas vistas a menores concentraciones.

Continuando con sus investigaciones en el tema, Electric Power Research Institute en el año 2005, evaluó los **efectos adversos en la salud humana del CO₂ en elevadas concentraciones** para luego aplicar dichos datos en sitios de captura, transporte y almacenamiento de CO₂ que tuviesen la potencialidad de liberar el gas sobre el medio ambiente circundante. En este reporte, además se consideraron las causas de preocupación tanto para los sobrevivientes de muy elevadas concentraciones como para los individuos que experimentaron prolongadas exposiciones de bajos niveles. Dicha evaluación de riesgos sobre la salud se efectuó empleando una metodología que consta de cuatro pasos: identificación de propiedades peligrosas del CO₂, valoración dosis-respuesta en humanos, valoración de la exposición y caracterización de los riesgos, haciendo hincapié en la duración de la exposición, su intensidad y la sensibilidad de la especie.

Un factor relevante tenido como base fue que el CO₂ es peligroso debido a que es incoloro e inodoro a concentraciones menores al 40% y los diagnósticos de su toxicidad son difíciles dado que los signos y síntomas producidos no son atribuidos solo a éste. Dentro de los **resultados** obtenidos se informó que una breve exposición a concentraciones mayores o iguales al 3% puede significar afectaciones en la salud de la población general, debiendo considerarse a su vez que el CO₂ puede actuar como un simple asfixiante desplazando el O₂, lo cual ocurre más a menudo en espacios cerrados dado que éste es un 50% más denso que el aire a 68 °F (21° C).

Tabla 5. Efectos de exposiciones a CO₂ breves en humanos y estándares de exposición ocupacionales:

CO ₂	Efectos y Estándares
0.04%	Concentración atmosférica normal de CO ₂ .
0.5%	Límite de exposición recomendado para trabajadores a CO ₂ (promedio basado en una exposición de 10 horas diarias, 40 horas semanales; NIOSH estándar de exposición ocupacional).
1%	Frecuencia respiratoria aumenta 37%.
1.6%	Volumen de aire inhalado y exhalado en un minuto (minuto de ventilación) incrementa ~100%.
2%	Frecuencia respiratoria incrementada ~50%.
3%	Disminuye la tolerancia al ejercicio en trabajadores al usar equipamiento respiratorio. Límite de exposición de cortos períodos de tiempo (15 minutos tiempo promedio; estándar NIOSH).
4%	Inmediatamente peligroso para vida o salud. Ninguna exposición se considerará aceptable a este o mayores concentraciones (estándar NIOSH).
5%	Minuto de ventilación aumenta ~270%. Frecuencia respiratoria aumenta ~100%. Aumento significativo en presión sanguínea y ritmo cardíaco. Dolor de cabeza, mareos, confusión y dificultad para respirar son experimentados en algunos individuos.
≥5%	Hormonas como epinefrina (adrenalina) son liberadas.
~7%	Frecuencia respiratoria aumenta ~200%. Dolor de cabeza, mareo, confusión, y dificultad en la respiración. Esta es la frecuencia máxima de respiración que no es demasiado incómoda para el individuo debido al esfuerzo realizado.
8-10%	Severo dolor de cabeza, mareo, confusión, dificultad para respirar, sudoración y visión reducida.
~10%	Razonable dificultad para respirar, vómitos, elevada desorientación, elevada presión sanguínea, y pérdida de conciencia. La máxima ventilación respiratoria por minuto es alcanzada. El tiempo para la muerte depende de la concentración de O ₂ .
30%	Tanto como cinco respiraciones causa una significativa estimulación de la ventilación respiratoria por minuto. Inconciencia ocurre en menos de treinta segundos y la muerte sucede en unos pocos minutos dependiendo de la concentración de O ₂ .

Fuente: Electric Power Research Institute (2005).

En base a los resultados previamente expuestos se **concluyó** que los síntomas incrementan al incrementar las concentraciones de CO₂, pudiendo algunos como el dolor de cabeza ser experimentados durante o tras la exposición. Por otra parte, mediante Tabla 6 se resume cómo los diversos efectos varían tras exposiciones de cortos períodos de tiempo.

Tabla 6. Efectos en cortos períodos de tiempo a concentraciones en el sistema corporal moderadas, altas y muy altas de CO₂ de humanos adultos saludables:

Concentración de CO₂ inhalado en cortos períodos de tiempo			
	Moderado (~5%)	Alto (≥10%)	Muy Alto (30% CO₂)
Frecuencia Corazón	Incrementada	Máxima frecuencia a ~10%	Inconsistente
Ritmo Cardíaco	Cambios en el electrocardiograma según edad	Arritmias en algunos	Arritmias y paro cardíaco
Presión Sanguínea	Incrementada	Aumento leve sobre moderado CO ₂	Incremento significativo
Respiración	Mayor frecuencia; Respiraciones profundas	Mayor frecuencia; Respiraciones profundas	Frecuencia lenta; Respiración superficial
Vía Aérea	Constreñida	Dilatadas	Dilatadas
Sistema Nervioso Central	Deprimido en ciertas funciones	Deprimido	Deprimido
Presión de líquido cefalorraquídeo	Incrementado en ~5 minutos	Incrementado en ~5 minutos	N.A. (información no disponible)
Presión Intracraneal	Incrementada	Incrementada	N.A.
Sistema Nervioso Periférico	Estimulado	Estimulado	Estimulado y luego deprimido
Convulsiones	Ninguna	Convulsiones con 15-20% CO ₂ por varios minutos	Convulsiones en <1 minuto para muchos
Funcionamiento Cognitivo y Psicomotor	Umbral ~6% para déficits significantes	Estupor e insensibilidad	Inconciencia
Ansiedad	Dependiente del aumento de la dosis	Dependiente del aumento de la dosis	N.A.
Visión	Levemente dañado hasta ~7%	Dañado; Distorsión de colores y visual; Visión borrosa	Daño significativo; Visión borrosa
Función Renal	Aumentada	Deprimida	Deprimida
Liberación de Hormonas	Incremento significativo a >6% (ej.: epinefrina)	Incremento significativo	N.A.
Efecto en órganos grotesco	Ninguno	Daño pulmonar y pérdidas en vasos sanguíneos del cerebro a ~15% con tiempo suficiente	Daño pulmonar, cerebral y hemorragia
Inconciencia	Solamente en presencia de muy poco O ₂	En minutos	≤30 segundos
Muerte	Improbable en presencia de suficiente O ₂	Minutos a horas dependiendo del O ₂	Pocos minutos

Fuente: Electric Power Research Institute (2005).

En base a estos síntomas se **dedujo** que el CO_2 es un potente estimulante de la ventilación (cantidad de aire que ingresa y egresa de los pulmones), se tomó conocimiento de que las respuestas a incrementadas concentraciones ambientales son rápidas, dado que en 5 minutos de inhalar elevadas concentraciones la ventilación máxima es alcanzada; además, el aumento del minuto de ventilación (cantidad total de aire respirado por minuto, producto de la frecuencia y la profundidad en la respiración) incrementa dependiendo de las concentraciones inhaladas tanto de CO_2 como de O_2 , pero la frecuencia respiratoria no es significativamente elevada a menos que la concentración de O_2 sea deprimida.

Otro de los puntos de interés deriva en que en **cada individuo en particular** la respuesta es igual pero varía su magnitud, lo cual puede apreciarse en casos en que al respirar 5% de CO_2 , algunos individuos no duplican la cantidad de aire normal respirado por minuto mientras que otros lo cuadriplican. Otro punto importante es que al estar bajo la influencia de químicos, drogas o una hipoxia severa la respuesta del centro respiratorio a la estimulación del CO_2 es deprimida. Sumado a lo previamente mencionado, los **resultados** del estudio afirmaron que ante un máximo desgaste físico durante la exposición, humanos saludables toleran hasta un 2% de CO_2 ; al 3% algunos individuos experimentan síntomas respiratorios de alto desgaste por treinta minutos hasta una hora. Respecto a este tema debe aclararse que dichas **actividades físicas** incrementan el metabolismo celular (los tejidos toman más O_2 y producen más CO_2) por lo que el incremento de la ventilación respiratoria en respuesta al CO_2 no ayuda a reducir la acidosis metabólica causada solamente por el ejercicio por lo que la respuesta puede no ser suficiente para compensar estos efectos combinados, y una severa acidosis puede generarse.

Continuando con el tema, se evaluó la relación entre exposiciones a niveles moderados de CO_2 en individuos jóvenes saludables, observándose deterioros al realizar ejercicios pesados dado que el desgaste físico **al utilizar equipamiento de protección respiratoria** genera un incremento de las resistencias inspiratorias y expiratorias lo que aumenta la acidosis metabólica. Dicha acidosis metabólica está asociada con un incremento en el ácido láctico arterial liberado por los músculos y en caso de surgir una exposición

adicional de CO₂ se intensifica la acidosis y el pH arterial cae significativamente. Los síntomas observados en estos casos son confusión mental, visión borrosa y colapso físico.

Además, se detectó que el CO₂ induce otros efectos en el sistema respiratorio como cambios en la resistencia de las vías aéreas, efectos directos en la vía aérea bronquioconstrictora y daño en los pulmones en exposiciones a altas concentraciones, cuya severidad y habilidad de recuperarse dependerán tanto de las concentraciones de CO₂ y O₂ como de la duración de la exposición. Finalmente, en caso de producirse una prolongada elevación del CO₂ arterial se genera **aclimatación**, que generalmente incrementa la tolerancia al dióxido de carbono dado que reduce la respuesta ventilatoria (usualmente en veinticuatro horas) y revierte el incremento inicial del ion hidrógeno en los fluidos corporales (en tres a cinco días).

Según lo detectado se concluyó que **el CO₂ induce a concentraciones mayores o iguales al 10%** una depresión respiratoria, mientras que a concentraciones menores una estimulación respiratoria, y a muy altas concentraciones afecta el sistema nervioso central, progresando de narcosis (insensibilidad y estupor¹) a completa inconciencia y luego a anestesia a aproximadamente 30% a 50%. La narcosis seguida de inconciencia, fue observada en menos de un minuto al inhalar 17% de CO₂ en 17.3% de O₂ y en el caso de exposiciones de mayores concentraciones de CO₂ y/o menores concentraciones de O₂, se disminuye el tiempo a la inconciencia generándose muerte si la exposición a altas concentraciones continua sin importar la concentración de O₂.

En adición, se determinó que **moderadas a altas concentraciones de CO₂** son rápidamente fatales en presencia de concentraciones de O₂ de hasta el 12%, además se observaron signos y síntomas inmediatos entre los sobrevivientes a este tipo de exposiciones los cuales incluyeron inconciencia, cianosis, reflejos lentos, respiración infrecuente y un excesivamente bajo descanso motor.

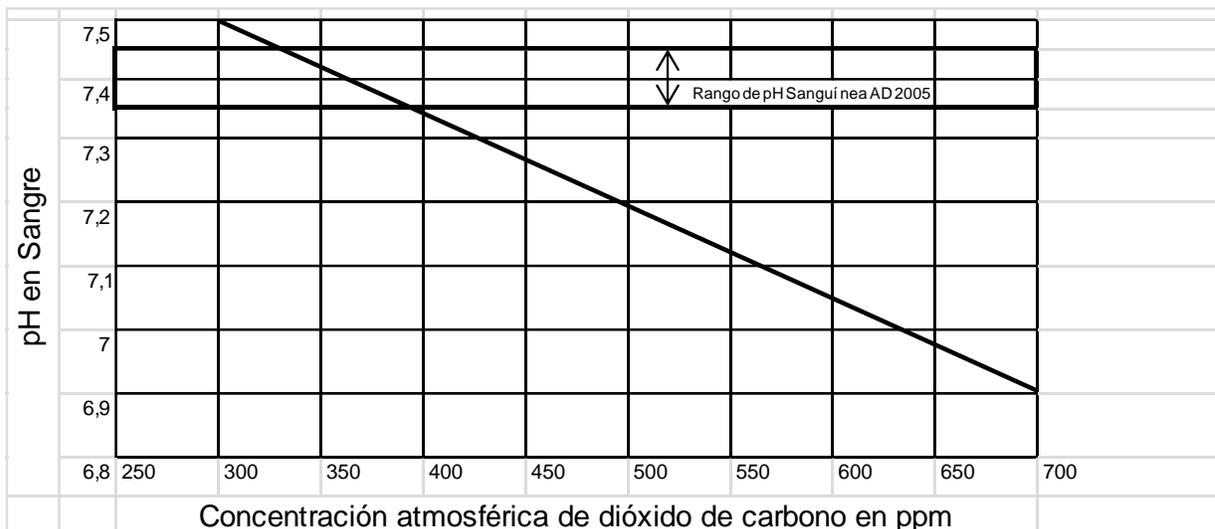
¹ Inconciencia parcial. Disminución de la actividad de funciones mentales y físicas y de la capacidad de respuesta a estímulos.

Abordando el tema desde otra perspectiva Robertson D.S. en el año 2006, llevó a cabo un estudio con la finalidad de describir los **efectos tóxicos a nivel fisiológico** en humanos y otros mamíferos, respecto a las concentraciones de CO₂ a nivel atmosférico y a elevadas concentraciones en espacios confinados. El estudio lo llevó a concluir que las exposiciones son menores a los niveles de exposición ocupacional pero que constantemente van en incremento. Además, demostró que el nivel de CO₂ atmosférico al cual los humanos pueden sobrevivir indefinidamente es mucho más bajo de lo esperado, generando entre otros síntomas la reducción del deseo de realizar actividades físicas.

Al evaluar las exposiciones de elevadas concentraciones en espacios cerrados detectó que a 600ppm (0,06%) los ocupantes toman conciencia del deterioro atmosférico y algunos de ellos comienzan a desarrollar uno o más síntomas clásicos de envenenamiento por CO₂, y a 1000ppm (0,1%) casi todos los ocupantes se ven afectados.

Mediante la Gráfico 1, se observan la variación del pH en relación con la concentración atmosférica de CO₂.

Gráfico 1. Cambio en el pH Sanguíneo al aumentar la concentración atmosférica de CO₂



Fuente: Robertson D. S. (2006).

Por otra parte, en el año 2004 la autora Rice A.S., desarrolló un trabajo con el objetivo de evaluar los **efectos adversos en la salud del CO₂**, tras exposiciones letales de elevadas concentraciones así como las causas de los sobrevivientes de muy elevadas dosis y de aquellos que experimentaron prolongadas exposiciones de bajos niveles. Dicho trabajo logró determinar que el gas tiene efectos que abarcan aspectos fisiológicos (como la estimulación de la ventilación), tóxicos (como las arritmias cardíacas y convulsiones), anestésicos (como la alta depresión a la actividad del sistema nervioso central) y letales (como la severa acidosis y anoxia). Sumado a esto, en exposiciones a altos niveles el desplazamiento de O₂ significativamente contribuye a la toxicidad, produciendo signos como asfixia cuando la concentración atmosférica de O₂ es menor o igual al 16%, casi una inmediata inconciencia seguida de muerte cuando el O₂ es reducido entre el 10% y el 13%, e indicando que las actividades físicas extenuantes incrementan el umbral. Además, en un individuo específico dichos efectos dependen de la concentración y la duración de la exposición, así como a factores inherentes al mismo tales como la edad, salud, fisiología, actividad física, ocupación y estilo de vida.

Dentro de los casos evaluados por Rice A.S., uno de los más importantes fue lo sucedido en 1986 en el **Lago Nyoos, Camerún**, donde se liberó CO₂ en muy elevadas concentraciones produciendo la muerte de unas 1700 personas y 5000 sobrevivientes. Tras evaluar lo sucedido, se determinó que la concentración atmosférica de CO₂ alcanzó entre 8% y 10%, por lo que las muertes fueron debidas al desplazamiento del O₂ causado por el CO₂ resultando en asfixia. Otro factor de relevancia detectado radica en que los efectos de la exposición fueron dependientes de la distancia y de la duración de la misma, por lo que la mayor cantidad de fatalidades se encontraron próximas al sitio de liberación. Respecto a los sobrevivientes se concluyó que existe una variación interindividual considerable respecto a la respuesta ante exposiciones equivalentes de CO₂ y O₂, dado que los síntomas detectados en estos fueron en primera instancia inconciencia (de hasta treinta y seis horas), aquellos localizados a una distancia de hasta 3Km del lago experimentaron fatiga, aturdimiento, acaloramiento y confusión tras recobrar el conocimiento, mientras que los ubicados entre

los 3Km y los 10Km del lago reportaron dificultad en la respiración, mareo y confusión luego de haber perdido la conciencia.

Otros casos evaluados por Rice A.S. muestran la **relación entre concentraciones de CO₂ y O₂ con narcosis, inconciencia y muerte**. En estos casos, las víctimas sufrieron de una incapacidad parcial cuando un extintor de CO₂ fue accidentalmente descargado resultando en una concentración estimada de entre 4% y 7 %; en otro caso, los individuos colapsaron debido a la inhalación de CO₂ proveniente del hielo seco utilizado para transportar comida congelada. Se concluyó que moderadas a altas concentraciones de CO₂ son rápidamente fatales en presencia de concentraciones menores o iguales al 12% de O₂ lo cual puede apreciarse en muertes sucedidas en sitios cerrados como silos de granos, en donde el CO₂ comúnmente alcanza el 38% y causa asfixia tras desplazar el O₂.

Tras evaluar **exposiciones a elevadas dosis de CO₂ en cortos períodos de tiempo** surgieron síntomas y signos como inconciencia, cianosis, reflejos vagos, respiración acelerada y una falta excesiva de descanso motor, los cuales no pueden ser solamente atribuidos al CO₂. Además, si dichas exposiciones generan una baja concentración de O₂ los síntomas pueden persistir tras recuperar la conciencia e incluir dolores de cabeza, ataques de vértigo, pobre memoria y concentración, fotofobia, dificultad para dormir, zumbidos, doble visión, e incluso un marcado cambio en la personalidad, pérdida de movilidad en los ojos así como defectos de campo visual, deficiencia en la adaptación a la oscuridad, entre otros. Finalmente, se observó un aumento del volumen del espacio muerto en los pulmones (volumen de aire donde el intercambio de gases no ocurre) lo cual puede ser adverso para individuos con problemas pulmonares o cardíacos, mientras que en individuos saludables puede ser revertido.

1.5 Efectos de la exposición a CO₂ derivado de la combustión.

Dentro del marco internacional se han llevado a cabo en los últimos años, una gran diversidad de estudios con la finalidad de evaluar cómo y porqué el CO₂ y diversos gases de la combustión, así como el desplazamiento de O₂ generado por estos, repercute sobre la salud de los individuos expuestos, y actualmente se ha sumado un factor importante a este tipo de investigaciones el cual deriva del desarrollo tecnológico a nivel mundial, y es la implementación de elementos de protección respiratoria (EPR) empleados para proteger la salud.

Con tal fin, en el año 2007 Naeher L.P. et al, efectuó una reseña cuya finalidad radicó en determinar los **efectos en la salud generados por el humo de madera** mediante dos cuestionamientos: si el humo de madera debe ser regulado o gestionado separadamente (incluso si algunos de sus constituyentes de manera particular ya se encuentran regulados en muchas jurisdicciones) y si las partículas del humo de madera tienen un nivel de riesgo diferente respecto a otras partículas ambientales de tamaño similar. Para responder a los mencionados cuestionamientos se examinó la naturaleza química y física del humo de madera, la exposición y epidemiología del humo de incendios forestales y quemas agrícolas, las exposiciones a humo de biomasa controlado mediante laboratorio, la epidemiología de exposiciones a humo de maderas puertas adentro y puertas afuera de quemas residenciales, y la toxicología del humo de madera. En adición se elaboró un breve resumen de las exposiciones y efectos sobre la salud del humo de la biomasa en una gran cantidad de países.

Los trabajos evaluados determinaron que la **madera** consiste primariamente en dos polímeros: celulosa (50-70% en peso) y lignina (aproximadamente 30% en peso) (Simoneit et al., 1998) y además, en pequeñas cantidades de bajo peso molecular de componentes orgánicos como resinas, ceras, azúcares, y sales inorgánicas. Durante su combustión la pirólisis ocurre, los polímeros se rompen en partes y producen una variedad de moléculas menores las cuales, en el caso de provenir de una combustión ineficiente (que es altamente probable) genera una multitud de partículas oxidadas de químicos orgánicos dentro de las

cuales se encuentran gases que han sido asociados con efectos adversos sobre la salud, tales como CO, CO₂, ozono (O₃), NO, entre otros.

Otros factores observados radican en que a pesar de que entre un 5% a 20% de la masa de **partículas del humo** consiste en carbón elemental, la composición orgánica del carbón varía dramáticamente con el combustible siendo quemado y con las condiciones de la combustión. Sumado a esto, la composición química orgánica ha sido utilizada para distinguir humos provenientes de diferentes tipos de combustibles de biomasa, diferenciando así aquellos provenientes de maderas duras con respecto a los de maderas blandas (Hawthorne et al., 1989; Oros y Simoneit, 2001; Schauer y Cass, 2000). Ciertos químicos por otra parte, pueden incluso ser únicos para el humo de determinadas especies de árboles (Fine et al., 2001; Oros y Simoneit, 2001).

Tras evaluar **estudios específicos sobre bomberos en incendios forestales**, se concluyó que no es factible el uso de aparatos de respiración autocontenidos por lo que a menudo la única protección respiratoria usada es una bandana de algodón que cubre la nariz y la boca. Sumado a esto, muchas de las tareas de los bomberos son físicamente demandantes y requieren elevados rangos de ventilación pulmonar lo cual puede resultar en una dosis substancial de humo sobre el tracto respiratorio. Continuando en el tema, Reinhardt y Ottmar (2000) efectuaron un asesoramiento sobre la exposición en la zona de respiración respecto a niveles de acroleína, benceno, CO₂, CO, formaldehído y material particulado de hasta 3,5 micras (PM_{3,5}) sobre veintiún bomberos en California entre 1992 y 1995, concluyendo que las exposiciones a gases fueron generalmente menores al valor límite umbral de los estándares de salud ocupacional, pero algunos de los incendios resultaron en un alto nivel de exposiciones alcanzando los valores pico. En otro estudio desarrollado por Rothman et al. (1991) involucrando a sesenta y nueve bomberos de California del Norte no fumadores o que no habían fumado por al menos seis meses, se encontraron cambios en los síntomas en el sistema respiratorio y disminuciones en las funciones pulmonares, lo cual derivó de un incremento de resfríos, irritación en ojos y en fosas nasales, entre otros. Una de las conclusiones arribadas fue que el uso de una bandana

de algodón para la protección de las vías respiratorias no estuvo asociada con ninguna protección medible.

En otra investigación desarrollada en Sardinia se compararon las **funciones pulmonares** sobre noventa y dos bomberos de incendios forestales con un grupo de control de policías (Serra et al., 1996), en donde los resultados obtenidos determinaron grandes diferencias en las funciones pulmonares entre ambos grupos. Otros datos recabados en investigaciones demostraron que exposiciones acumulativas recientes en comparación con exposiciones remotas, fueron más fuertemente asociadas con cambios en la función pulmonar lo cual fue incluso más severo sobre aquellos que no emplearon elementos de protección respiratoria (Tepper et al., 1991; Sparrow et al., 1982). Una de las justificaciones que puede observarse respecto a los efectos de exposiciones recientes en relación a aquellas remotas puede apreciarse en un estudio llevado a cabo por Wong et al. (1984), en el cual se expuso a cerdos de guinea a treinta minutos de elevadas concentraciones de humo de madera para evaluar los efectos del CO₂, concluyendo que tras una breve inhalación del humo la función pulmonar puede ser alterada y la recuperación ocurre en severos días post exposición.

En base a los estudios previamente descriptos, parece claro que **inhalaciones por cortos períodos de tiempo al humo de madera** pueden comprometer el mecanismo de defensas inmunológicas de los pulmones lo cual es capaz de generar enfermedades pulmonares infecciosas, dado que las células inmunes del pulmón son su blanco. Por otra parte, el humo de madera contiene cientos de químicos que pueden agruparse como contaminantes comunmente regulados, irritantes respiratorios, compuestos orgánicos carcinógenos y compuestos cíclicos carcinógenos, muchos de los cuales generan efectos adversos sobre la salud. Asimismo, se llegó a concluir que actualmente no se posee el suficiente conocimiento confiable como para distinguir los efectos toxicológicos de diferentes tipos de biomasa entre sí (por ejemplo la combustión del humo de madera contra los desechos de la agricultura).

Abdulrahman L Al-Malki, et al (2008) **estudió los efectos del humo del fuego en el suero y la sangre** mediante la comparación entre dos grupos de bomberos constituidos por veintiocho individuos de Jeddah y veintiún individuos de Yanbu de entre 20 y 48 años de edad con un grupo de control constituido por veintitrés hombres no bomberos de entre 20 y 43 años de edad. Los resultados obtenidos indicaron entre otras cosas, que la mayor cantidad de fatalidades en incendios no son debido a quemaduras, son el resultado de la inhalación de gases tóxicos producidos durante la combustión y en menor medida, de la irritación sensorial que conlleva a un rápido deterioro funcional. Además, se concluyó que el humo del fuego afecta al suero y la sangre, por lo que es necesario emplear más medidas de protección y profilácticas sobre la salud y efectuar seguimientos médicos periódicos, para permitir detectar tempranamente cualquier cambio que pueda suceder durante la vida de servicio y ejecutar un temprano tratamiento de ser necesario.

Sumado a los estudios previamente desarrollados en el tema, Miranda A.I. et al (2010) monitoreó la **exposición al humo de fuegos forestales** al cual se vio expuesto un grupo de diez bomberos de Portugal equipados con GPS y elementos de medición portátiles, con la finalidad de determinar las exposiciones a CO, NO₂, compuestos orgánicos volátiles y material particulado, teniendo en cuenta respecto al área de estudio el tipo de vegetación, la temperatura anual promedio, las precipitaciones, la humedad relativa, las condiciones del viento y la duración promedio de los incendios. Para evaluar los datos, se tuvo bajo consideración los niveles de valor límite umbral para exposiciones ocupacionales “ponderadas en el tiempo”, “de cortos períodos de tiempo” y “valores pico” establecidos en la normativa vigente en el lugar. Los resultados obtenidos indicaron que no hubieron excedentes del **valor límite umbral** para ninguno de los contaminantes monitoreados, lo cual pudo deberse a que los períodos tomados fueron continuos y en muchos de los mismos hubieron exposiciones muy bajas y valores cero, por lo que los valores de exposición ocupacional pueden no ser acorde a este tipo de trabajos, debido a las elevadas variaciones de concentración en relativamente cortos períodos de exposición. En contraposición a esto, los valores pico de CO fueron superados en severos casos, y respecto a los valores para

cortos períodos de tiempo, sus criterios no fueron satisfechos dado que las exposiciones entre sí fueron entre períodos de tiempo menores a los 60 minutos. Otros factores relevantes indicaron que los valores de las mediciones fueron diferentes según la posición en relación a la pluma de humo y a la tarea del bombero, dado que se observó una menor exposición sobre aquellos ubicados cerca del camión respecto a aquellos localizados cercanos a la zona de quema, incluso si el fuego ya no se encontraba activo.

Ahondando aún más en el tema, durante el año 2010, Reisen F. et al, efectuó estudios sobre **quemados prescritos e incendios forestales** en varios estados de Australia, teniendo la finalidad de obtener un mejor entendimiento sobre los niveles y factores que influyen la exposición, para luego desarrollar estrategias de mitigación y así minimizar los riesgos y efectos adversos sobre la salud. Sumado a esto, se buscó determinar los riesgos de exposición resultantes de la inhalación de los tóxicos del aire del humo, e indicar bajo qué circunstancias las altas exposiciones ocurrían. Respecto a los sujetos de estudio (bomberos), se monitoreó su exposición mediante elementos de medición sobre su zona de respiración durante un turno de trabajo, para determinar las concentraciones promedio y pico de los tóxicos CO, formaldehído y partículas respirables. Además se tuvo en cuenta la actividad desarrollada por los bomberos (extinción, patrullaje y supervisión) y otros factores tales como el terreno, la vegetación, las condiciones y el tipo de quema, y la dispersión del humo. Los datos obtenidos fueron **contrastados con los estándares de exposición ocupacional**, para la determinación de los efectos sobre la salud, y en base a estos se creó un diagrama de flujo en el cual dependiendo del tipo de sustancia (su peligrosidad), si superó o no los estándares de exposición ocupacionales y, en caso afirmativo, por cuánto tiempo lo hizo (respecto a la duración del turno de trabajo), se determinaron los riesgos de exposición (clasificados en bajos, moderados, altos y muy altos). De esta manera se concluyó que los niveles de exposición son altamente variables, y excedieron en tareas específicas y con ciertas condiciones de quema, los estándares de exposición ocupacional. Respecto a esto, surgió un factor de relevancia el cual indicó que las excedencias respecto a los valores de exposición ocupacional fueron observadas en incendios con una reducida cantidad de

combustible. En estos últimos, las mediciones realizadas de CO mostraron concentraciones entre 0.18ppm y 120ppm, siendo el VLU 30ppm (0,003%). Además, el 6% de los bomberos mostraron exposiciones de un minuto sobre los 400ppm (0,04%) y el mayor valor medido fue de 629ppm (0,0629%). En adición, las **condiciones de quema** determinaron que la alta variabilidad de las exposiciones al humo se vieron influenciadas por la topografía, la localización del personal respecto al área quemada y la meteorología. El terreno del área quemada afectó la dispersión de la pluma de humo y la localización del personal. Las conclusiones arribadas indicaron que deben evitarse las **exposiciones a humo** de altas y muy altas concentraciones o minimizar la duración de las mismas, debiendo rotar regularmente la tropa y su localización en la quema, relocalizar las tareas de trabajo y permitir un adecuado tiempo de recuperación entre exposiciones, siendo esencial determinar cuan frecuentemente los bomberos pueden enfrentarse a situaciones de altos y muy altos riesgos.

Miranda A.I. et al (2012) desarrolló un estudio durante los años 2008, 2009 y 2010 en Portugal con la finalidad de evaluar las **exposiciones a humos forestales** de bomberos, teniendo en consideración los valores e indicadores de sus exhalaciones tanto antes como después de las actividades, y respecto a CO, NO₂ y compuestos orgánicos volátiles. Los bomberos emplearon como elementos de protección respiratoria, bandanas, cuya protección ofrecida como dispositivo filtrante es limitada, dado que según Reh et al (1994) el tamaño de los poros de estos tipos de bandanas es de aproximadamente 200µm x 200µm, 500 a 2000 veces más grande que la menor partícula de humo (0,100µm a 0,400µm), consecuentemente los gases y el material particulado fino pasan a través de la misma. Dentro de las conclusiones arribadas se identificaron efectos considerables debidos a un gran incremento en los valores medidos de CO y NO en el aire exhalado, y al contrastar los valores antes del inicio del estudio (año 2008) respecto a aquellos correspondientes a la finalización del mismo (año 2010), se observó una significativa reducción de las funciones respiratorias.

Sumado a lo previamente planteado, Gaughan D. M., et al (2014) estudió las **exposiciones ocupacionales y sus asociaciones con cambios en las funciones pulmonares**



en diecisiete bomberos de incendios forestales en Colorado, América del Norte durante un extenso incendio forestal. Con tal fin, se tuvo en cuenta respecto a los sujetos tanto su edad, como su experiencia en el puesto, su sexo, si era fumador o no, si poseía asma o alergias, entre otros, y la metodología empleada constó de la medición del CO exhalado, espirometría y un cuestionario de la exposición. En este último se debió indicar al finalizar el turno, qué trabajos se habían efectuado, su severidad y la duración de la exposición. Los resultados, en este caso indicaron que se produjo un aumento en la inflamación de las vías aéreas superiores e inferiores y una hiper respuesta de las mismas, así como una disminución de la función pulmonar tanto sobre un turno de trabajo como una temporada.

1.6 Elementos de Protección Personal/Respiratoria

Dentro de las investigaciones que se han desarrollado en los últimos años respecto a los elementos de protección respiratoria, la autora Saladie M. (2010) evaluó tanto en detalle el **funcionamiento como las especificaciones técnicas** de dichos elementos, los cuales tienen la particularidad de ser los empleados por los bomberos para minimizar o eliminar los riesgos de gases provenientes de la combustión actualmente. Respecto a este tema, la autora identificó que: En primera instancia la **protección individual** debe ser empleada con la finalidad de proteger al sujeto contra uno o varios riesgos y como última barrera entre estos últimos y el personal, y siempre y cuando no se haya podido eliminar el riesgo en el origen o en el medio de transmisión. Debido a que en la actividad de los bomberos los riesgos no pueden ser eliminados en los casos previamente mencionados, la única alternativa es emplear los EPR. Otros factores importantes a los que deben acatar dichos elementos es que no deben ocasionar riesgos adicionales ni molestias innecesarias, previo a su selección debe efectuarse una evaluación de riesgos para poder deducir las prestaciones que estos deben ofrecer, así como las certificaciones que garanticen el cumplimiento de dichas prestaciones, y una vez adquiridos y puestos en servicio deben controlarse factores como el mantenimiento periódico, fechas de caducidad, estado general, entre otros. Así entonces, factores como ergonomía, materiales constitutivos y formas constructivas (en relación a efectos nocivos posibles o sobre la higiene), interferencias inadmisibles para el usuario (dificultades sobre los sentidos, movimientos, posturas, etc.), adaptación a la morfología de la persona (sistemas de ajuste y fijación), conocimiento y experiencia en el uso deben ser tenidos en cuenta.

En el caso particular de los EPR, su finalidad es la de **reducir las concentraciones de los contaminantes por debajo de los niveles de exposición ocupacional** recomendados. Dichos contaminantes pueden ser clasificados como: partículas (polvo y aerosoles – niebla y humo), químicos (gases o vapores – CO₂) y biológicos (bacterias o virus). Para esta investigación en particular y teniendo en cuenta los EPR que actualmente los bomberos utilizan en incendios forestales, se evaluarán las **máscaras con filtros**. Dichos elementos constan de un adaptador facial (cuya misión es que el aire respirable entre en las vías

respiratorias sin contacto con el ambiente contaminado exterior), y se caracteriza por cubrir completamente la cara del usuario.

Mediante la **Figura 9**, puede apreciarse una máscara con sus diversos componentes:



Fuente: Saladie, M. (2010).

Tal como puede apreciarse, dichos elementos poseen dentro de sus **características más importantes** un canto de estanquidad (que evita la filtración de gases por lugares ajenos a los filtros), visor, una mascarilla interior (cubriendo solamente la boca y nariz), arnés de cabeza (que permite la correcta sujeción), piezas de conexión (en donde se colocan los filtros deseados), válvula de exhalación (ubicadas en la parte inferior, por donde se expelle el aire espirado), válvula de aire del visor (ubicadas en los laterales internos, reduciendo el empañamiento), válvula de inhalación (por donde pasará el aire a ser inspirado), membrana fónica, y cintas de sujeción y ajuste.

Otras características importantes que la autora menciona son que en este caso se trata de **elementos dependientes del medio ambiente**, los cuales retienen los contaminantes mediante un sistema de filtrado y deben ser empleados cuando las concentraciones de O₂ sean mayores al 17%, y siempre y cuando la concentración atmosférica del contaminante sean tales que el equipo pueda reducir sus concentraciones a

los niveles de exposición recomendados. En el caso de los contaminantes químicos gaseosos como el CO₂, el material filtrante es **carbón activado** con tratamientos específicos para la retención del gas, pero dado que no suele presentarse de manera individual, pueden emplearse filtros de tipo combinados (que retienen gases, vapores, partículas y/o agentes biológicos). Por otra parte, se recomienda nunca quitarse el EPR durante la tarea, no utilizarlos por más de dos horas seguidas e intercalar períodos de descanso de al menos treinta minutos, lo cual puede ser modificado en relación al esfuerzo que requiera la tarea.

El **tiempo de servicio** que dichos EPR ofrecen (tiempo en el que son capaces de suministrar aire respirable) dependerá tanto de la concentración del contaminante como de la humedad, temperatura y la forma de respirar del usuario, y puede ser estimado al contrastar una constante (correspondiente al tipo de filtro) sobre la concentración del contaminante en el ambiente en ppm. Además, debe considerarse dividir el tiempo de servicio por 1,5 cuando la humedad relativa se encuentra entre el 75% y 85%, por 2,0 cuando ésta se encuentra entre 85% y 100%, y por 1,5 cuando la temperatura está comprendida entre 25°C y 30°C y por 2,0 cuando ésta está comprendida entre 30°C y 35°C. Para el caso de gases y vapores orgánicos la constante K varía según la capacidad del filtro siendo baja, media o alta, y correspondiéndole un valor de 750, 1500 y 5000 respectivamente.

El **factor de protección** (la relación entre la concentración del contaminante en el ambiente con el interior del EPR) indica hasta qué concentración del contaminante nos podemos enfrentar y debe ser multiplicado por el límite de exposición, siendo el valor teórico de la capacidad para filtros de media o alta de 2000. Finalmente, se determina que todo EPR genera una resistencia en la inspiración y espiración debido al pasaje del aire por el filtro para ser purificado, y que la capacidad de protección se encuentra determinada en base al tiempo en que tarda saturarse el lecho de carbón activo, lo cual se calcula mediante ensayos de laboratorio sobre concentraciones normalizadas, y además, la eficacia de filtración viene determinada por el porcentaje de penetración de contaminante respecto al filtro.

1.7 Marco Legal

Dentro del marco legal que podemos encontrar en la temática a nivel nacional, se destacan en primera instancia la **Ley 19.587/72 de Seguridad e Higiene en el Trabajo** la cual determina como sus pilares fundamentales la prevención, la eliminación, la reducción o la aislación de los riesgos provenientes del trabajo, para lo cual deben adoptarse las medidas para proteger la salud y la vida del trabajador según la tarea realizada, y debiendo considerar en este caso en particular, la contaminación ambiental. Además establece que dentro de las condiciones de seguridad a ser empleadas deben encontrarse los elementos de protección personal, los cuales deben ser suministrados a los trabajadores y efectuarse el mantenimiento de los mismos. El **Decreto** que reglamenta la citada Ley es el **351/79**, el cual establece en su Anexo I Título IV Capítulo 9 Art. 61° en relación a la contaminación ambiental, que en todo lugar de trabajo en que se produjera la contaminación con gases, vapores, nieblas, humos, aerosoles, etc. se deberá disponer de dispositivos para evitar que dichos contaminantes alcancen niveles que puedan afectar la salud del trabajador. Con tal objeto, mediante el Anexo III de la citada reglamentación se establecen las concentraciones máximas permisibles de los gases contaminantes para los ambientes de trabajo.

En el Art. 61° del Dto. 351/79 también se determinan aspectos en relación al **muestreo y análisis** a ser efectuado, indicando que debe tenerse en consideración el tamaño de las partículas y las características de las sustancias que puedan producir manifestaciones tóxicas, debiendo además dejar constancia del proceso, las condiciones operativas, la técnica de toma de muestras, la técnica analítica (con el correspondiente instrumental empleado en cada caso), el número de muestras (especificando el tiempo de muestreo, caudal, lugar y tareas desarrolladas durante el mismo), y el tiempo y la frecuencia de exposición. Consecuentemente, en el Capítulo 18, Art. 160° se determina respecto a la protección contra incendios como objetivo fundamental evitar los efectos de los gases tóxicos provenientes de la reacción de reducción-oxidación, y con relación a los equipos y **elementos de protección personal** en el Título VI Capítulo 19 Arts. 188° y 190°, se determina que si se detectase la necesidad de uso de éstos, será obligatorio su empleo y deberán ser proporcionados y utilizados por el personal en caso de haber agotado todas las instancias

científicas y técnicas tendientes a la aislación o eliminación de los riesgos. El Capítulo 19 indica también, en su Art. 199°, que los equipos protectores del aparato respiratorio deberán ser del tipo apropiado al riesgo y ajustarán completamente para evitar filtraciones.

En el Anexo III del **Decreto 351/79** se establecen los valores de **concentración máxima permisible ponderada en el tiempo (CMP)**, los cuales son aplicados para sustancias en suspensión en el aire e indican las concentraciones a las cuales los trabajadores pueden estar expuestos día a día sin sufrir efectos adversos sobre su salud. En base a esto, se especifican tres categorías, siendo: CMP o concentración máxima permisible ponderada en el tiempo (concentración media ponderada en el tiempo para ocho horas/día y cuarenta horas/semana a la que se cree que se puede estar expuesto repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos), concentración máxima permisible para cortos períodos de tiempo o CMP-CPT (concentración a la que se cree que se puede estar expuesto de manera continua durante un corto tiempo sin sufrir: irritación, daños crónicos o irreversibles en los tejidos o narcosis; siendo la exposición media ponderada en un tiempo de quince minutos, que no se debe sobrepasar en ningún momento ni repetirse más de cuatro veces al día, y debe haber por lo menos un período de sesenta minutos entre exposiciones sucesivas de este rango), concentración máxima permisible valor techo o CMP-C (concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento durante una exposición). Por otra parte, se indica que la magnitud en que se puede sobrepasar los límites umbral durante cortos períodos de tiempo sin daño para la salud depende de la naturaleza del contaminante, de si concentraciones muy elevadas producen intoxicaciones agudas, efectos acumulativos, frecuencia de las concentraciones elevadas y duración de dichos períodos de tiempo.

Prosiguiendo con lo establecido en el mencionado Anexo III, se especifica que los **gases asfixiantes** pueden no tener otros efectos biológicos significativos en elevadas concentraciones en aire, por lo que no es posible recomendar un valor límite umbral debido a que el factor limitador es el oxígeno (O₂) disponible y además, se indica que en condiciones normales de presión atmosférica, el contenido mínimo de oxígeno debe ser el 18% en volumen.

Tabla 7. De esta manera mediante la siguiente tabla, se especifican las concentraciones máximas permisibles que establece el Dto. 351/79 para el CO₂:

VALORES ACEPTADOS								
SUSTANCIA	N° CAS	CMP		CMP-CPT CMP-C		NOTACIONES	PM	EFECTOS CRÍTICOS
		VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD			
Dióxido de Carbono	124-38-9	5000	ppm	30000	ppm	-	44,01	Asfixia

Fuente: Ley 19.587/72, Decreto 351/1979 (Anexo III).

Continuando con los elementos de protección personal, la **Resolución N° 896/99** de la Secretaría de Industria, Comercio y Minería establece en su Artículo 2° que los productos deberán encontrarse certificados por marca de conformidad a los fines de constatar el cumplimiento de los requisitos esenciales de seguridad, con lo que para tal fin se deberá cumplir con las normas elaboradas por el Instituto Argentino de Normalización (IRAM), regionales MERCOSUR (NM), Europeas (EN), internacionales (ISO) u otras. Respecto a esto último y siguiendo la misma finalidad, la **Disposición** de la Dirección Nacional de Comercio Exterior **N° 58/2002** reconoce a IRAM como organismo de certificación, y la **Resolución** de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo **N° 299/2011** determina que los EPP deberán contar con certificación emitida por organismos reconocidos y acreditados en el Organismo Argentino de Acreditación (OAA). Por otra parte, la Secretaría de Coordinación Técnica mediante la **Resolución N° 55/2005**, especifica que si no hubiesen organismos de certificación y/o laboratorios de ensayo que permitan corroborar los requisitos mínimos de seguridad o las normas técnicas respectivas, la obligatoriedad de la certificación quedará en suspenso. En relación con la norma previamente mencionada, la **Resolución N° 63/2003** de la Secretaría de la Competencia, la Desregulación y la Defensa del Consumidor indica que la declaración de conformidad del producto con los requisitos esenciales de seguridad deberá estar respaldado con protocolos de ensayo y memorias técnicas.

Ahora bien, prosiguiendo con la **Resolución N° 896/99** en su Anexo II determina que los EPP deberán permitir efectuar normalmente la actividad que le exponga a riesgos, teniendo una protección tan elevada como sea posible y sin ocasionar riesgos, molestias ni poseer efectos nocivos en la salud e higiene del usuario en condiciones normales de uso.

Además, deberán adaptarse al máximo a la antropometría del individuo y ocasionar la mínima limitación posible del campo visual y visión. Específicamente hablando de protección respiratoria para los casos evaluados mediante la presente investigación, se indica que los EPP deberán permitir que el usuario disponga de aire respirable cuando esté expuesto a una atmósfera contaminada y/o a concentraciones de oxígeno insuficientes, debiendo filtrar el aire contaminado permitiendo una penetración de contaminantes lo suficientemente débil como para no dañar la salud o la higiene del usuario.

Además de lo previamente mencionado, la **Resolución N° 861/15** de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo crea el **protocolo para medición de contaminantes químicos en el aire** de un ambiente de trabajo. Mediante el **Protocolo 1** se muestra lo establecido en la Resolución:

Protocolo 1

PROTOKOLO PARA MEDICION DE CONTAMINANTES QUIMICOS EN EL AIRE DE UN AMBIENTE DE TRABAJO	
(1) Razón Social:	
(2) Dirección:	
(3) Localidad:	
(4) Provincia:	
(5) CP:	(6) C.U.I.T.:
DATOS COMPLEMENTARIOS	
(7) Marca, modelo y número de serie del instrumental utilizado:	
(8) Fecha de calibración del instrumental utilizado:	
(9) Metodología utilizada para la toma de muestra de cada contaminante	
(10) Observaciones:	
DOCUMENTACION QUE SE ADJUNTARA A LA MEDICION	
(11) Certificado de Calibración	
(12) Plano o croquis.	

Hoja 1/3

.....
Firma, Aclaración y Registro del Profesional Interviniente



para desarrollar la actividad, y en su Artículo 12° que los recursos materiales que posean las entidades deberán tener calidad certificada.

1.8 Contextualización Regional de la Problemática Estudiada

La central N° 08 de **Bomberos Voluntarios de Centenario** localizada en la Provincia de Neuquén (región centro), posee dentro de su jurisdicción a los municipios de Centenario, Vista Alegre Norte y Sur. Esta región localizada a aproximadamente quince kilómetros al Norte respecto a la capital de la Provincia, se caracteriza por contar con un amplio territorio fruti-hortícola, estar emplazado en gran medida sobre el margen Este respecto a la ruta Provincial N° 7 y sobre el margen Oeste respecto al Río Neuquén, contando con una extensión de unas 2.200ha, constituida en gran medida por establecimientos chacareros que poseen una amplia diversidad de vegetación.

Sobre todo en épocas invernales como consecuencia del riesgo que las bajas temperaturas representan para las actividades productivas regionales, muchas de las personas cuyos ingresos económicos principales derivan de dicha actividad optan por proteger su producción utilizando el fuego. En muchos casos, ya sea debido a quemas que se salen de control por condiciones meteorológicas adversas (tales como fuertes vientos o elevadas temperaturas) o a imprudencias de los individuos, se producen incendios (combustión descontrolada). Los organismos que por excelencia dedican su tiempo y esfuerzo en la extinción de estos fuegos descontrolados son las Asociaciones de Bomberos, las cuales deben proteger tanto al ambiente como a la población general y sus bienes de los peligros que estas reacciones químicas generan (así como un sin número de otros tipos de emergencias). Para ello, deben capacitarse constantemente y preplanear las diversas estrategias a emplear para cada caso en particular. Es por esto que al momento de acudir a una emergencia solamente una reducida dotación (que suele estar compuesta de dos a seis integrantes) se traslada, desplazando equipos, herramientas e incluso móviles específicos para la actividad. Al arribar al lugar ya se conoce de antemano las tareas que cada integrante de la dotación efectuará, correspondiendo por ejemplo a la tropa, la extinción directa del incendio, por lo que generalmente se encontrará expuesta a un mayor número de riesgos entre ellos la exposición a gases como el CO₂. Para reducir los riesgos en la salud durante en el control de incendios de pastos naturales cada bombero voluntario cuenta con formación y

experiencia, así como elementos de protección personal específicos. Los elementos de protección respiratoria que involucran para los mencionados casos máscaras con filtros, no siempre se encuentran disponibles para el personal en los móviles de emergencia o sus condiciones no son óptimas para brindar una adecuada protección. Por otra parte, se subestiman los riesgos y como consecuencia no se emplean, lo que representa un riesgo para la salud laboral.

La importancia del presente trabajo de tesis radica en que actualmente un **37.5% (552) de los siniestros** a los que los Bomberos Voluntarios de Centenario acuden corresponden a incendios los cuales en su mayoría son del **tipo forestal** (lo que involucra aproximadamente uno por día). Esto se debe a que, una de las actividades productivas de mayor importancia para la región es la fruticultura por lo que existe un extenso terreno dedicado exclusivamente a esta.

Como puede apreciarse en **investigaciones a nivel internacional** sobre el tema, la exposición a gases provenientes de la combustión de pastos naturales repercute sobre la salud de los bomberos, pero en contraposición a esto, no existen actualmente investigaciones sobre el tema a nivel regional.

Por otra parte, es necesario **concientizar y formar** a los bomberos y a las instituciones a las cuales pertenecen respecto a los riesgos que los gases como el CO₂ poseen para la salud, así como la importancia en el uso y adquisición de los EPR correspondientes, para poder disminuir al máximo las exposiciones a los gases de la combustión sobre todo en aquellas situaciones de elevadas concentraciones de los mismos a nivel atmosférico. En adición a esto, es de importancia destacar que la reacción química del fuego posee propiedades que son sumamente útiles para la vida actual, pero por otra parte también es una fuente de riesgos tales como la producción de calor y gases de combustión (este último mayormente constituido por CO, CO₂ y muchos otros gases que dependerán del combustible siendo quemado). Con los **avances tecnológicos** de los últimos años, se han creado instrumentos capaces de medir las concentraciones de gases a nivel atmosférico y otros capaces de proteger el sistema respiratorio de las personas expuestas a diversos gases tóxicos, lo cual resulta realmente útil para esta investigación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar los efectos que la exposición a CO₂ proveniente de la combustión de pastos naturales genera sobre la salud de los Bomberos Voluntarios de Centenario, tras exposiciones de cortos períodos de tiempo a elevadas dosis, durante el ejercicio de su trabajo en los municipios de Centenario y Vista Alegre Norte y Sur, en la actualidad.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Relevar la presencia, funcionamiento y utilización de elementos de protección respiratoria al actuar en incendios de pastos naturales.
- Determinar los síntomas y efectos que presentan los sujetos de estudio expuestos a altas dosis de dióxido de carbono en cortos períodos de tiempo.
- Identificar si existe alguna relación entre dichos síntomas y efectos con los niveles atmosféricos de oxígeno al momento de la exposición.

3 ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3.1 Trabajo de Campo

El trabajo de campo se hizo efectivo en un **incendio de pastos naturales real** ocurrido en la zona rural de la ciudad de Centenario, en este se efectuó la medición de gases provenientes de la combustión y posteriormente se evaluaron tanto las condiciones del siniestro como de desempeño de los bomberos involucrados (cuyos requisitos para formar parte de la presente investigación se detallan en el **punto 3.2**).

3.1.1 Muestreo de Gases y Descripción del Instrumento

El **muestreo de gases *in situ*** fue efectuado mediante un detector Multigas Altair 4X de la marca MSA y buscó determinar las concentraciones atmosféricas de **oxígeno** durante la emergencia en la fase de combustión libre del incendio, exclusivamente en aquellas zonas de mayor concentración de gases provenientes de la combustión. Sumado a esto, **se estimó la exposición a CO₂** en base a los síntomas/efectos detectados en los individuos evaluados y a los resultados de las mediciones de O₂ ya que ambos son indicadores benignos de los valores presentes del CO₂ a nivel atmosférico dado que por ejemplo, los niveles de O₂ tienden a disminuir al ser desplazados por un aumento en la P_{CO₂} así como por la diferencia de densidad de estos.

Por otra parte, el **detector de cuatro gases MSA** (calibrado y certificado por un ente acreditado para tal fin) consta de un sensor electroquímico para la medición de O₂ (capaz de detectar concentraciones entre 0% y 30%) y se caracteriza por poseer un sistema de alerta (vibratoria, sonora y visual –esta última consta de una luz verde que parpadea cada quince segundos en caso de un funcionamiento y condiciones normales, y una luz roja en caso de cualquier error del instrumento o en condición de alarma-), el cual se acciona tanto al detectar muy poco oxígeno –igual o menor al 19.5%- (atmósfera deficiente) como demasiado oxígeno –igual o mayor al 23 %- (atmósfera enriquecida). Vale aclarar que puede lograrse una falsa alarma debido a cambios rápidos en la presión, en la humedad o en la temperatura del ambiente. El medidor de gases empleado requerirá para un 90% de la

lectura final un tiempo menor a 10 segundos (en una temperatura normal), y sumado a esto, posee una resolución de 0,1%.

Se adjunta mediante **Anexo I** imágenes escaneadas del manual de operaciones del instrumento, en donde se observan todos aquellos puntos relevantes respecto al mismo factibles de ser aplicados en la presente investigación. Asimismo se anexan al mismo, fotografías donde se corrobora tanto su calibración como otros parámetros de importancia previamente mencionados.

Al realizarse el **muestreo**, se cumplió con los siguientes puntos:

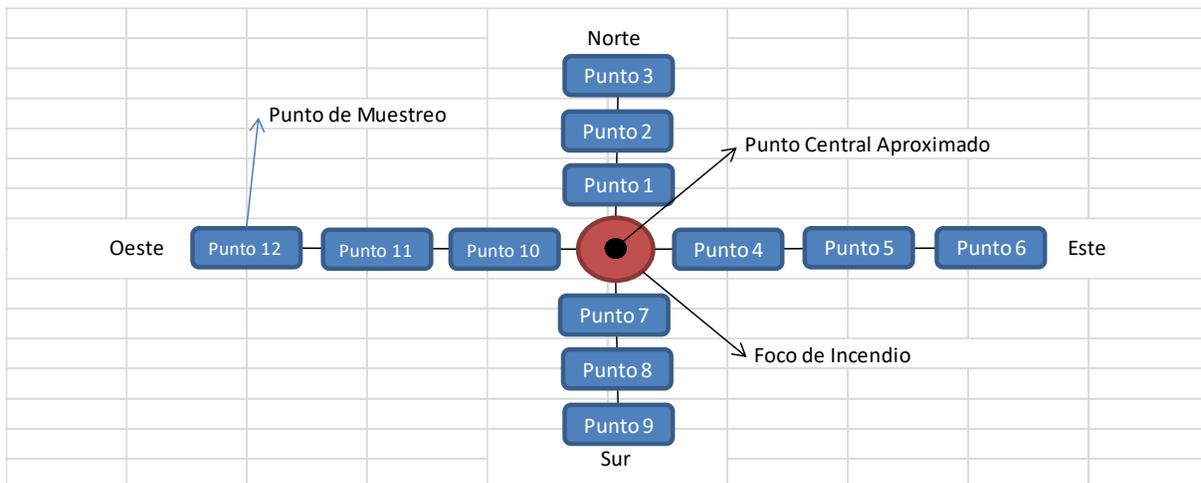
- En el siniestro se realizaron mediciones teniendo como referencia solamente un foco de incendio (la dispersión de su pluma de gases).
- Del foco de incendio se tuvo como referencia un “punto central aproximado”, el cual fue empleado a los fines de tomar las distancias hasta los puntos de muestreo preestablecidos.
- Se efectuaron un total de doce muestras en cuatro diferentes direcciones y a una altura de 1,6 mts. aproximadamente cada una de las mismas.
- Los lugares de las tomas de muestras fueron determinados en base a los puntos cardinales (Norte, Este, Sur, Oeste) y llevados a cabo cronológicamente en el sentido de las agujas del reloj. Siendo por ejemplo, efectuados en primer lugar los tres muestreos en el punto Norte, luego en el punto Este, etc.
- Las muestras uno, dos y tres, corresponden al punto cardinal Norte (siendo la muestra uno, la ubicada de manera recta a 1,5 mts. de distancia, la muestra dos a 3 mts. y la muestra tres a 6 mts. respectivamente). Las muestras cuatro, cinco y seis pertenecen al punto Este; las siete, ocho y nueve al punto Sur; y las diez, once y doce al punto Oeste. Todas las distancias tuvieron como punto de origen al “punto central aproximado”.
- Cada muestra tomó un tiempo máximo de diez segundos de ejecución, y si bien el tiempo total estimado de muestreo fue de dos minutos este fue superado llegando a los cuatro minutos en total.
- Al estar el incendio confinado, no aplicó considerar el frente de avance del fuego.
- Todos los detalles relevantes quedaron debidamente asentados.

- Se completó la **Tabla 8** -Muestreos de gases *in situ*- para el siniestro evaluado.

Tabla 8 -Muestreos de gases *in situ*-

Muestreo de Gases <i>in situ</i>				
Hora Comienzo de Muestreo:				
Hora Finalización de Muestreo:				
N° Muestra	Punto	Porcentaje de Oxígeno Medido	Presencia de Pluma de Gases	Observaciones
1	Norte 1			
2	Norte 2			
3	Norte 3			
4	Este 1			
5	Este 2			
6	Este 3			
7	Sur 1			
8	Sur 2			
9	Sur 3			
10	Oeste 1			
11	Oeste 2			
12	Oeste 3			

Croquis 1 - Metodología propuesta para el muestreo de gases



3.1.2 Relevamiento de las Actuaciones

Al momento de llevar a cabo las tareas de campo se confeccionó la **Tabla 9 – Siniestro-** en donde se detallaron los datos que tuvieron mayor importancia respecto al

incendio (ubicación, superficie quemada, condiciones meteorológicas, etc.), e involucrando tanto al personal interviniente como a los elementos de protección respiratoria y a los móviles de emergencia, y anexando al mismo el registro fotográfico de las actuaciones.

Tabla 9 –Siniestro-

Siniestro			
Fecha y Hora			
Ubicación			
Duración de las Actividades			
Superficie Quemada			
Móvil Empleado		Dotación Total	
Cantidad de Sujetos Evaluados			
Utilización de EPR	SI	NO	OBSERVACIONES
Disponibilidad de EPR en Móvil	SI	NO	OBSERVACIONES
Condiciones Meteorológicas			
Viento	Dirección	Intensidad	
Presión			
Humedad			
Temperatura			

Respecto a este punto se adjunta en el **Anexo II** la documentación generada en la central de bomberos como consecuencia del siniestro: Parte de servicio (documento que recaba toda la información inherente al siniestro), “Anexo I” (documento que recaba la información gestionada en la guardia, tras la recepción del llamado y hasta finalizar la emergencia) y “Anexo II” (documento que contiene la información recabada durante la emergencia por parte del personal actuante en la misma), los cuales contienen toda la información que el cuartel de bomberos voluntarios recopila rutinariamente en este tipo de servicios.

3.2 Sujeto de Estudio

Los sujetos de estudio seleccionados fueron Bomberos Voluntarios de la central 08 de Centenario tanto masculinos como femeninos, los cuales fueron divididos en **dos grupos**: El primero de estos grupos correspondió a aquellos individuos que formaron parte del siniestro evaluado; y el segundo grupo involucró a aquellos que acreditaron experiencia en este tipo de siniestros, pero que no fueron parte del personal interviniente en el incendio evaluado. Los **requisitos** que debieron cumplir los bomberos para formar parte de ambos grupos fueron:

- Tener entre 18 y 40 años de edad.
- Poseer mínimamente el rango jerárquico de Bombero o cargos superiores (es menester aclarar que mínimamente, dicho personal contará con seis meses de formación en la especialidad, dado que éste es el período de tiempo mínimo necesario para ascender al cargo de Bombero).
- Indicar si posee enfermedades previas en relación a los síntomas habituales a ser sufridos durante la exposición a gases de combustión.
- Informar si es fumador o no.

Los **requisitos exclusivos** para los bomberos que formaron parte del **primer grupo**, fueron además: Efectuar la tarea de **tropa** durante el desempeño de su labor en el incendio involucrado en la presente investigación.

Es importante aclarar que al desempeñarse en las actividades de extinción de incendios de pastos naturales, cada **dotación** (personal interviniente con el respectivo móvil empleado) se caracteriza por contar con:

- Un chofer o maquinista cuyas funciones estarán directamente abocadas al móvil (emplazamiento, gestión de recursos, entre otros). Se aclara que este individuo no será evaluado en la presente investigación.

- Un jefe de dotación cuyo fin será coordinar las actividades a desarrollar por parte de todo el personal y determinar las directrices y pautas a seguir a los fines de lograr el objetivo en cuestión. Este individuo puede desarrollar actividades de tropa, por lo que sí será tenido en cuenta para ser evaluado.
- La tropa que estará constituida por el personal abocado exclusivamente a las tareas de extinción.
- El encargado de guardia que desde la central, gestionará los recursos y brindará la información y comunicación necesaria de manera directa con el jefe de dotación para el desempeño de las actividades. Debido a que este sujeto no se verá expuesto, no será tenido en consideración.

En relación al **primer grupo**, se evaluaron todos los bomberos participantes del incendio siempre y cuando estos manifestasen querer formar parte de la presente investigación y además cumpliesen con todos los requisitos previamente establecidos.

Respecto al **segundo grupo**, los participantes fueron determinados respecto a la **población total** de bomberos (o personal con cargos mayores) en el cuartel, sobre los que se tomó una **muestra** de diez individuos (excluyendo a todos aquellos que formaron parte del primer grupo). La determinación de los mismos fue de carácter aleatorio sobre el personal que cumplió con todos los requisitos predeterminados y aceptó formar parte de la presente investigación.

3.3 Relevamiento de Elementos de Protección Respiratoria

Una vez finalizadas las tareas de campo se procedió a **registrar la totalidad de los EPR** con los que cuenta el cuartel de Bomberos Voluntarios de Centenario para ser empleados en incendios de pastos naturales, respecto a los cuales se tuvo bajo consideración tanto la fecha de caducidad o elaboración de los filtros, el tipo de gases y/o partículas factibles de ser retenidos por los mismos, su saturación estimada y las condiciones generales del EPP (mediante la confección de la **Tabla 10 –Relevamiento de Máscaras con Filtros-**).

Tabla 10 –Relevamiento de Máscaras con Filtros-

Relevamiento de Máscaras con Filtro								
Máscara N°	Filtro N°	Tipo de Filtro /Material Retenido	Marca de Máscara	Fecha de Elaboración del Filtro	Saturación de Filtros ²	Condiciones Generales ³	Observaciones	Ubicación en la Institución
1	1							
	2							
2	3							
	4							
3	5							
	6							
4	7							
	8							
5	9							
	10							
6	11							
	12							
7	13							
	14							
8	15							
	16							
9	17							
	18							
10	19							
	20							

² Medido en octavos. Siendo 0/8 un filtro nuevo y 8/8 un filtro totalmente saturado.

³ Clasificado en: Buenas – Regular – Malas.

3.3.1 Móviles de Emergencia para Incendios Forestales

Además, se especificó para la totalidad de la flota empleada para este tipo de actividades, qué porcentaje de las mismas actualmente se encuentran equipadas con dichos

EPR. Lo mismo se llevó a cabo completando la **Tabla 11 – Móviles de Emergencia para Incendios Forestales.**

Tabla 11 – Móviles de Emergencia para Incendios Forestales.

Móviles	Abocado a Incendios Forestales	Presencia de Máscaras con Filtro	Cantidad
8			
10			
12			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			

3.4 Autoconsulta de Exposición

Tras finalizar el siniestro evaluado se procedió a realizar sobre los sujetos de estudio comprendidos en el grupo uno un cuestionario subjetivo de su exposición, adjunto a continuación:

Cuestionario 1 –Exposición-

Cargo Jerárquico				
Edad				
Antigüedad				
Tareas Desarrolladas en la Dotación	Jefe de Dotación		Tropa	
Tiempo de Exposición a Gases de Combustión Aproximada	Menos de 5 minutos	Entre 5 y 15 minutos	Entre 15 y 30 minutos	Más de 30 minutos
Nivel de Exposición a Gases Estimado	Nulo	Bajo	Moderado	Alto
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en este tipo de Incendio?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
Síntomas / Efectos	Ausente	Leve	Moderada	Marcada
Dificultad para Respirar				
Aumento de Frecuencia Respiratoria				
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco				
Mareos				
Desorientación / Confusión				
Dolor de Cabeza				
Distorsión Visual				
Fatiga / Agitación				
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	Si - Detallar			No
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	Si - Detallar			No
¿Tiene el hábito de fumar?	Si		No	

3.5 Autoconsulta de Experiencia en Incendios de Pastos Naturales

De manera paralela a la autoconsulta de exposición (cuestionario 1) se realizó un cuestionario sobre el personal seleccionado de manera aleatoria correspondiente al segundo grupo, completándose los siguientes datos:

Cuestionario 2 –Experiencia en Incendios de Pastos Naturales-

Cargo Jerárquico					
Edad					
Antigüedad					
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre	
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ			
		Ausente	Leve	Moderada	Marcada
Dificultad para Respirar					
Aumento de Frecuencia Respiratoria					
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco					
Mareos					
Desorientación / Confusión					
Dolor de Cabeza					
Distorsión Visual					
Fatiga / Agitación					
Otros (detallar)					
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	Si - Detallar			No	
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	Si - Detallar			No	
¿Tiene el hábito de fumar?	Si		No		

3.6 Estimación de la concentración de anhídrido carbónico CO₂.

La estimación de los valores atmosféricos de CO₂ en cada una de las exposiciones evaluadas, se realizó en primera instancia en base al desplazamiento de oxígeno detectado con el medidor de cuatro gases en el incendio (lo cual visto lo valores arrojados no tuvo inferencia alguna) y en una segunda y última instancia, al evaluar los síntomas y efectos detectados en los dos grupos de bomberos y contrastar dichos resultados con lo desarrollado en el marco teórico, dado que en los estudios presentes en éste se determinó para cada uno de los efectos/síntomas los valores correspondientes de CO₂.

3.7 Análisis de Datos

Una vez finalizada la recolección de datos en campo y oficina, se procedió a evaluar primero de manera individual cada uno de los mismos, para luego hacerlo de manera global según cada una de las temáticas preestablecidas (máscaras con filtro, móviles de emergencia, síntomas y efectos tras la exposición a gases de combustión, entre otros) para posteriormente confeccionar gráficos en donde se reprodujeran dichos datos y la información completada mediante las tablas. Para esto, en los casos que así lo ameritaron se optó por exponer los datos para una mejor interpretación por parte del lector y una óptima contrastación entre sí, utilizando porcentajes.

Finalmente, se procedió a comparar y evaluar de manera conjunta todos los datos recopilados en el trabajo de campo y oficina respecto a aquellos estudios e información desarrollada en el marco teórico, para una vez terminado con esto arribar a las conclusiones finales tras el análisis integral de cada uno de los temas y dar cumplimiento con los objetivos preestablecidos.

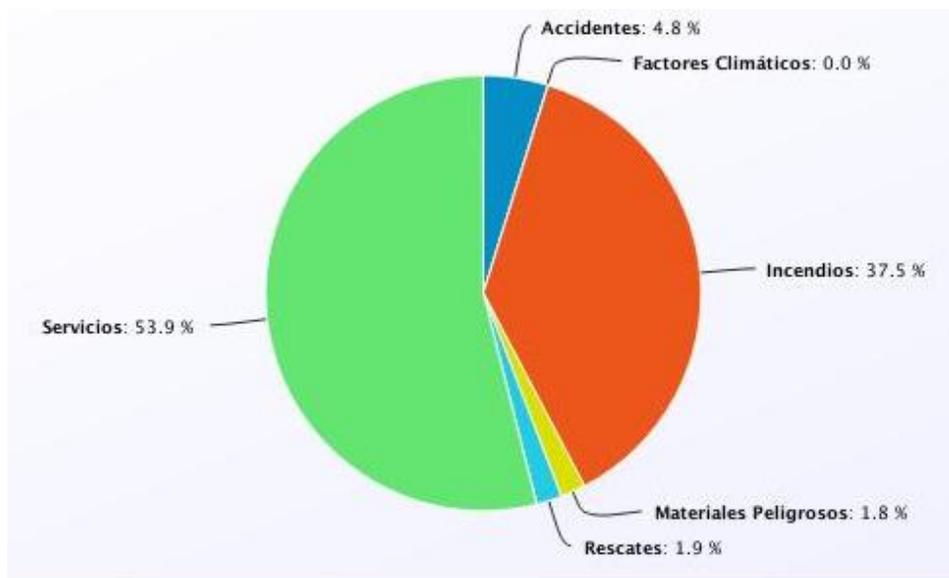
4 RESULTADOS

4.1 Antecedentes de la Institución Estudiada

Internamente en la institución es requerido por parte del Consejo de Federaciones de Bomberos de la República Argentina, que día a día se lleve a cabo un relevamiento respecto a la totalidad de los servicios prestados. Los mismos deben ser cargados digitalmente vía online en el Registro Único de Bomberos de Argentina (RUBA), el cual es un Sistema de Gestión que recopila y administra la información de todo el Sistema Nacional de Bomberos Voluntarios. Los datos pertenecientes a los servicios son registrados y expuestos en períodos anuales, por lo que pueden obtenerse datos estadísticos de las actuaciones de las Asociaciones de Bomberos para su estudio y relevamiento. De esta manera con la obtención de dichos datos, pudo detectarse que durante el transcurso del año 2015, se prestaron un total de **1.472 servicios por parte de la Asociación de Bomberos Voluntarios de Centenario**, de los cuales 552 corresponden a incendios (que a su vez, la gran mayoría de estos fueron de tipo forestal) que representan un 37.5 % respecto al total.

De esta manera, el RUBA presenta en forma de gráficos los datos relevados respecto a la Asociación de Bomberos Voluntarios de Centenario durante el año 2015:

Gráfico 2 – Porcentajes de servicios distribuidos por tipo



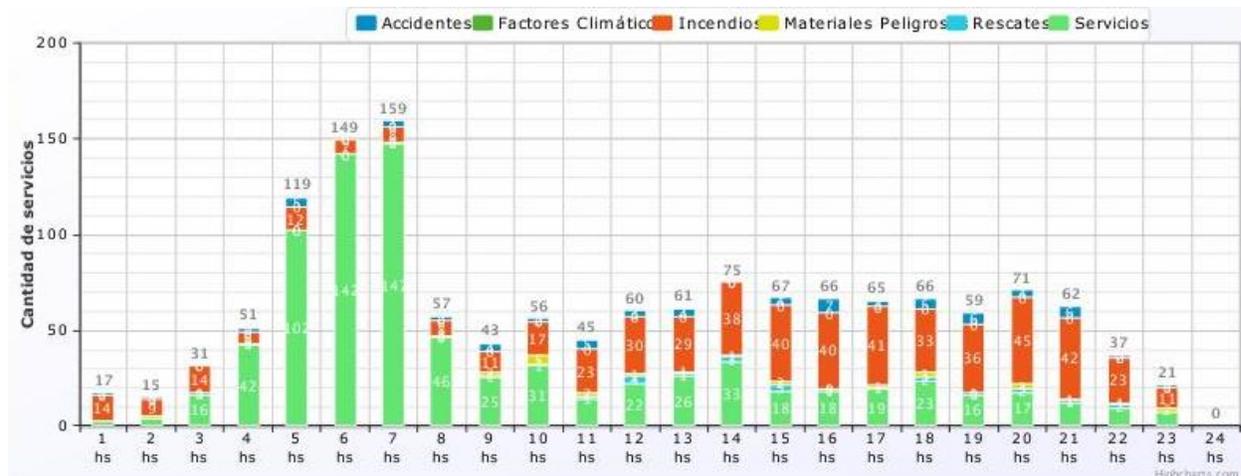
Consejo Nacional de Bomberos de la República Argentina (2016).

Gráfico 3 - Incendios distribuidos por categoría



Consejo Nacional de Bomberos de la República Argentina (2016).

Gráfico 4 - Servicios distribuidos por hora y por tipo



Consejo Nacional de Bomberos de la República Argentina (2016).

Tal como se mencionó con anterioridad, durante el año 2015 un 37.5 % o sea 552 siniestros (de 1.472 en total) correspondieron a incendios, de los cuales su gran mayoría (tal como puede apreciarse en el **Gráfico 3** fueron de tipo forestal, pudiendo alcanzar un valor mensual máximo de casi 80 durante Agosto. Otro de los datos de relevancia que surgió tras la evaluación de los gráficos fue que la cantidad de incendios forestales aumenta considerablemente en épocas invernales tal como puede apreciarse para los meses de Junio a Octubre, y los horarios más propensos a que estos ocurran son entre las once y las veintidós horas.

4.2 Muestreo de gases *in situ*-

Según lo establecido, se realizó el muestreo de gases de combustión en donde tuvo lugar un incendio de tipo forestal real, tomándose para tal fin un foco principal el cual estaba constituido por bines de madera conteniendo troncos de pequeño tamaño –cuyo punto central aproximado se encontraba en el centro de los bines y no poseía frente de avance al estar confinado a ese lugar-. De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados (**Tabla 8 completada**). No se advirtió modificación alguna en las concentraciones atmosféricas de O₂, lo que indicó que los gases de combustión (dentro de ellos el CO₂) no efectuaron el desplazamiento del mismo a nivel atmosférico, lo cual aplica incluso a las situaciones de mayor concentración (véase punto de muestreo N° 8) en las que la pluma de humo era de una elevada concentración.

Se adjuntan en el **Anexo III Parte I**, el registro fotográfico de lo relevado –Fotografías del instrumento-.

Tabla 8 completada -Muestras de gases *in situ*-

Muestreo de Gases <i>in situ</i>				
Hora Comienzo de Muestreo: 17:05 Hs.				
Hora Finalización de Muestreo: 17:09 Hs.				
N° Muestra	Punto	Porcentaje de Oxígeno Medido	Presencia de Pluma de Gases	Observaciones
1	Norte 1	20.8	NO	CO: 26ppm
2	Norte 2	20.8	NO	CO: -
3	Norte 3	20.8	NO	CO: -
4	Este 1	20.8	NO	CO: 0ppm
5	Este 2	20.8	Leve ¹	CO: 18ppm
6	Este 3	20.8	NO	CO: -
7	Sur 1	20.8	Media ²	CO: -
8	Sur 2	20.8	Elevada ³	CO: -
9	Sur 3	20.8	NO	CO: -
10	Oeste 1	20.8	NO	CO: 0ppm
11	Oeste 2	20.8	NO	CO: -
12	Oeste 3	20.8	NO	CO: -

Ref.: ¹ Pluma de gases disipada en 1 a 10 segundos y de baja concentración.

² Pluma de gases disipada en 10 a 30 segundos y de moderada concentración.

³ Pluma de gases disipada en más de 30 segundos y de alta concentración.

4.3 Siniestro

Se relevaron los datos de mayor importancia respecto al siniestro (**Tabla 9 completada**). Se pudo determinar que el siniestro cumplió con los puntos previamente establecidos dado que involucró pastos naturales sumado a bines de madera conteniendo a su vez troncos en su interior, por lo que estaríamos en presencia de material compuesto mayormente por celulosa (componente principal de la madera). Asimismo, la meteorología mostró condiciones óptimas para efectuar un muestreo de gases sin presentar mayores inconvenientes (día soleado con muy baja presencia de viento y 15°C de temperatura) y una humedad del 59%, lo que además benefició a la generación del fuego y la prosecución del incendio. Otro punto relevante a destacar fue que gracias a la muy baja velocidad del viento, el personal pudo efectuar sus tareas sin inconvenientes y evitar exponerse prolongadamente a los gases de la combustión (dado que la pluma de gases poseía una controlada dispersión).

Tabla 9 completada –Siniestro-

Siniestro		Pastos Naturales – Bines	
Fecha y Hora		17/06/2016 – 16:20 Horas (inicio)	
Ubicación		Calle 8, lote 30 B – Centenario	
Duración de las Actividades		1 Hora 30 Minutos	
Superficie Quemada		40.000 m²	
Móvil Empleado	N° 8 y N° 17	Dotación Total	2 Choferes – 6 Tropa
Cantidad de Sujetos Evaluados		4	
Utilización de EPR	SI	NO	OBSERVACIONES
		X	
Disponibilidad de EPR en Móvil	SI	NO	OBSERVACIONES
	X – Móvil 8		Móvil 17 sin EPR
Condiciones Meteorológicas			
Viento	Dirección	Intensidad	
	NO APLICA	MUY BAJA	
Presión	1025 hPa		
Humedad	59%		
Temperatura	15°C		

Tal como puede apreciarse en la Tabla 9 completada, al incendio asistieron dos móviles de emergencia, lo que involucró un total de dos choferes y seis bomberos de tropa, de los cuales según lo establecido en el **punto 3.2** (requisitos a ser cumplidos por los sujetos de estudio) sólo cuatro fueron evaluados toda vez que el resto no cumplía con los requisitos establecidos (uno de los mismos es quien efectuó el presente estudio, por lo que su participación fue solamente de manera parcial –logística-, y el otro sujeto es menor de edad y por ende no se ha graduado como Bombero Voluntario). Este grupo entonces fue denominado “**primer grupo**”.

Se aclara que si bien puede apreciarse en el **Anexo II Parte de Servicio** que en el siniestro participó un móvil más con personal, estos no fueron tenidos en cuenta en la investigación dado que su presencia en el lugar fue solo a los fines de corroborar que el incendio realmente existiese y una vez hecho esto, volvieron a la central de bomberos sin efectuar tareas de extinción alguna.

Respecto al trabajo desempeñado por el primer grupo, ninguno de los cuatro sujetos de estudio empleó los EPR ubicados en el móvil 8 (tres máscaras con filtro –dos en condiciones de ser empleadas-). Pero es importante destacar que ninguna de las dos máscaras ubicadas en el móvil 8 eran aptas para ser utilizadas para este tipo de siniestro (véase **Tabla 10 completada**, relevamiento de máscaras con filtro para más información). Sumado a esto, el móvil N° 17 no poseía máscaras con filtro.

Se adjunta mediante **Anexo III Parte II**, registro fotográfico de las actuaciones relevadas inherentes tanto al desempeño del personal en el siniestro como al foco ígneo.

4.4 Relevamiento de Máscaras con Filtro

Se procedió a efectuar un relevamiento de la totalidad de los EPR con los que cuenta la central e identificar a su vez su estado de funcionamiento actual, completando de esta manera la Tabla 10 y relevando los mismos mediante material fotográfico adjunto mediante **Anexo III Parte III**.

Tabla 10 Completada

Relevamiento de Máscaras con Filtro – Fecha de Ejecución 02/04/2016								
Máscara N°	Filtro N°	Tipo de Filtro /Material Retenido	Marca de Máscara	Fecha de Elaboración del Filtro	Saturación de Filtros	Condiciones Generales	Observaciones	Ubicación en la Institución
1	1-Izq.	VO-CL2-SO2-CLO2-HCL-H2S-P100	MSA	Año 2004	1/8	Regular	Sujeción de Filtro Derecho Rota	Móvil N° 8
	2-Der.	AM-MA-P100	MSA	Año 2011	4/8			
2	3-Izq.	OV-CL-HC-SD-AM-MA-CD-HS-FM-HF-ND	MSA	Año 2010	1/8	Regular	Anclaje Derecho de Máscara Roto	Móvil N° 8
	4-Der.	Sin Filtro	MSA	-	-			
3	5-Izq.	AM-MA	MSA	Año 2011	5/8	Buenas	-	Móvil N° 8
	6-Der.	AM-MA	MSA	Año 2011	7/8			
4	7-Izq.	P100-OV-CL-HC-SD-CD-HS	MSA	Año 2012	0/8	Buenas	-	Móvil N° 16
	8-Der.	P100-OV-CL-HC-SD-CD-HS	MSA	Año 2012	0/8			
5	9-Izq.	P100-OV-CL-HC-SD-CD-HS	MSA	Año 2012	0/8	Buenas	-	Móvil N° 16
	10-Der.	P100-OV-CL-HC-SD-CD-HS	MSA	Año 2012	0/8			
6	11-Izq.	P100-OV-CL-HC-SD-CD-HS	MSA	Año 2012	0/8	Buenas	-	Sección Materiales - Reserva
	12-Der.	P100-OV-CL-HC-SD-CD-HS	MSA	Año 2012	0/8			
7	13-Izq.	Sin Filtro	3M	-	-	-	Fuera de Servicio	Sección Materiales - Reserva
	14-Der.	Sin Filtro	3M	-	-			
8	15-Izq.	VO-CL2-SO2-CLO2-HCL-H2S-P100	MSA	Año 2004	7/8	Regular	Falta protector de válvula de exhalación	Sección Materiales - Reserva
	16-Der.	VO-CL2-SO2-CLO2-HCL-H2S-P100	MSA	Año 2004	5/8			

Referencias: NH3-AM: Amoniaco; MA: Metilamina; P100: Filtro contra partículas (99.7% de eficiencia) contra aerosoles particulados; CL-CL2: Cloro – Gas; SD-SO2: Dióxido de Azufre; CD-CLO2: Dióxido de Cloro; HC-HCL: Ácido Clorhídrico; HS-H2S: Ácido Sulfhídrico; OV-VO: Vapores Orgánicos; FM: Formaldehídos; HF: Fluoruro de Hidrógeno.

Se determinó de esta manera que de la flota de la central de bomberos compuesta por trece móviles (siete de los mismos empleados para incendios de pastos naturales –Véase **Tabla 11 Completada – Móviles de Emergencia para Incendios Forestales-**), solamente dos cuentan con máscaras con filtro por lo que su presencia es sólo del 29% en los móviles utilizados para incendios forestales. Asimismo se aprecia un elemento de protección respiratoria en carácter de reserva en condiciones de ser empleado, el cual puede destinarse

por ejemplo, a un móvil más en casos que así lo ameriten, lo que nos llevaría a contar con un 43% de la flota equipada. En los gráficos N° 5 y N° 6 se aprecia lo detectado:

Gráfico 5

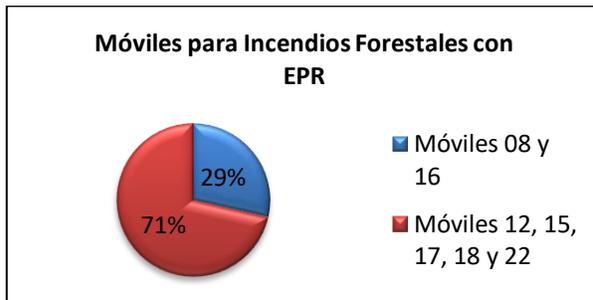
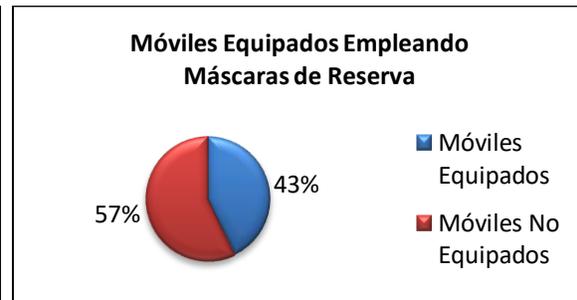


Gráfico 6



Aclaraciones: Se observa en color azul los móviles que cuentan con máscaras y en rojo los que no las poseen.

Es importante destacar que el Gráfico 6 si bien muestra un 43 % de la flota equipada en caso de utilizar la máscara de reserva localizada en el sector de materiales, esta solamente podrá ser empleada por un bombero a la vez lo que generaría inconvenientes al momento de trabajar, dado que los procedimientos bomberiles establecen que el trabajo de extinción debe efectuarse en equipo mínimamente compuesto por dos sujetos por lo que uno de los mismos no tendría protección respiratoria alguna.

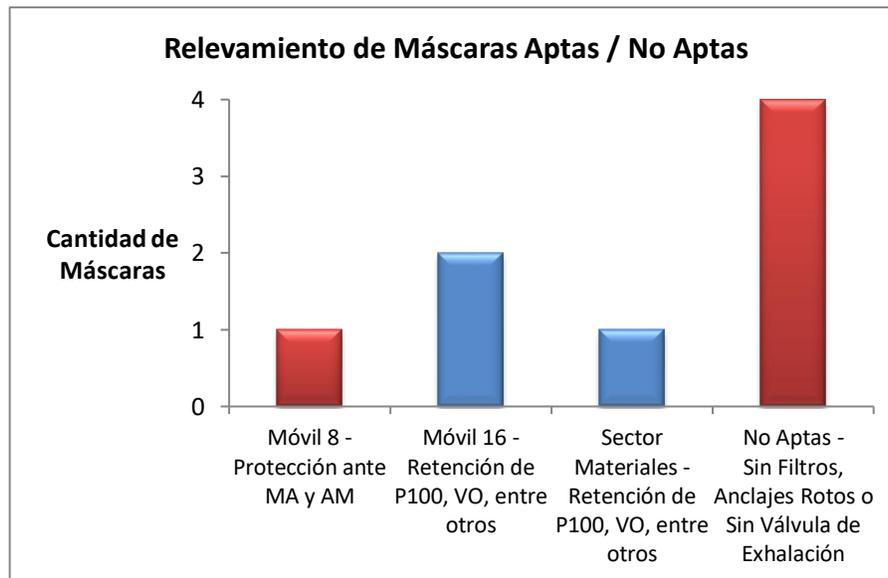
De la Tabla 10 completada se desprende que de las ocho máscaras relevadas, solamente tres poseen **buenas condiciones y filtros en buen estado**, lo cual asegura la reducción de los contaminantes por debajo de los niveles de exposición ocupacional (siempre y cuando se trabaje en los parámetros establecidos para su uso por parte del fabricante y la normativa vigente –Dto. 351/79- en relación a las concentraciones máximas admisibles del contaminante). La totalidad de estas máscaras cuyos filtros tienen la particularidad de haber sido elaboradas en el año 2012, son aptas para ser empleadas en incendios de pastos naturales dado que proveen de una retención ante material particulado, de vapores orgánicos, entre otros.

Por otra parte, de las cinco **máscaras restantes** una se encuentra fuera de servicio dado que no posee filtros y las demás están en estado regular, dado que poseen filtros con fecha de elaboración previa al año 2012 (siendo 2004, 2010 y 2011) y dadas las condiciones observadas en los mismos, no se asegura una óptima retención de los materiales para los

que fueron construidos debido a su saturación actual. Además respecto a estas cuatro, se observa que tres de las mismas no se encuentran en condiciones de ser utilizadas dado que: Una posee uno de sus anclajes de la máscara para colocar el filtro partido, otra posee el anclaje del filtro roto por lo que no puede ser colocado, y la tercera no posee el protector de la válvula de exhalación, lo que nos lleva a contar con solamente una máscara capaz de ser utilizada (la cual ofrece protección ante metilamina y amoniaco).

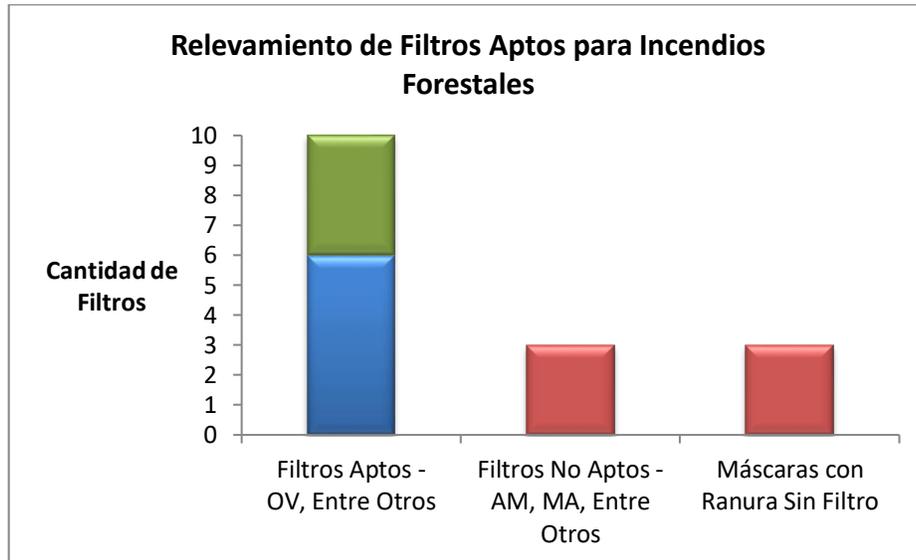
Ahora bien, todo esto indica que el móvil N° 16 es aquel en mejor estado dado que posee sus únicas dos máscaras en buenas condiciones y filtros con nula saturación para ser empleados ante incendios forestales (con lo que dos operarios podrían trabajar en conjunto), el móvil N° 8 cuenta con solamente una máscara en condiciones de ser utilizada, la cual no ofrece protección ante el citado tipo de siniestros (dado que protege ante metilamina y amoniaco, y sus filtros poseen un elevado nivel de saturación), y la sección materiales de la central de bomberos cuenta con solamente una máscara en iguales condiciones que las del móvil N° 16 (lo que permitiría el trabajo por parte de solamente un operario). En los gráficos N° 7, N° 8 y N° 9 se resumen los resultados.

Gráfico 7



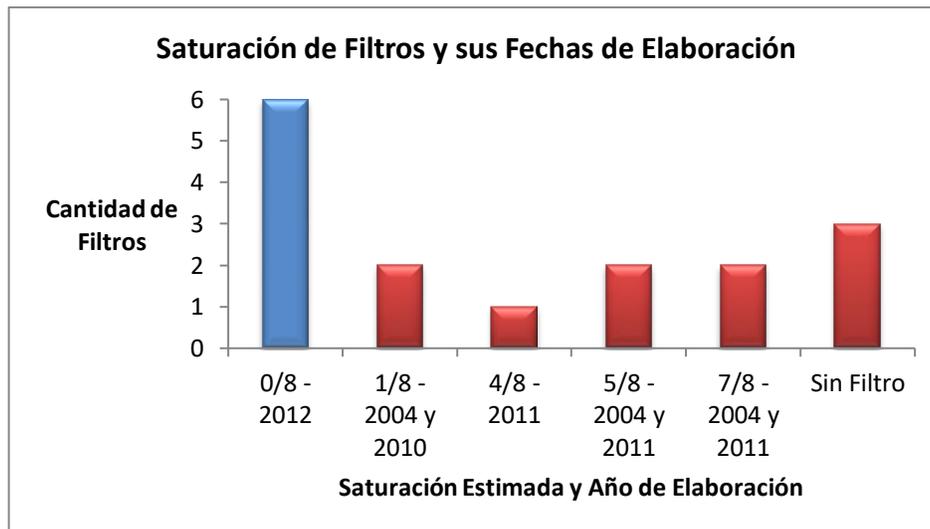
Aclaraciones: Se identifica con color azul (37.5%) a aquellas máscaras que se encuentran en buenas condiciones y que además pueden ser empleadas para incendios forestales. En color rojo (62.5%) se aprecian las máscaras en estado regular o que no están diseñadas para la retención de los gases provenientes de la combustión de pastos naturales.

Gráfico 8



Aclaraciones: Se aprecia en color azul (37.5%) aquellos filtros que pueden emplearse para la retención de gases de combustión de pastos naturales y que además están en buenas condiciones. En verde (25%) se observa aquellos que pueden emplearse en incendios forestales, pero que se encuentran saturados o en condiciones tales que no permiten su correcto uso. En rojo (37.5%) se observan otros tipos de filtros o la carencia de los mismos.

Gráfico 9



Aclaraciones: Se observa en color azul (37.5%) aquellos filtros en buenas condiciones, respecto a los rojos (62.5%) que poseen algún tipo de saturación.

Los **filtros** marca MSA evaluados con fecha de elaboración del año 2012, se encuentran aprobados y certificados bajo norma 42 CFR parte 84 de NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) la cual se basa en respiradores con filtros para partículas purificadoras de aire no motorizadas. Respecto a los filtros restantes no se pudo comprobar dicha certificación por falta de datos/especificaciones debido a su antigüedad. Asimismo, las **máscaras** empleadas no poseen certificación alguna declarada por el vendedor, pero corresponden a las marcas MSA y 3M.

Por otra parte según la legislación vigente, los elementos de protección personal deben emplearse en una última instancia solamente en los casos en que el riesgo no pueda ser aislado o eliminado, tal es el caso para las actuaciones de los bomberos en situaciones de emergencia. Además, otro de los puntos importantes que remarca la legislación actual es que si se detecta la necesidad de emplear EPR su uso deberá ser obligatorio, lo cual tal como se observa en el **Anexo III Parte IV –Cuestionario I y II-** esto no se cumple en el 100% de los casos. Sumado a esto, debe considerarse que las máscaras a pesar de reducir parcialmente la visibilidad, no generan nuevos riesgos ni molestias innecesarias y posean mecanismos capaces de adaptarse a la morfología de los usuarios. Además tal como pudo apreciarse, se trata de filtros de tipo combinado capaces de retener tanto vapores como partículas y agentes biológicos.

4.4.1 Móviles de Emergencia para Incendios Forestales

Se efectuó una completa revisión de los vehículos de emergencia con los que cuenta la institución clasificándolos según estuviesen designados para incendios forestales o no, y luego relevando los EPR dispuestos en cada uno de los mismos lo cual se indica en la Tabla 11 a continuación:

Tabla 11 Completada – Móviles de Emergencia para Incendios Forestales.

Móviles	Abocado a Incendios Forestales	Presencia de Máscaras con Filtro	Cantidad de Máscaras
8	SI	SI	3
10	NO	-	-
12	SI	NO	0
15	SI	NO	0
16	SI	SI	2
17	SI	NO	0
18	SI	NO	0
19	NO	-	-
20	NO	-	-
21	NO	-	-
22	SI	NO	0
23	NO	-	-
24	NO	-	-

Mediante el **Anexo III Parte III** se adjuntan registros fotográficos que muestran el relevamiento realizado lo cual corresponde a los datos relevados mediante Tablas 10 y 11.

4.5 Exposición

Tras las actividades por parte del personal en el siniestro –**primer grupo**–, se realizó una autoconsulta para detectar los síntomas/efectos, entre otros parámetros que la exposición a los gases de la combustión les generó (Cuestionario 1). Dentro de los valores relevados de mayor importancia se encontraron:

- Exposición a gases de combustión en el 75% de los casos entre los quince y treinta minutos (cortos períodos de tiempo).
- Elevadas dosis (en un 50% de los casos).
- Probabilidad de uso de los EPR del 50% esporádica y del restante 50% nula.
- Síntomas/efectos: Intensidad moderada tanto para dificultad para respirar como para aumento de la frecuencia respiratoria.
- Origen de los síntomas/efectos: Pura y exclusivamente a los gases de la combustión y como segundo parámetro a la temperatura generada por el siniestro.
- Un 75 % de los sujetos evaluados son fumadores, por lo que los síntomas/efectos probablemente podrían presentarse antes que en un sujeto no fumador o ser más severos.

Mediante **Anexo III Parte IV** se observan las autoconsultas completadas por parte del personal. A continuación se resume en una única **Tabla de Resultados** dichos datos:

Tabla de Resultados 1 - Cuestionario 1 - Exposición		
Parámetros Evaluados		Sujetos Evaluados = 4
Cargo Jerárquico	Bombero	100%
Edad	Promedio	25.5 Años
Antigüedad	Promedio	1.25 Años
Tareas Desarrolladas en la Dotación	Tropa	100%
Tiempo de Exposición a Gases de Combustión Aproximada	Entre 15 y 30 minutos	75%
	Más de 30 minutos	25%
Nivel de Exposición a Gases Estimado	Bajo	25%
	Moderado	25%
	Alto	50%
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en este tipo de Incendio?	Nunca	50%
	A veces	50%
Síntomas / Efectos		
Dificultad para Respirar	Ausente	25%
	Leve	25%
	Moderada	50%
Aumento de Frecuencia Respiratoria	Ausente	25%
	Leve	25%
	Moderada	50%
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco	Ausente	50%
	Leve	50%
Mareos	Ausente	100%
Desorientación / Confusión	Ausente	100%
Dolor de Cabeza	Ausente	75%
	Leve	25%
Distorsión Visual	Ausente	100%
Fatiga / Agitación	Ausente	75%
	Leve	25%
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	No	100%
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	Si - Detallar	25% - Temperatura
	No	75%
¿Tiene el hábito de fumar?	Si	75%
	No	25%

Aquellos datos que no figuren, tienen su justificación al ser su resultado igual a "cero" o "nada".

4.6 Experiencia

De manera paralela al punto 4.5 se efectuó una autoconsulta basada en la experiencia del personal respecto a sus pasadas actuaciones en incendios de pastos naturales, haciendo hincapié en aquellas en las que ellos recordaron haber estado expuestos a altas dosis de gases de combustión en períodos de tiempo menores a los treinta minutos. En este caso el “**segundo grupo**” involucró a diez bomberos que cumplían con cada uno de los requisitos establecidos (punto 3.2) y que no hubiesen formado parte del primer grupo. De esta manera, con los resultados obtenidos (expresados en **Tabla de Resultados 2**) puede observarse que:

- Al igual que en el punto precedente, los sujetos no emplean o emplean en casos excepcionales las máscaras con filtro (80% de los casos).
- Los síntomas más importantes (que se presentaron en entre un 40% y 50%) fueron nuevamente la dificultad para respirar y el aumento de la frecuencia respiratoria, agregándose en este caso la fatiga o agitación. Por otra parte aparecen la taquicardia, el dolor de cabeza, la distorsión visual y náuseas en un 20% de los individuos evaluados como máximo. Se aclara que estos síntomas refieren a los determinados con una intensidad “marcada” y/o “moderada”.
- Los sujetos de estudio resaltaron que en muchos de los casos otras condiciones pudieron generar dichos síntomas tales como el sobrepeso, el esfuerzo físico y la temperatura.
- Solamente el 30% de los bomberos tenía el hábito de fumar.
- Las exposiciones se produjeron en períodos de tiempo menores a los treinta minutos y a elevadas dosis de gases de combustión.

Tabla de Resultados 2 - Cuestionario 2 - Experiencia		
Parámetros Evaluados		Sujetos Evaluados = 10
Cargo Jerárquico	Bombero	80%
	Sub Oficial	20%
Edad	Promedio	27,4 Años
Antigüedad	Promedio	4,08 Años
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en este tipo de Incendio?	Nunca	30%
	A veces	50%
	La Mayoría de las Veces	10%
	Siempre	10%
Síntomas / Efectos		
Dificultad para Respirar	Ausente	30%
	Leve	30%
	Moderada	30%
	Marcada	10%
Aumento de Frecuencia Respiratoria	Ausente	30%
	Leve	30%
	Moderada	30%
	Marcada	10%
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco	Ausente	30%
	Leve	50%
	Moderada	10%
	Marcada	10%
Mareos	Ausente	80%
	Leve	20%
Desorientación / Confusión	Ausente	90%
	Leve	10%
Dolor de Cabeza	Ausente	30%
	Leve	50%
	Moderada	20%
Distorsión Visual	Ausente	60%
	Leve	20%
	Moderada	10%
	Marcada	10%
Fatiga / Agitación	Ausente	30%
	Leve	20%
	Moderada	30%
	Marcada	20%
Otros (Detallar)		20% - Nauseas
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	No	100%
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	Si - Detallar	50% - Sobrepeso (20%) - Temperatura (10%) - Esfuerzo Físico (20%)
	No	50%
¿Tiene el hábito de fumar?	Si	30%
	No	70%

Aquellos datos que no figuren, tienen su justificación al ser su resultado igual a "cero" o "nada".

4.7 Evaluación Individual y Global de Datos Recopilados

A continuación se muestran mediante **Gráficos N° 10, N° 11 y N° 12** los resultados en relación al empleo de los E.P.R. por parte del personal evaluado:

Gráfico 10

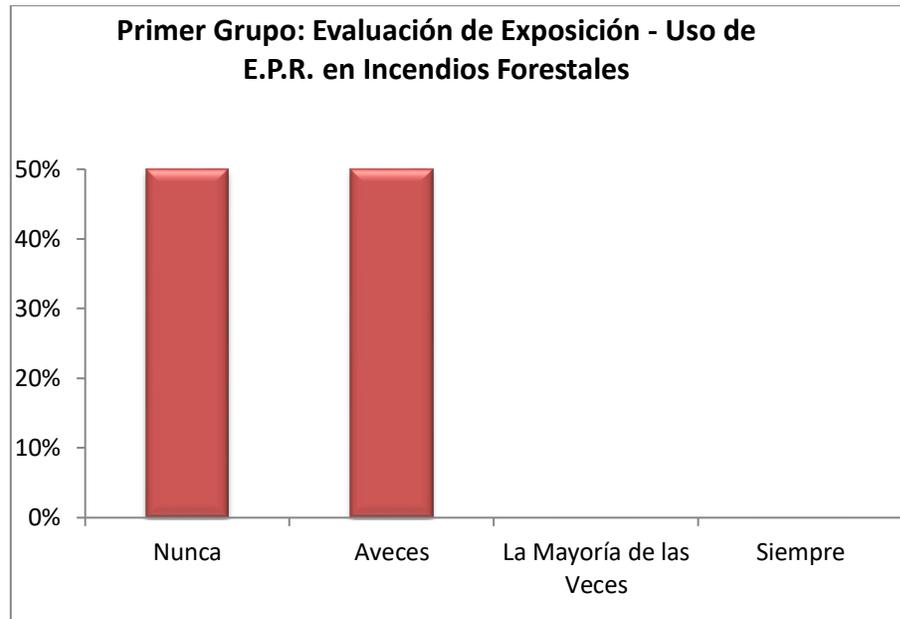


Gráfico 11

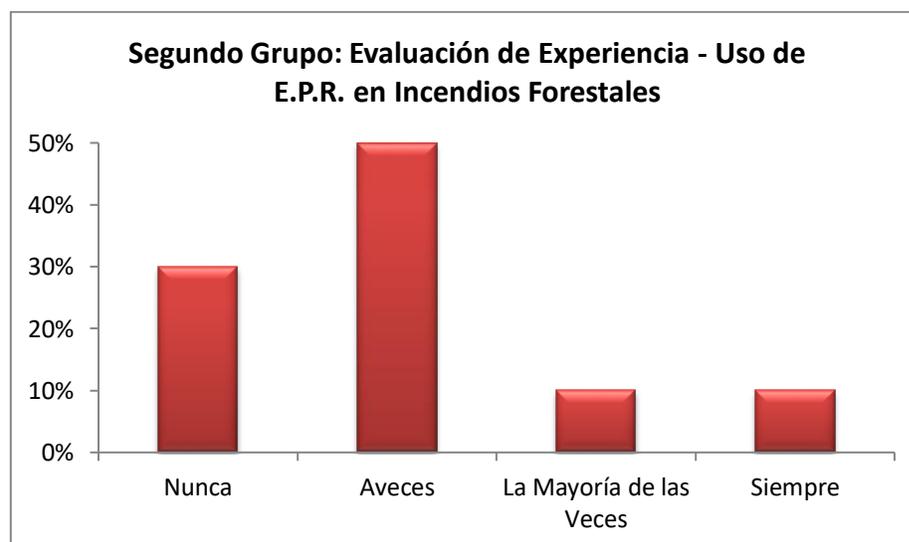
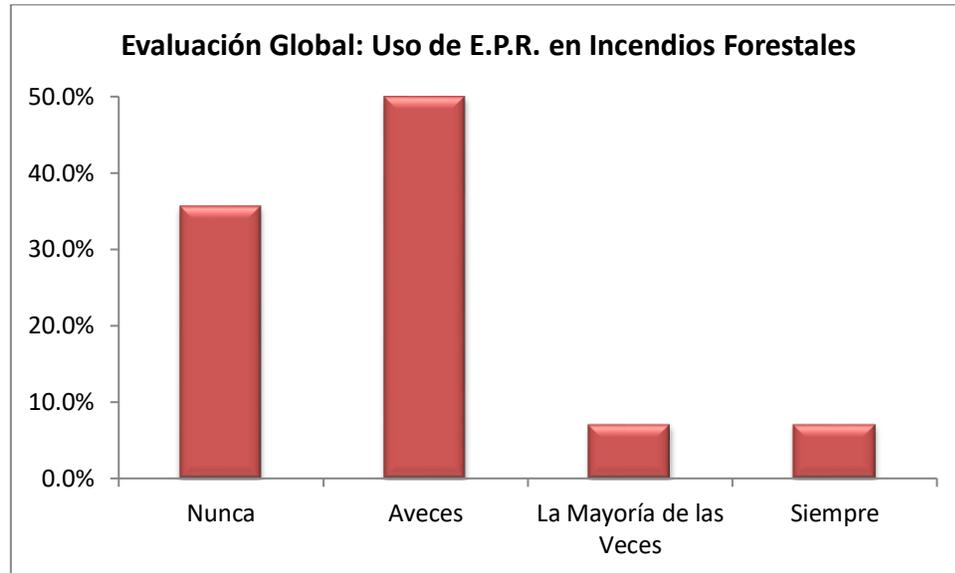
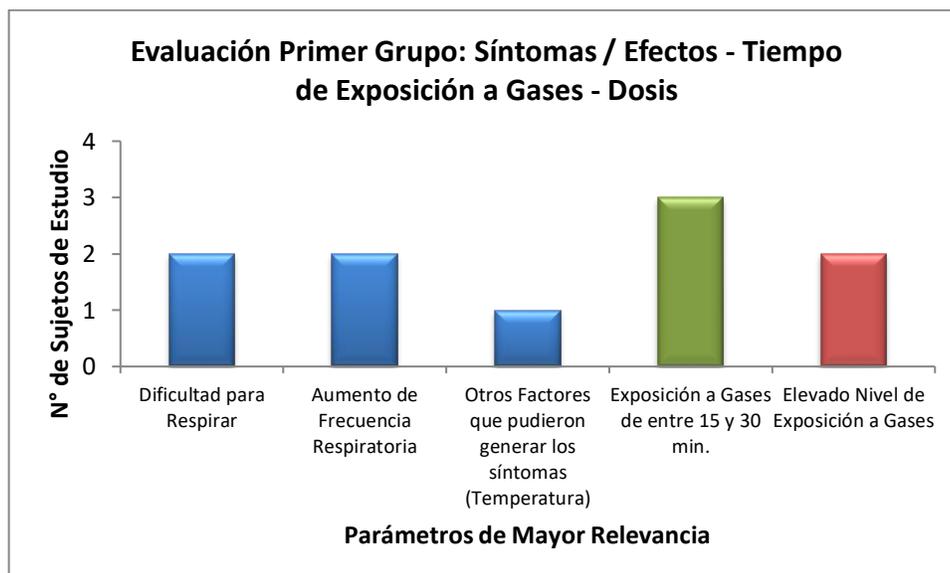


Gráfico 12



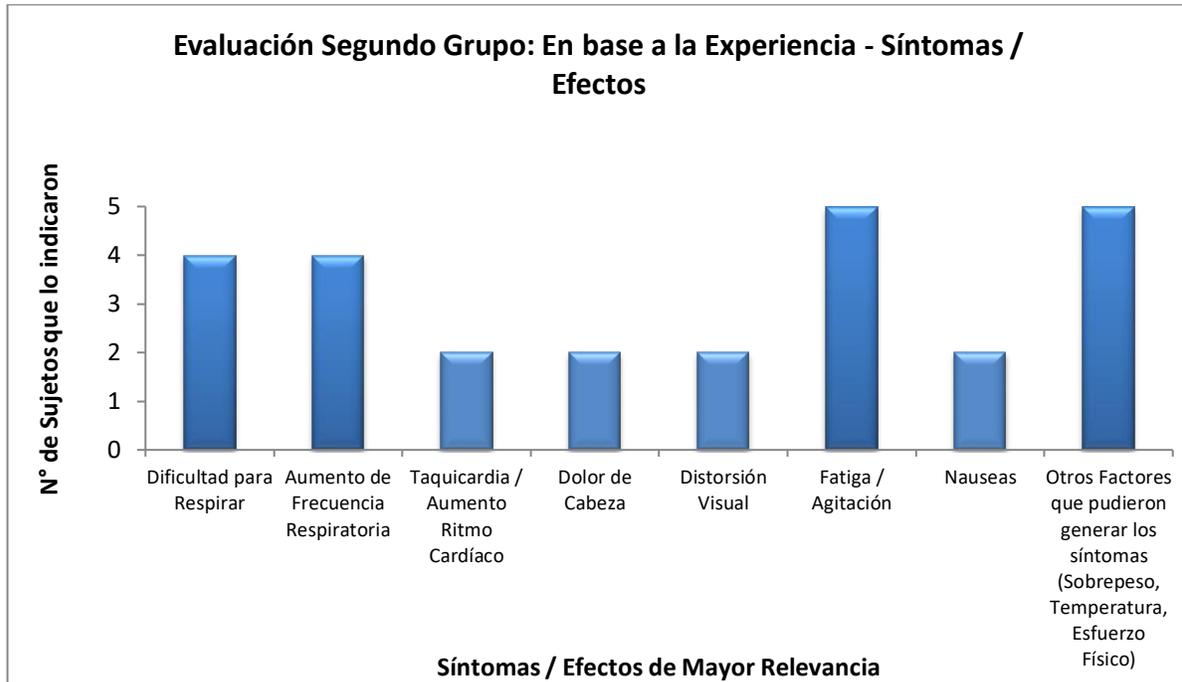
A su vez, lo relevado en referencia a los efectos/síntomas así como a las exposiciones a gases investigadas, nos conducen a los siguientes datos expresados mediante los **Gráficos N° 13, N° 14 y N° 15:**

Gráfico 13



Aclaraciones: Se observa en color azul los síntomas/efectos relevados, declarados como a un nivel “moderado”. En verde el tiempo de exposición a gases con mayor relevancia. En color rojo la dosis de gases a la que el personal declara haber sido expuesto.

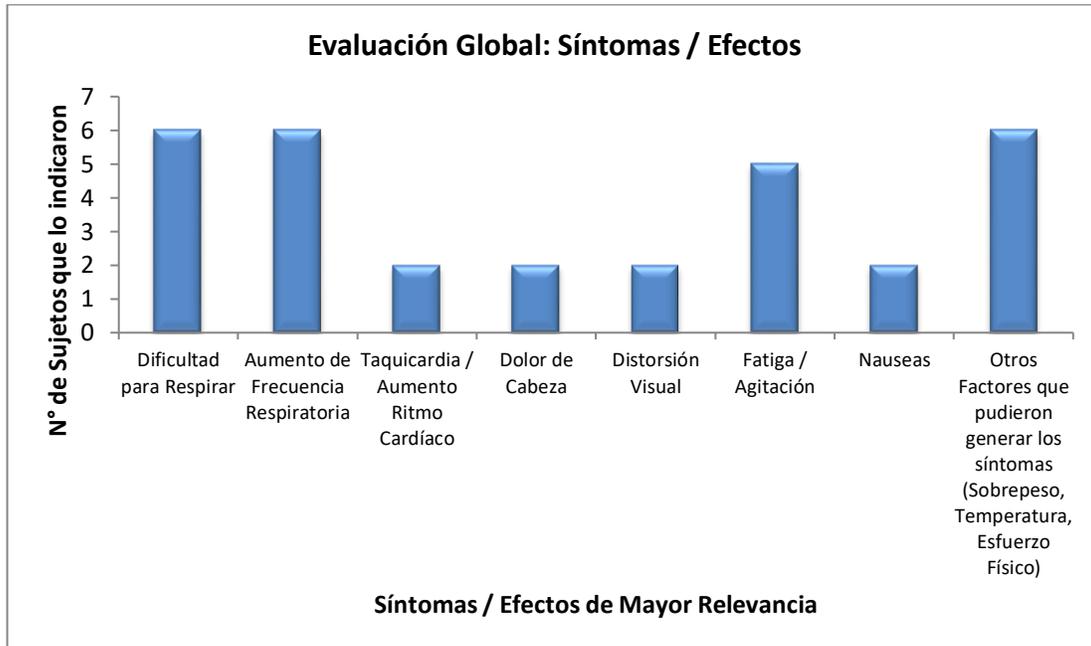
Gráfico 14



Aclaraciones: Únicamente se muestran aquellos síntomas/efectos que los sujetos de estudio determinaron como en un nivel moderado y/o marcado.

Se aclara que en este último gráfico, a diferencia del gráfico 13 no se identifica ni el tiempo de exposición a gases de combustión por parte de los bomberos ni la dosis a la cual se vieron expuestos lo cual se debe a que para el segundo grupo evaluado fue requisito para la identificación de sus síntomas/efectos que ellos al momento de declararlos como sufridos en sus actuaciones en incendios forestales pasadas, hubiesen estado expuestos justamente a **dosis elevadas en cortos períodos de tiempo** de gases de combustión.

Gráfico 15



Aclaraciones: Únicamente se muestran aquellos síntomas/efectos que los sujetos de estudio determinaron como en un nivel moderado y/o marcado.

Como podemos apreciar en este último gráfico **se observa** que de los catorce individuos evaluados en total, en un 43% de los casos se sufrió de dificultad para respirar y aumento de la frecuencia respiratoria, en un 36% fatiga/agitación, en un 14% taquicardia/aumento de ritmo cardíaco, dolor de cabeza, distorsión visual y náuseas, debiendo finalmente resaltarse que dichos síntomas/efectos pudieron en un 43% de los casos haber sido generados como consecuencia de la temperatura, el sobrepeso, el esfuerzo físico u otros gases no analizados en la presente investigación.

5 APORTES DEL MARCO TEÓRICO

La primera de las tres caras del **triángulo de fuego es el combustible** (agente oxidado), que para el caso de los incendios de pastos naturales es la **madera** (compuesta por un 70% de celulosa y un 30% de lignina aproximadamente) fuente potencial de un **fuego Clase A**, la cual para poder arder deberá en un primer momento evaporar el agua que posee en su interior para luego descomponerse químicamente por acción del **calor (segunda cara del triángulo de fuego)** y pirolizar, y de esta manera comenzar a emitir gases que participarán en la reacción de combustión. Si la pirolización de la madera es constante, se producirá una **combustión con exceso de aire**, lo cual significa que los gases del combustible serán en su gran mayoría oxidados, pero debido al exceso de aire localizado en el espacio abierto (que por lo general pueden ser chacras o similares) habrá gran pérdida de calor en la reacción y gran parte del oxígeno pasará a los gases de la combustión. La **llama correspondiente a este tipo de combustión será de difusión**, dado que los gases combustibles y el oxígeno se van gradualmente mezclando para poder arder, con lo que también hay una pérdida de energía (toda vez que en el caso de estar premezcladas podrían alcanzarse temperatura mucho mayores a las realmente producidas), y gran parte del material comburente no llega a oxidar a los gases del combustible por lo que se generarán productos de la combustión incompleta (observables a simple vista en la coloración naranja, amarilla o roja del fuego, que advierte de la presencia de hollín, humo, CO, etc.). De manera paralela a esto, pueden aparecer **llamas incandescentes** (las cuales puede generarse antes o después de una combustión con exceso de aire) sin llama visible, producto de la quema directa de la madera, y con baja generación de calor, este tipo de combustión en incandescencia no pirolizará al combustible debido a que este por su carbonización por ejemplo, no puede generar los gases combustibles necesarios para arder. En la combustión con exceso de aire, un tercio del calor generado se utiliza para mantener la reacción, mientras que los otros dos tercios de la energía se emplean para que el incendio crezca al transmitirse el calor por conducción, convección y radiación. La **reacción en cadena** generada de esta manera permite justamente que el fuego se mantenga y crezca, debido a

que el oxígeno excitado como consecuencia del calor, reacciona con los gases inflamables y excita más moléculas de oxígeno generando más calor. El **calor necesario**, que en el caso de los incendios forestales muy probablemente ha sido generado por una fuente antrópica, deberá alcanzar el punto de ignición de la madera y/o los vegetales que es de 310°C a 390°C. Sumado a esto, la velocidad de la reacción dependerá de la granulometría del material, dado que mientras menor sea esta y mientras mayor superficie de contacto se tenga con el aire atmosférico más veloz será.

Si bien actualmente es imposible determinar el 100% de los **productos de la combustión**, dado que esto varía en cada incendio de manera particular, podemos determinar que gases como el CO₂, CO, acroleína, humo y hollín se generarán en la reacción. Continuando con el fuego Clase A, los bomberos actualmente emplean las siguientes **estrategias para su extinción: Enfriamiento** (se reduce el calor de la reacción lo que afecta directamente a éste y a la reacción en cadena), **sofocación** (en el cual el oxígeno atmosférico se ve reducido temporalmente por la gran cantidad de vapor de agua generado al evaporarse esta al entrar en contacto con las altas temperaturas del fuego, lo que lleva a la mezcla de gases a ubicarse fuera de los límites de inflamabilidad) y **separación** (al separar físicamente los vegetales o la madera de las fuentes de propagación del calor).

Respecto a los **procedimientos de los bomberos para la extinción de incendios**, podemos indicar que estas involucran emplear elementos de protección personal de un peso mayor a lo habitualmente acostumbrado y que otorgan por ejemplo limitaciones al movimiento y la visión del individuo, e incluyen casco, pantalón, saco, mameluco y botas, lo denominado equipo estructural, sumado a máscaras con filtro, y el acarreo de elementos de extinción tales como mangas, lanzas y elementos de zapa (palas, hachas, picos, etc.). Esto sumado a las altas temperaturas y la necesidad de dar una respuesta rápida y efectiva en la eliminación del fuego producen un **elevado esfuerzo físico**.

Respecto al **empleo de máscaras con filtro**, podemos indicar que según la legislación vigente su uso debe ser obligatorio dado que el riesgo no puede ser aislado ni eliminado previo a la exposición, y que este debe estar certificado por un ente acreditado para tal fin, con lo que esta certificación garantizará que el EPR realmente cumpla con su función. Por

otra parte, se destaca que al utilizarlas aumenta la resistencia inspiratoria y espiratoria (dependiendo del grado de saturación de los filtros de carbón activado), lo que también genera acidosis metabólica. El EPR debe emplearse en atmósferas con concentraciones de O₂ mayores al 17% y concentraciones de los contaminantes que no excedan la capacidad de filtrado del mismo para alcanzar los valores de exposición ocupacional, caso contrario este no será efectivo. Entonces en el caso de exposiciones a muy elevadas dosis del tóxico, ninguno de los dos requisitos sería cumplido.

Para el caso de la actividad bomberil y respecto a los **estándares de exposición ocupacional** de la legislación nacional se advierte respecto al CO₂ que solo es aplicable el valor techo (3% o 30.000ppm) dado que refiere a dosis que no deben ser superadas sin importar el tiempo de exposición. Los valores límite umbral para cortos períodos de tiempo no son aplicables debido a que sus requisitos no son cumplidos, dado que en ninguno de los casos desarrollados estos fueron cumplimentados, recordemos que los mismos involucran exposiciones de hasta cuatro veces al día separadas entre sí de por al menos una hora y de hasta quince minutos cada una en particular. Debe considerarse que los valores que la legislación marca, siempre tienen en cuenta a la porción de la población más vulnerable al tóxico, por lo que si un individuo se expone a niveles levemente mayores a los establecidos, los efectos tóxicos deberán ser evaluados en forma particular y no siempre se generarán.

Respecto al **aparato respiratorio y sus mecanismos de defensa** podemos concluir entonces que el vello que posee la cavidad nasal así como el moco generado en la misma y en la faringe (garganta), la laringe, la tráquea y los pulmones (específicamente en los bronquios primarios, secundarios y terciarios) para la retención de polvo de un tamaño de dos a cinco micras, no retiene CO₂. Sumado a esto, los mecanismos de defensa de los bronquiolos terminales así como el de los alvéolos para la retención de partículas de polvo son los macrófagos, los cuales tampoco pueden retener al anhídrido carbónico debido a que estos retienen partículas de aproximadamente una micra, siendo este gas de menor tamaño. Por otro lado, en caso de que los gases ingresaran por medio de la boca, gran parte de los mecanismos de defensa del organismo serían obviados, por lo que solo se generaría una retención del 20% y el contaminante llegaría con mayor facilidad a la sangre.

Como consecuencia de esto se puede afirmar que el CO_2 proveniente de la atmósfera **pasa de los alvéolos pulmonares a los capilares sanguíneos** a través de membrana respiratoria (pared alveolar y pared capilar) mediante difusión, superando de esta manera los mecanismos de defensa tanto de la zona de conducción como de la zona respiratoria del aparato respiratorio, generando una intoxicación sistémica (dado que involucra la absorción y distribución del tóxico desde el punto de contacto). Algo importante a aclarar es que en cada inspiración inhalamos CO_2 dado que este se encuentra a nivel atmosférico en concentraciones normales de 0,04%, lo que variará será justamente la concentración y por ende la presión parcial del gas.

Una vez en el torrente sanguíneo el **CO_2 es transportado por la sangre** disuelto en esta (solo en un 7% a pesar de su alta solubilidad), unido a la hemoglobina (en forma de carbaminohemoglobina en un 23%) y en forma de iones bicarbonato –transitoria- (en un 70%, el ion se genera por la disociación del ácido carbónico, el cual también produce iones hidrógeno) dirigiéndose al corazón al cual ingresará mediante una la vena pulmonar a la aurícula izquierda para luego pasar al ventrículo izquierdo y finalmente salir del mismo por medio de la arteria aorta para ser bombeado al resto del cuerpo. Una vez fuera del corazón, se dirigirá por medio de la sangre hasta los capilares sistémicos en donde ingresará a las células tisulares (lo cual es posible si la P_{CO_2} que ingresa es mayor que la previamente generada por el metabolismo celular con lo que esta última tampoco podrá salir del tejido, ó directamente debido a la afinidad de este por los tejidos dado que al ser liposoluble ingresará por la membrana plasmática de la célula que es permeable al mismo) lo cual **limitará la generación de ATP (energía)** por parte de las células al bajar la P_{O_2} , vale aclarar que el efecto local dependerá de su nivel de vascularización (flujo sanguíneo). Otro punto importante respecto al transporte de CO_2 en el organismo es que una vez disociado el ácido carbónico en ion bicarbonato e hidrógeno, aumenta la acidez (baja el pH del organismo - efecto del ion hidrógeno-) por lo que menor cantidad de oxígeno puede unirse con la hemoglobina y en consecuencia parte del CO_2 se une a esta, lo que **genera hipoxia** y a su vez si el pH llega a valores menores a 6,8 se producirá una **acidosis severa** la cual es incompatible con la vida.

Para limitar los efectos de la hipoxia y la acidosis, el organismo **aumenta la ventilación pulmonar** (volumen de aire que ingresa y egresa de los pulmones) y la **frecuencia respiratoria**, lo cual es llevado a cabo mediante una inspiración y espiración forzada por lo que se da intervención a volúmenes de aire mucho mayores a los normales y a mayores velocidades de intercambio gaseoso. Para esto, debe **aumentarse el ritmo cardíaco** y **utilizarse energía** (dado que en este caso se requerirá del uso de músculos no utilizados normalmente en la respiración). A pesar de esto, si la concentración atmosférica del CO₂ no se reduce, se genera un mayor ingreso al organismo del mismo con lo que aumentarán sus efectos adversos sobre la salud.

Como se determinó con anterioridad, las **actividades bomberiles en incendios de pastos naturales generan un elevado esfuerzo físico**, lo que desde el punto de vista orgánico genera respuestas tales como **acidosis** (producto de la elevada cantidad de iones hidrógeno generado por el exceso de CO₂ producido por el mismo cuerpo en el metabolismo celular), lo a su vez se desencadena iguales respuestas orgánicas que las producidas por las inhalaciones de elevadas concentraciones de CO₂. Además del esfuerzo físico, la exposición a las elevadas temperaturas de la combustión generan también que las células tisulares consuman mayor cantidad de oxígeno con lo que se producirá más acidez y más calor dentro del organismo.

A pesar de esto, la respuesta puede variar drásticamente según el individuo siendo evaluado, y aún más si este tiene un **buen estilo de vida** (hacer ejercicio regularmente, buena alimentación y no fumar, por ejemplo) dado que de esta manera es probable que se genere una menor respuesta del organismo, y la inhalación de gases de la combustión así como sus efectos se vean reducidos. Por otra parte, la dosis inhalada no dependerá de la envergadura del incendio, dado que se han monitoreado exposiciones muy elevadas en incendios de baja magnitud, lo cual puede deberse tanto a conductas de riesgo como a una excesiva confianza por parte del bombero, por lo que el profesionalismo y la conciencia respecto a los riesgos también serán de gran importancia.

Si bien en el siniestro evaluado no ha sido detectado el **desplazamiento de O₂ atmosférico** por parte de gases de la combustión (a pesar de que el CO₂ es un 50% más

denso que el aire a temperatura ambiente), es importante destacar las repercusiones que esto genera en el organismo en el caso de que sucediese. En este caso entonces, se modificarían las presiones parciales de la mezcla de gases al variar muchos de estos como consecuencia de la presencia de los gases de la combustión, logrando por ejemplo valores menores al 21% de oxígeno y mayores al 0,04% de CO₂. Esto podría a su vez desencadenar una **hipercapnia (intoxicación por exceso de CO₂)**, la cual es en realidad poco probable debido a la alta solubilidad del gas con los líquidos (veinticuatro veces mayor que la del oxígeno) dado que gracias a esta, el CO₂ rápidamente atraviesa la membrana respiratoria y sale del organismo, por lo que de hecho es más probable que se genere una hipoxia.

Desde el punto de vista **toxicológico** podemos remarcar que las situaciones evaluadas según la **constante de haber**, derivaron en una única exposición a CO₂ en el caso del primer grupo, y un gran número de exposiciones (derivadas de la experiencia de los sujetos) en el caso del segundo grupo, siendo para ambos de cortos períodos de tiempo a elevadas dosis. Los **efectos generados** sobre los sujetos pueden ser tanto **a corto plazo** (incluyendo aquellos identificados en las Tablas 12 "A" y "B") los que se caracterizan por ser reversibles en un corto período de tiempo (tras cesar la exposición y ser esta esporádica) como **a largo plazo**, los cuales suelen aparecer (tal como en los casos evaluados, tras sucesivas exposiciones a elevadas dosis o tras exposiciones a dosis muy elevadas) tiempo después de la exposición y repercutir en la salud durante prolongados períodos de tiempo (incluyendo dolores de cabeza, ataques de vértigo, poca memoria y concentración, fotofobia, dificultad para dormir, zumbidos en los oídos, doble visión, un marcado cambio en la personalidad, pérdida de movilidad de los ojos, defectos de campo visual, deficiencia en la adaptación a la oscuridad, aumento del volumen de espacio muerto de los pulmones, etc.). En este último caso, el mecanismo homeostático (regulación del pH) del organismo es perturbado a niveles excesivamente estresantes lo cual genera un daño en los tejidos de magnitud tal que estos no pueden ser reparados. Además, entre la **dosis y el efecto/síntoma surge una relación proporcional**, dado que mientras mayor sea la dosis, más rápidamente aparecerán los síntomas/efectos y más perjudiciales serán, lo que continuará hasta alcanzar dosis excesivamente altas que superen toda capacidad de respuesta o defensa del

organismo (a dosis del 30% por ejemplo, treinta segundos generan inconciencia y poco minutos generan la muerte –lo mismo se observa en Tabla 12 “C”- en donde se muestra que las exposiciones a muy altas concentraciones generan además efectos inmediatos de los cuales el individuo se recuperará tras severos días post exposición).

Tabla 12 “A” - Efectos a Corto Plazo de Exposiciones a CO₂

% CO ₂	Efectos al Corto Plazo de Exposiciones a CO ₂ (no se especifica la concentración de Oxígeno)
1%	Frecuencia respiratoria incrementa 37%
1.6%	Ventilación por minuto incrementa un 100%
2%	Frecuencia respiratoria incrementa un 50%
3%	Tolerancia al ejercicio disminuye en trabajadores al respirar en contraposición de una resistencia inspiratoria y expiratoria.
5%	Ventilación por minuto incrementa un 200% Frecuencia respiratoria incrementa un 100% Dolor de cabeza, mareos, confusión, y disnea (dificultosa o trabajosa respiración).
7.2%	Frecuencia respiratoria incrementa un 200% Dolor de cabeza, mareos, confusión y disnea.
8-10%	Severo dolor de cabeza, mareos, confusión, disnea, sudoración, y visión borrosa.
10%	Disnea inaguantable, seguido por vómitos, desorientación, hipertensión, y pérdida de conciencia.

Se resalta en color azul aquellos efectos detectados al evaluar a los sujetos de estudio. Fuente: Electric Power Research Institute (2004).

Tabla 12 “B” - Efectos a Corto Plazo de Exposiciones a CO₂

Sensaciones Corporales tras Cinco Minutos de Exposición a CO ₂ en 21 % de O ₂	Sujetos de Estudio que Sufrieron las Sensaciones a:	
	6% CO ₂	8% CO ₂
Sensación de respiración acortada	50%	72%
Sudoración	28%	72%
Palpitaciones del corazón	16%	44%
Presión en el pecho	56%	38%
Debilidad en las piernas	0	34%
Mareos	0	28%
Dolor de cabeza	3%	25%
Visión borrosa o distorsionada	0%	22%
Hormigueo en los dedos	13%	19%
Sensación de estar desconectado del cuerpo solo parcialmente presente	0	19%
Adormecimiento de brazos o piernas	0	16%

Se resalta en color azul aquellos efectos detectados al evaluar a los sujetos de estudio. Fuente: Electric Power Research Institute (2004).

Tabla 12 “C” – Efectos de CO₂ inhalado en cortos períodos de tiempo a diversas dosis

Efectos	Efectos a Moderadas concentraciones (~5% CO ₂)	Efectos a Altas concentraciones (≥10% CO ₂)	Efectos a Muy Altas concentraciones (30% CO ₂)
Frecuencia Corazón	Incrementada	Máxima frecuencia a ~10%	Inconsistente
Ritmo Cardíaco	Cambios en el electrocardiograma según edad	Arritmias en algunos	Arritmias y paro cardíaco
Presión Sanguínea	Incrementada	Aumento leve sobre moderado CO ₂	Incremento significativo
Respiración	Mayor frecuencia; Respiraciones profundas	Mayor frecuencia; Respiraciones profundas	Frecuencia lenta; Respiración superficial
Vía Aérea	Constreñida	Dilatadas	Dilatadas
Sistema Nervioso Central	Deprimido en ciertas funciones	Deprimido	Deprimido
Presión de líquido ceforraquídeo	Incrementado en ~5 minutos	Incrementado en ~5 minutos	N.A. (información no disponible)
Presión Intracraneal	Incrementada	Incrementada	N.A.
Sistema Nervioso Periférico	Estimulado	Estimulado	Estimulado y luego deprimido
Convulsiones	Ninguna	Convulsiones con 15-20% CO ₂ por varios minutos	Convulsiones en <1 minuto para muchos
Funcionamiento Cognitivo y Psicomotor	Umbral ~6% para déficits significantes	Estupor e insensibilidad	Inconciencia
Ansiedad	Dependiente del aumento de la dosis	Dependiente del aumento de la dosis	N.A.
Visión	Levemente dañado hasta ~7%	Dañado; Distorsión de colores y visual; Visión borrosa	Daño significativo; Visión borrosa
Función Renal	Aumentada	Deprimida	Deprimida
Liberación de Hormonas	Incremento significativo a >6% (ej.: epinefrina)	Incremento significativo	N.A.
Efecto en órganos grotesco	Ninguno	Daño pulmonar y pérdidas en vasos sanguíneos del cerebro a ~15% con tiempo suficiente	Daño pulmonar, cerebral y hemorragia
Inconciencia	Solamente en presencia de muy poco O ₂	En minutos	≤30 segundos
Muerte	Improbable en presencia de suficiente O ₂	Minutos a horas dependiendo del O ₂	Pocos minutos

Se resalta en color azul aquellos efectos detectados al evaluar a los sujetos de estudio. Se resalta en rojo los efectos a dosis que superan los mecanismos de defensa y/o respuesta del organismo. Fuente: Electric Power Research Institute (2005).

Los efectos generados dependerán también de exposiciones previas a los gases de combustión por parte del sujeto, dado que en este caso se **generará la aclimatación** lo cual para este caso involucra una menor respuesta ventilatoria por parte del organismo en veinticuatro horas así como una reducción de la generación de iones hidrógeno en tres a cinco días, lo que se traduce en una respuesta disminuida a los efectos del tóxico.

Finalmente, es importante destacar que al disminuir la **saturación de O₂ de la hemoglobina** sucede lo siguiente:

- A 90%: Disminuye la visión nocturna.
- Entre el 82% y el 90%: La frecuencia respiratoria y el pulso incrementan, y la visión nocturna, la habilidad para desempeñarse y el estado de alerta disminuyen.
- Entre el 64% y el 82%: Los mecanismos compensatorios son insuficientes y aparecen la necesidad de aire e hiperventilación, fatiga, visión de túnel, mareos, dolor de cabeza, agresividad, euforia, disminución de agudeza visual, entumecimiento y hormigueo de las extremidades, pérdida del juicio y de la memoria, cianosis y disminuye la habilidad de escapar del ambiente tóxico.
- Entre menos del 60% y hasta el 70%: Se deteriora el juicio y la coordinación apareciendo la totalidad incapacidad e inconciencia en tiempos de exposición menores a los cinco minutos.

Si la concentración de O₂ llegara al 12% en concentraciones de CO₂ moderadas a altas (mayores a 10%) las consecuencias serían fatales. De esta manera resulta una **relación inversamente proporcional entre la exposición al contaminante y la concentración de oxígeno**, dado que al aumentar la concentración del contaminante se desplaza al oxígeno lo que produce que los síntomas/efectos generen repercusiones de mayor envergadura. Dichas repercusiones se agravarán hasta que el nivel de O₂ atmosférico baje a niveles en los que los mecanismos de compensación del organismo no puedan sobrellevar la situación. Vale aclarar que si bien lo observado en la Tabla 12 “B” demuestra que el oxígeno al 21% puede aminorar los efectos/síntomas, si se excediera este valor de manera excesiva los efectos perjudiciales serían mayores.

6 CONCLUSIONES FINALES

Si bien no pudo corroborarse el desplazamiento de **oxígeno en el incendio forestal evaluado**, dado que las concentraciones del gas se mantuvieron constantes al 20,8%, inclusive en las zonas de mayores concentraciones de gases y en presencia de la pluma de humo, el marco teórico y legal indican que la **combustión con exceso de aire** genera elevadas concentraciones CO_2 (entre otros gases) lo que aumenta su P_{CO_2} en la mezcla de gases del aire a nivel atmosférico. La concentración del CO_2 generado dependerá entonces de la cantidad de material siendo quemado para lo cual se deberá contar con un nivel de O_2 de aproximadamente 21% para lograr una combustión que tienda a ser completa. Si la combustión consume oxígeno y a su vez genera gases que lo desplazan (debido a la diferencia de densidad entre estos), entonces rápidamente esta lo eliminará de la atmósfera, por lo que en estos casos las condiciones meteorológicas como un fuerte viento por ejemplo, serán imprescindibles para mantener una combustión que tienda a ser completa. De esta manera se corrobora que el CO_2 influye sobre el nivel atmosférico de oxígeno. Si bien la P_{CO_2} dependerá de la cantidad de material siendo quemado, el nivel de CO_2 que realmente ingrese al organismo no dependerá de esto, sino que dependerá de la exposición a la pluma de gases, lo cual puede observarse en exposiciones muy elevadas en incendios de baja magnitud y está directamente relacionado con el accionar de los bomberos.

De manera anexa a los objetivos planteados, se advierte que **un incremento del calor atmosférico como consecuencia del fuego**, aumentará la frecuencia cardíaca y la ventilación pulmonar (mecanismos de defensa que tiene el fin de, entre otras cosas, regular la temperatura corporal) lo que aumenta el consumo de oxígeno a nivel tisular, genera más CO_2 y aumenta la acidez, por lo que será necesario eliminarlo rápidamente del sistema mediante la exhalación. Lo mismo sucede en el caso de generarse **un aumento del esfuerzo físico**. Todo conlleva a que si la P_{CO_2} a nivel atmosférico es alta, los propios mecanismos de defensa del organismo generen repercusiones aún mayores sobre el individuo (lo que por ejemplo involucraría una acidez mucho mayor en el cuerpo, una hipoxia más grave e incluso

una hipercapnia) con lo que al ser superados los mecanismos de defensa del organismo las repercusiones serían drásticas y probablemente los tejidos no puedan recuperarse.

El **estilo de vida y estado de salud del individuo**, así como la **aclimatación** reducirán en gran medida los efectos adversos de la exposición a CO₂ porque el organismo genera menor cantidad del gas en el metabolismo celular, optimiza el uso del oxígeno (por lo que se verá menos afectado ante la carencia de este) lo cual también es consecuencia del estado de relajación lo que genera una menor necesidad de respirar. A pesar de esto, exponerse prolongadamente a elevados niveles de CO₂ baja la **generación de ATP (energía)** a nivel celular, lo que se traduce en una disminución de la necesidad de hacer actividades físicas, por lo que el estado físico del bombero se vería afectado.

Respecto a las **máscaras con filtro utilizadas como el EPR** en la extinción de incendios forestales, podemos indicar que es imprescindible en primera instancia que estas se encuentren en excelente estado y certificadas (dado que esta es la única forma de corroborar que realmente elemento proteja al usuario) lo cual aplica tanto a la máscara como a sus filtros. Estos últimos son extremadamente importantes debido a que protegerán al usuario de los elevados niveles de CO₂ como una medida extra que el organismo no le brinda (esto siempre y cuando los niveles de CO₂ no superen la capacidad de retención del material filtrante), por lo que es imprescindible poseer filtros que sean capaces de retener el gas (ya sea tanto por el material filtrante como por el nivel de saturación), así como estar en presencia de concentraciones atmosféricas mayores al 17%. Si las concentraciones disminuyeran por debajo del 17%, al no ser efectivas las máscaras con filtro, deberá emplearse elementos de protección respiratoria que no dependan del medio, tales como equipos de respiración autónoma (ERA). Además, si la saturación de los filtros dificulta la respiración, entonces se generará acidez en el organismo por lo cual estos no cumplirían con su objetivo. Se aclara que tal y como se corroboró, los **mecanismos de defensa del organismo** para evitar el ingreso de partículas al sistema circulatorio mediante la respiración (macrófagos, vellos, mucosidad, etc.) no retienen al CO₂, por lo que se requerirá justamente de mecanismos de defensa anexos al sistema para proteger al cuerpo.

Queda claro que los **estándares de exposición ocupacional** aplicables son solamente los valores techo respecto a los cuales, tal y como se observó por debajo del 3% de CO₂ en concentraciones de oxígeno del 21% no se generan efectos adversos de relevante importancia. El problema es que esta situación es no se genera en la práctica dado que el aumento del CO₂ genera la disminución del O₂, por lo que si este llega al 3% por ejemplo, el nivel de oxígeno disminuirá de manera tal de generar efectos adversos mayores sobre el bombero, lo que nos conduce nuevamente a una hipoxia y acidosis dentro del organismo.

Los **síntomas observados** tras exposiciones a elevadas concentraciones de CO₂ en cortos períodos de tiempo se clasifican entonces en aquellos:

- **A corto plazo** (reversibles en cortos períodos de tiempo) exposiciones esporádicas a dosis de hasta 7% aproximadamente, que involucran: Dolor de cabeza, mareos, confusión, visión borrosa, disnea (dificultad para respirar), aumento de la frecuencia cardíaca y presión sanguínea, mayor frecuencia respiratoria y ventilación pulmonar. Estos síntomas fueron corroborados con los sujetos de estudio (grupo uno y grupo dos).
- **A largo plazo** (repercuten en la salud durante prolongados períodos de tiempo y pueden darse de manera inmediata) aplicables en este caso a exposiciones a dosis excesivamente elevadas de entre 10% y 30%, cuyos síntomas involucran: Aumento de presión sanguínea y frecuencia cardíaca, posterior arritmia y finalmente paro cardíaco, frecuencia respiratoria elevada y profunda que pasa a lenta y superficial (a dosis del 30%), dilatación de las vías aéreas, dolor de cabeza, inconciencia y muerte (estos dos últimos dependiendo de la dosis), ataques de vértigo, poca memoria y concentración, fotofobia, dificultad para dormir, zumbidos en los oídos, doble visión, un marcado cambio en la personalidad, pérdida de movilidad de los ojos, defectos de campo visual, deficiencia en la adaptación a la oscuridad, aumento del volumen de espacio muerto de los pulmones, etc. Todos estos se basan en la información recopilada en los estudios relevados en el marco teórico.

Los **bomberos voluntarios** evaluados (así como todos los integrantes del cuerpo activo que cumplen con los parámetros preestablecidos) poseen experiencia en este tipo de siniestros al enfrentarse a los mismos casi diariamente (sobre todo en épocas invernales), por lo que su organismo probablemente haya generado la aclimatación, lo que reduce el efecto del xenobiótico al lograr que menor cantidad de éste llegue a los tejidos (generando así tanto una menor acidez como ventilación pulmonar). A pesar de esto, si bien la experiencia genera un incremento de la efectividad y la consecuente disminución de los tiempos de actuación, también se produce una subestimación de los riesgos que este tipo de siniestros puede llegar a generar sobre la salud, y por ende surge un **aumento de la exposición a gases de la combustión y el no uso de los elementos de protección respiratoria** (no uso el 37,5% de las veces y uso esporádico el 50% de la veces, lo cual es debido a la carencia, condiciones inadecuadas u otros usos predeterminados de sus filtros). Esto podría ser mitigado al planificar estrategias de trabajo a los fines de limitar la exposición de la tropa a la pluma de gases. Por otra parte, no tan solo el personal actuante en las intervenciones subestima los riesgos, sino que también se afectan las decisiones de la jefatura del cuerpo de bomberos y su comisión directiva, lo cual puede apreciarse en la **escasa inversión de recursos para la adquisición de este tipo de EPR** en los últimos doce años (tan solo ocho máscaras, tres actualmente utilizables), pero contando por otra lado, con el 54% de la flota abocada a este tipo de siniestros (siete unidades, de las cuales solo el 29% posee máscaras con filtro). Uno de los puntos positivos es que, al momento de la adquisición de los E.P.R., se seleccionan aquellos de marcas reconocidas (tales como MSA) e incluso respecto a los filtros adquiridos en los últimos años (2012) estos se encuentran aprobados y certificados por normas del NIOSH (organismos reconocidos y acreditados por el Organismo Argentino de Acreditación, y cuyo funcionamiento se encuentra respaldado por protocolos de ensayo y memorias técnicas). Todo esto indica que actualmente se cuenta con una insuficiente y deficiente, tanto en cantidad como en condición para su correcto uso y funcionamiento de los elementos de protección respiratoria.

Finalmente se aclara que no se descarta la posibilidad de que los efectos/síntomas observados sobre los sujetos de estudio pudiesen ser generados como consecuencia de la



exposición a otros gases de la combustión, dado que en cada una de estas reacciones de reducción-oxidación se generan cientos de diversos compuestos (lo cual varía incluso en cada incendio de manera particular), por lo que evaluar los efectos del CO₂ de manera aislada en los mismos revierte una elevada dificultad así como la asociación de los efectos/síntomas con únicamente este gas.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abdulrahman L Al-Malki, Ameen M Rezq y Mohamed H Al-Saedy (diciembre, 2008). Effect of fire smoke on some biochemical parameters in firefighters of Saudi Arabia. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 3:33.
- Consejo Nacional de Bomberos de la República Argentina (2016). Registro Único de Bomberos de Argentina. Recuperado de: <http://www.bomberosra.org.ar/snbv-reni-bomberos>.
- Consejo de Capacitación de la Federación de Asociaciones de Bomberos Voluntarios de la Provincia de Buenos Aires (2013). *Manual de ingreso*. Cuarta edición. Buenos Aires, Argentina.
- Decreto 351/1979. *Reglamenta la ley de higiene y seguridad en el trabajo*. B.O.: 22/05/1979, Buenos Aires, República Argentina.
- Disposición N° 58/2002. *Seguridad Industrial*. B.O.: 02/09/2002. Dirección Nacional de Comercio Exterior, Buenos Aires, República Argentina.
- Electric Power Research Institute (2004). *Health Effects of CO₂*. Palo Alto, California. USA.
- Electric Power Research Institute (2005). *Summary Report of the Health Effects of CO₂*. Palo Alto, California. USA.
- Fine, P. M., Cass, G. R., y Simoneit, B. R. T. (2001). Chemical characterization of fine particle emissions from fireplace combustion of woods grown in the Northeastern United States. *Environ. Sci. Technol.* 35(13):2665-2675.
- Gaughan, D. M., Piacitelli, C. A., Chen, B. T., Law, B. F., Virji, M. A., Edwards, N. T., Enright ,P. L., Schwegler-Berry, D. E., Leonard, S. S., Wagner, G. R., Kobzik, L., Kales, S. N., Hughes, M. D., Christiani, D. C., Siegel, P. D., Cox-Ganser, J. M. y Hoover, M. D. (septiembre, 2014). Exposures and Cross-shift Lung Function Declines in Wildland Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 11:591-603.
- Guiñazú, N. (2014). *Toxicología Laboral*. Trabajo presentado en clase de Toxicología Laboral de la carrera Licenciatura en Seguridad e Higiene en el Trabajo, Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud, Universidad Nacional del Comahue. Neuquén, Argentina.

- Hawthorne, S. B., Kreiger, M. S., Miller, D. J., y Mathiason, M. B. (1989). Collection and quantitation of methoxylated phenol tracers for atmospheric pollution from residential wood stoves. *Environ. Sci. Technol.* 23(4):470-475.
- Ley 19587/1972. *Higiene y Seguridad en el Trabajo*. B.O.: 28/04/1972, Buenos Aires, República Argentina.
- Miranda, A. I., Martins, V., Cascao, P., Amorin, J. H., Valente, J., Tavares, R., Borrego, C., Tchepel, O., Ferreira, A. J., Cordeiro, C. R., Viegas, D. X., Ribeiro, L. M., y Pita, L. P. (mayo, 2010). Monitoring of firefighters exposure to smoke during fire experiments in Portugal. *Environment International*, 36(2010), 736-745.
- Miranda, A. I., Martins, V., Cascao, P., Amorin, J. H., Valente, J., Borrego, C., Ferreira, A. J., Cordeiro, C. R., Viegas, D. X. y Ottmar, R. (2012). Wildland Smoke Exposure Values and Exhaled Breath Indicators in Firefighters. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A: Current Issues*, 75:13-15, 831-843.
- Naeher, L.P., Brauer, M., Lipsett, M., Zelikoff, J. T., Simpson, C.D., Koenig, J.Q. y Smith, K.R. (2007). Woodsmoke Health Effects: A Review. *Inhalation Toxicology*, 19:67-106.
- Oros, D. R., y Simoneit, B. R. T. (2001). Identification and emission factors of molecular tracers in organic aerosols from biomass burning. Part 1. Temperate climate conifers. *Appl. Geochem.* 16(13):1513-1544.
- Rice, S. A. (mayo, 2004). *Human Health Risk Assessment of CO₂: Survivors of Acute High-Level Exposure and Populations Sensitive to Prolonged Low-Level Exposure*. Alexandria, Virginia, USA.
- Real Decreto 786/2001. *Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos industriales*. BOE N° 181, Madrid, España, 30 de julio del 2001.
- Red Proteger (marzo, 2013). *El Fuego*. Productos de la Combustión. Editorial Red Proteger®, Primera edición. Rosario, Argentina.
- Reh, C. M., Letts, D. y Deitchman, S. (1994). *Health hazard evaluation report*. U.S. Department of the Interior National Park Service, Yosemite National Park, California,

National Institute of Occupational Health and Safety (NIOSH). Disponible en <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/1990-0365-2415.pdf>.

- Reinhardt, T. E., y Ottmar, R. D. (2000). *Smoke exposure at western wildfires*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Research Paper PNW-RP-525.
- Reisen, F., Hansen, D. y Meyer, C.P. (septiembre, 2010). Exposure to bushfire smoke during prescribed burns and wildfires: Firefighters exposure risks and options. *Environment International*, 37(2011), 314-321.
- Resolución N° 55/2005. *Defensa del Consumidor*. B.O.: 13/04/2005. Secretaría de Coordinación Técnica, Buenos Aires, República Argentina.
- Resolución N° 63/2003. *Defensa del Consumidor*. B.O.: 13/05/2003. Secretaría de la Competencia, la Desregulación y la Defensa del Consumidor, Buenos Aires, República Argentina.
- Resolución N° 299/2011. *Adóptense las reglamentaciones que procuren la provisión de elementos de protección personal confiables a los trabajadores*. B.O.: 18/03/2011. Superintendencia de Riesgos del Trabajo, Buenos Aires, República Argentina.
- Resolución N° 419/2008. *Estructura organizativa y requisitos de seguridad y equipamiento de las Asociaciones de Bomberos Voluntarios*. B.O. 18/06/2008. Ministerio del Interior, Buenos Aires, República Argentina.
- Resolución N° 861/2015. *Protocolo para Medición de Contaminantes Químicos en el Aire de un Ambiente de Trabajo*. B.O.: 20/04/2015. Superintendencia de Riesgos del Trabajo, Buenos Aires, República Argentina.
- Resolución N° 896/1999. *Seguridad Industrial*. B.O.: 06/12/1999. Secretaría de Industria, Comercio y Minería, Buenos Aires, República Argentina.
- Robertson, D.S (junio, 2006). Health effects of increase in concentration of carbon dioxide in the atmosphere. *Current Science*, 90(12), 1607-1609.

- Rothman, N., Ford, P., Baser, M. E., Hansen, J. A., O'Toole, T., Tockman, M. S., y Strickland, P. T. (1991). Pulmonary function and respiratory symptoms in wildland firefighters. *J. Occup. Med.* 33(11):1163-1167.
- Saladie, M. (2010). *Trabajos con riesgo de inhalación de contaminantes: partículas, sustancias químicas peligrosas y agentes biológicos (protección mediante EPI)*. Barcelona: Departamento de Trabajo.
- Schauer, J. J., y Cass, G. R. (2000). Source apportionment of wintertime gas-phase and particle-phase air pollutants using organic compounds as tracers. *Environ. Sci. Technol.* 34(9):1821-1832.
- Serra, A., Mocci, F., y Randaccio, F. S. (1996). Pulmonary function in Sardinian firefighters. *Am. J. Ind. Med.* 30:70-78.
- Simoneit, B. R. T., Schauer, J. J., Nolte, C. G., Oros D.R., Elias, V. O., Fraser, M. P., Rogge, W. F., y Cass, G. R. (1998). Levoglucosan, a trace for cellulose in biomass burning and atmospheric particles. *Atmos. Environ.* 33(2):173-182.
- Solá de los Santos J., Hernández Pérez J.L. y Fernández Cruz R. (s.f.). *Termoquímica 3*. Recuperado de <http://www.heurema.com/TestQ22.htm>.
- Sparrow, D., Bosse, R., Rosner, B., y Weiss, S. (1982). The effect of occupational exposure on pulmonary function: A longitudinal evaluation of fire fighters and nonfire fighters. *Am. Rev. Respir. Dis.* 128:319-322.
- Suhiltzaileak Nafarroako (s.f.). *Combustibles sólidos, líquidos y gaseosos*. Navarra, España: Bomberos de Navarra.
- Tepper, A., Comstock, G. W., y Levine, M. (1991). A longitudinal study of pulmonary function in fire fighters. *Am. J. Ind. Med.* 20:307-316.
- Tortora, G. J., Derrickson, B. (2006). Aparato Respiratorio. *Principios de Anatomía y Fisiología* (cap. 23, pp. 853-890). México: Editorial Médica Panamericana S.A.
- Wong, K. L., Stock, M. F., Malek, D. E., y Alarie, Y. (1984). Evaluation of the pulmonary effects of wood smoke in guinea pigs by repeated CO₂ challenges. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 75(1):69-80.

ANEXO I – MANUAL DE MEDIDOR DE GASES ALTAIR 4X

RELEVAMIENTO FOTOGRÁFICO

Seteo de celdas – Concentración mínima y máxima de O₂:



Calibración:



Manual del usuario:

2. Description

2.1. Instrument Overview



- 1 MSA Link Communication
- 2 Safe LED (green) and Fault LED (yellow)
- 3 Sensor Inlets
- 4 Horn
- 5 ▲ Button
- 6 ▼ Button
- 7 ○ Button
- 8 Display
- 9 Alarm LEDs (4)
- 10 Clip
- 11 Charging Connection
- 12 Screws (4)
- 13 Charge LED (red/green)

3. Operation

Instrument operation is dialog driven from the display with the aid of the three Function buttons (see Section 2).

3.1. Environmental Factors

A number of environmental factors may affect the gas sensor readings, including changes in pressure, humidity and temperature. Pressure and humidity changes affect the amount of oxygen actually present in the atmosphere.

Pressure Changes

If pressure changes rapidly (e.g., stepping through airflow) the oxygen sensor reading may temporarily shift, and possibly cause the detector to go into alarm. While the percentage of oxygen may remain at or near 20.8 vol%, the total amount of oxygen present in the atmosphere available for respiration may become a hazard if the overall pressure is reduced by a significant degree.

Humidity Changes

If humidity changes by any significant degree (e.g., going from a dry, air conditioned environment to outdoor, moisture laden air), oxygen readings can be reduced by up to 0.5 %, due to water vapor in the air displacing oxygen.

The oxygen sensor has a special filter to reduce the effects of humidity changes on oxygen readings. This effect will not be noticed immediately, but slowly impacts oxygen readings over several hours.

Temperature Changes

The sensors have built-in temperature compensation. However, if temperature shifts dramatically, the sensor reading may shift. Zero the instrument at the work site temperature for the least effect.

3-1

5. Technical Specifications/Certifications

5.1 Technical Specifications

WEIGHT	7.9 oz. (instrument with battery and clip)		
DIMENSIONS (L x W x H)	4.4 x 3.00 x 1.37 inches – without fastening clip		
ALARMS	Four gas alarm LEDs, a charge status LED, an audible alarm, and a vibrating alarm		
VOLUME OF AUDIBLE ALARM	95 dB typical		
DISPLAY	LCD display		
BATTERY TYPE	Rechargeable Li polymer battery. Li polymer battery must not be charged in Ex area		
INSTRUMENT RUN TIME	24 hours at 77°F (25°C)		
CHARGING TIME	≤ 4 hours The maximum safe area charging voltage U _m = 6.7 Volts D.C		
TEMP RANGE	14 to 104°F (-10 to 40°C)	Normal operating range	
	-4 to 122°F (-20 to 50°C)	Extended operating range	
	50 to 95°F (10 to 35°C)	While charging battery	
	-40 to +140°F (-40 to 60°C)	Intrinsic safety ambient temperature range (ATEX, IEC)	
	-40 to +129°F (-40 to 54°C)	Intrinsic safety ambient temperature range (CSA, ETL)	
HUMIDITY RANGE	15 - 90% relative humidity, non-condensing; 5 - 95% RH intermittent		
ATMOSPHERIC PRESSURE RANGE	800 to 1200 mbar		
INGRESS PROTECTION	IP 67		
MEASURING METHODS	Combustible gas: Catalytic sensor O ₂ and Toxic gas: Electrochemical sensor		
MEASURING RANGE	Combustible 0-100% LEL 0-5.00% CH ₄	O ₂ 0-30% Vol.	CO 0-1999 ppm H ₂ S 0-200 ppm

5.2 Factory-set Alarm Thresholds and Setpoints

Sensor	LOW alarm	HIGH alarm	STEL	TWA	Min alarm setpoint	Max alarm setpoint	Auto-cal values
LEL	10% LEL	20% LEL	–	–	5	60	58%
O ₂	19.5%	23.0%	–	–	5	29	15.0%
CO	25 ppm	100 ppm	100	25	15	1700	60 ppm
H ₂ S	10 ppm	15 ppm	15	10	5	175	20 ppm

This instrument is not approved for use in atmospheres containing >21 % oxygen.

5.3 Certifications

See instrument label for the approvals that apply to your specific unit.

USA and Canada (Non-mining)

See instrument label for approvals that apply to your specific unit

Europe Union

The product ALTAIR 4X complies with the following directives, standards or standardized documents:

Directive 94/9/EC (ATEX): II 1G Ex ia IIC T4, Ga IP67 (Zone 0 with no combustible sensor installed)

II 2G Ex d ia mb IIC T4 Gb, IP67 (Zone 1 with combustible sensor installed)
I M1 Ex ia I Ma (Zone 0)
Ta = -40 °C to +60 °C

EN60079-29-1 ATEX Flammable Gas Performance Certification for Groups I and II
EN50104 ATEX Oxygen Performance Certification

CE 0080

Directive 2004/108/EEC (EMC): EN50270:2007 Type 2, EN61000-6-3:2007

Australia/New Zealand Test Safe Australia

Ex ia sa I IP67 (Zone 0)
Ex ia sa IIC T4 IP67 (Zone 0)
Ta = -40 °C to +60 °C

IECEX

TestSafe Australia
Ex ia I IP67 (Zone 0)
Ex ia mb d IIC T4 IP67 (Zone 1) - When Combustible XCell Sensor is installed
Ex ia IIC T4 IP67 (Zone 0) - When Combustible XCell Sensor is not installed
Ta = -40 °C to +60 °C

Performance Specification

5.4.1 Combustible Gas

Range	0 to 100% LEL or 0 to 5% CH ₄
Resolution	1% LEL or 0.05% vol CH ₄
Reproducibility	3% LEL, 0% to 50% LEL reading or 0.15 % CH ₄ , 0.00% to 2.50 % CH ₄ (normal temperature range)
	5% LEL, 50% to 100% LEL reading or 0.25 % CH ₄ , 2.50% to 5.00 % CH ₄ (normal temperature range)
	5% LEL, 0% to 50% LEL reading or 0.25 % CH ₄ , 0.00% to 2.50 % CH ₄ (extended temperature range)
	8% LEL, 50% to 100% LEL reading or 0.40 % CH ₄ , 2.50 % to 5.00 % CH ₄ (extended temperature range)
Response Time (Typical)	90% of final reading <15 seconds(pentane) <10 seconds (methane) (normal temperature range)

5.4.2 Oxygen

The oxygen sensor has built-in temperature compensation. However, if temperature shifts dramatically, the oxygen sensor reading may shift. Zero the instrument at the work place temperature for the least effect.

Range	0 to 30 vol.% O ₂
Resolution	0.1 vol.% O ₂
Reproducibility	0.7 vol.% O ₂ for 0 to 30 vol.% O ₂
Response time (Typical)	90% of final reading <10 seconds (normal temperature range)
Oxygen Sensor Cross-Sensitivity	The oxygen sensor has no common cross-sensitivities

ANEXO II – PARTE DE SERVICIO, “ANEXO I” Y “ANEXO II”

Vista frontal - Parte de servicio

Vista posterior – Parte de servicio

		Fecha: 17/06/2016		Nº de Parte: 483	
Parte de Servicio: Servicio de incendio forestal		Codigo: 11		Codigo: 05	
Central Nº 8	Tipo: Pastos Naturales.				
Ubicación: Calle 08 - Lote 30 B - Cruzando el Puente 2º Entrada izquierda.					
AVISO - Nombre y Apellido: Claudia Frol		Nº Telefono: 155191166		Hº de Alarma: 16:20	
JEFE DE DOTACION: Sub. of. Mayor Alvarez Jorge Patricio					
Hora de Salida: 16:23	Movil Nº: 08	Sub. of. Chofer: Alvarez Patricio	Cant. Personal: 5	Hº de Llegada: 16:31	Hora de Regreso: 17:50
Hora de Salida: 15:39	Movil Nº: 18	Sub. of. Chofer: Acuna Matias	Cant. Personal: 3	Hº de Llegada: 16:27	Hora de Regreso: 18:09
Hora de Salida: 16:38	Movil Nº: 17	Sub. of. Chofer: Sepulveda Facundo	Cant. Personal: 4	Hº de Llegada: 16:44	Hora de Regreso: 17:18
Hora de Salida:	Movil Nº:	Chofer:	Cant. Personal:	Hº de Llegada:	Hora de Regreso:
ACTUACIONES					
Reconocimiento:					
Disposiciones:					
Victimas					
Illeso/s	Quemado/s	Otros: (Detallar)			
Muerto/s	Ahogado/s				
Lesionado/s	Trauma				
Daños Materiales					
Vehículo tipo:		Propietario del bien siniestrado:			
Marca:		Nombre y Apellido:			
Dominio:		DNI:			
Color:		Edad:			
Otros Bienes dañados: (Detallar)					
Sigue al Dorsio →					

Nombre y Apellido:		Testigo		Colaboro	
DNI:					
Telefono:					
Domicilio:					
Nombre y Apellido		Leg.	Asistencia Grado	COD	FIRMA
PARIS, José Luis	2	Comandante Mayor	04		
ALVAREZ, Jorge Patricio	89	Ayudante Mayor	02		
ARROYO, Victor Hugo	75	Oficial Auxiliar	-		
HERMOSILLA, José Octavio	5	Oficial Auxiliar	-		
GACITUA, Andrés Orlando	52	Ayudante 1ra	-		
MAIROTTA, Juan Gustavo	68	Ayudante 1ra	04		
DE CABOTEAU, Agustín	107	SubAyudante	-		
BUENO, Andrea	109	SubAyudante	-		
CARRASCO, Luis Andrés	56	SubAyudante	-		
ACUNA, Samuel Matias	78	SubAyudante	03		
HUECHE CONSTANZO, José	95	SubAyudante	-		
ORTIZ, Federico	108	Bombero	04		
OBREGON, Luis	110	Bombero	-		
JARA, Jonatan	59	Bombero	-		
MIRANDA, Patricia Myrian	101	Bombero	-		
MOLINA, Leonardo	115	Bombero	03		
SILVA, Miguel	114	Bombero	03		
BROGHI, Pablo Andrés	77	Bombero	02		
DUBREUIL, Rubén	71	Bombero	-		
BUSTAMANTE, Carlos	112	Bombero	05		
BENGOLEA, Luis	58	Bombero	-		
CASTRO ARIAS, Miguel A.	83	Bombero	-		
LUCERO, Michael	129	Bombero	-		
FONSECA, Joaquin	116	Bombero	-		
FRESCO, Jorge	40	Bombero	-		
LUGO, Andres	141	Bombero	-		
CATALAN, Brian	151	Bombero	03		
ALVAREZ, Julio	152	Bombero	02		
LEIVA, Sebastian	153	Cadete	-		
ARAVENA, Robinson	154	Bombero	-		
RIQUENME, Pamela	155	Bombero	-		
RIESGO, Martin	156	Bombero	-		
CAMPOLONGO Juan	157	Bombero	02		
ORTEZ, Benjamin	158	Bombero	04		
SEPLVEDA, Facundo	159	Bombero	03		
INDUSTRIA, Eduardo	160	Bombero	02		
MONS, Anuar	161	Cadete	04		
MUNOZ, Francis	162	Bombero	-		
ROSALIS, Alejandro		Bombero	03		
Marcos Marina	138	Cuerpo Auxiliar	03		
Sapota Viviana	139	Cuerpo Auxiliar	-		
Berganza Carina		Cuerpo Auxiliar	-		
Carreras Lucas	148	Cuerpo Auxiliar	03		
Quigona Paula		Cuerpo Auxiliar	-		
Diaz Diana	149	Cuerpo Auxiliar	-		
Lucena Nicolas	147	Cuerpo Auxiliar	-		
Marmora Cecilia		Cuerpo Auxiliar	-		
Pichel Mariano		Cuerpo Auxiliar	-		
Molina German		Cuerpo Auxiliar	04		
Muller Simon		Cuerpo Auxiliar	03		
RODRIGUEZ, Miguel A.		Cuerpo Auxiliar	-		
Montenegro Mauricio	128	Cuerpo Auxiliar	-		
Antuña Juan Guillermo	1	Cuerpo Reserva	-		
Grupos Promovidos:					
Comandante de Comando		Jefe de Dotación		Jefe de Cuerpo Activo	
firma y Nº de Legajo		firma y Nº de Legajo		firma y Nº de Legajo	
Condición:					
01- Presente en el lugar	02- Presente en primera dotación	03- Presente en otra dotación			
04- Presente en Central	05- En comisión o en otro servicio	06- ausente licenciado			
07- Ausente por enfermedad	08- Cumpliendo Castigo	09- Ausente con Aviso			

ANEXO III PARTE I - REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL INSTRUMENTO EN EL MUESTREO DE GASES

Incendio de pastos naturales y bines con troncos de madera en su interior

Punto Norte 1

O₂: 20.8

CO: 26



Punto Norte 2

O₂: 20.8

CO: sin medición



Punto Norte 3

O₂: 20.8

CO: sin medición



Punto Este 1

O₂: 20.8

CO: 0



Punto Este 2

O₂: 20.8

CO: 18



Punto Este 3

O₂: 20.8

CO: sin medición



Punto Sur 1

O₂: 20.8

CO: sin medición



Punto Sur 2

O₂: 20.8

CO: sin medición



Punto Sur 3

O₂: 20.8

CO: sin medición



Punto Oeste 1

O₂: 20.8

CO: 0



Punto Oeste 2

Sin registro Fotográfico

O₂: 20.8

CO: sin medición

Punto Oeste 3

O₂: 20.8

CO: sin medición



ANEXO III PARTE II – REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL SINIESTRO

Incendio de pastos naturales y bines con troncos de madera en su interior –

Relevamiento de las actuaciones del personal

Quema de Pastos Naturales



Quema de Bines con Troncos de Madera



Sujetos de Estudio





ANEXO III PARTE III – REGISTRO FOTOGRÁFICO RELEVAMIENTO DE MÁSCARAS CON FILTRO

Móvil N° 8 – Máscaras 1 a 3



Máscara 1



Filtro 1 - Izquierdo



Filtro 2 - Derecho



Máscara 2



Filtro 3 - Izquierdo



Máscara 3



Filtro 5 - Izquierdo



Filtro 6 – Derecho



Móvil N° 16 – Máscaras 4 a 5



Máscara 4



Filtro 7 – Izquierdo



Filtro 8 – Derecho



Máscara 5



Filtro 9 – Izquierdo



Filtro 10 - Derecho



Sección Materiales – Máscaras 6 a 8

Máscara 6



Filtro 11 – Izquierdo



Filtro 12 – Derecho



Máscara 7



Máscara 8



Filtro 15 – Izquierdo



Filtro 16 - Derecho



ANEXO III PARTE IV - CUESTIONARIOS

Cuestionario I –Exposición-

Cuestionario I –Exposición-

Cargo Jerárquico	Bombero voluntario			
Edad	25 años			
Antigüedad	1 año			
Tareas Desarrolladas en la Dotación	Jefe de Dotación		Tropa	
Tiempo de Exposición a Gases de Combustión Aproximada	Menos de 5 minutos	Entre 5 y 15 minutos	Entre 15 y 30 minutos	Más de 30 minutos
			X	
	Nulo	Bajo	Moderado	Alto
				X
Nivel de Exposición a Gases Estimado				
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en este tipo de Incendio?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
		X		
Síntomas / Efectos	Ausente	Leve	Moderada	Marcada
Dificultad para Respirar	X		X	
Aumento de Frecuencia Respiratoria			X	
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco		X		
Mareos	X			
Desorientación / Confusión	X			
Dolor de Cabeza	X			
Distorsión Visual	X			
Fatiga / Agitación	X			
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	Si - Detallar			No
				X
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	Si - Detallar			No
				X
¿Tiene el hábito de fumar?	Si	No		
		X		

Cuestionario I –Exposición-

Cargo Jerárquico	Bombero Voluntario			
Edad	25 años			
Antigüedad	1 año			
Tareas Desarrolladas en la Dotación	Jefe de Dotación		Tropa	
Tiempo de Exposición a Gases de Combustión Aproximada	Menos de 5 minutos	Entre 5 y 15 minutos	Entre 15 y 30 minutos	Más de 30 minutos
			X	
	Nulo	Bajo	Moderado	Alto
				X
Nivel de Exposición a Gases Estimado				
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en este tipo de Incendio?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
		X		
Síntomas / Efectos	Ausente	Leve	Moderada	Marcada
Dificultad para Respirar			X	
Aumento de Frecuencia Respiratoria			X	
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco		X		
Mareos	X			
Desorientación / Confusión	X			
Dolor de Cabeza		X		
Distorsión Visual	X			
Fatiga / Agitación	X			
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	Si - Detallar			No
				X
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	Si - Detallar			No
				X
¿Tiene el hábito de fumar?	Si	No		
	X			

Resales. A

Selo

Cuestionario 1 -Exposición-

Cargo Jerárquico	Bombero			
Edad	31 años			
Antigüedad	2 años			
Tareas Desarrolladas en la Dotación	Jefe de Dotación		Tropa	
			X	
Tiempo de Exposición a Gases de Combustión Aproximada	Menos de 5 minutos	Entre 5 y 15 minutos	Entre 15 y 30 minutos	Más de 30 minutos
				X
Nivel de Exposición a Gases Estimado	Nulo	Bajo	Moderado	Alto
		X		
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en este tipo de Incendio?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
	X			
Síntomas / Efectos	Ausente	Leve	Moderada	Marcada
Dificultad para Respirar		X		
Aumento de Frecuencia Respiratoria	X			
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco	X			
Mareos	X			
Desorientación / Confusión	X			
Dolor de Cabeza	X			
Distorsión Visual	X			
Fatiga / Agitación	X			
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	Si - Detallar		No	
			X	
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	Si - Detallar		No	
			X	
¿Tiene el hábito de fumar?	Si		No	
	X			

hoyos

Cuestionario 1 -Exposición-

Cargo Jerárquico	BOMBERO VOLUNTARIO			
Edad	23 años			
Antigüedad	1 año			
Tareas Desarrolladas en la Dotación	Jefe de Dotación		Tropa	
			X	
Tiempo de Exposición a Gases de Combustión Aproximada	Menos de 5 minutos	Entre 5 y 15 minutos	Entre 15 y 30 minutos	Más de 30 minutos
			X	
Nivel de Exposición a Gases Estimado	Nulo	Bajo	Moderado	Alto
			X	
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en este tipo de Incendio?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
	X			
Síntomas / Efectos	Ausente	Leve	Moderada	Marcada
Dificultad para Respirar	X			
Aumento de Frecuencia Respiratoria		X		
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco	X			
Mareos	X			
Desorientación / Confusión	X			
Dolor de Cabeza	X			
Distorsión Visual	X			
Fatiga / Agitación		X		
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	Si - Detallar		No	
			X	
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	Si - Detallar		No	
	TEMPERATURA			
¿Tiene el hábito de fumar?	Si		No	
	X			

comp longo

Cuestionario II -Experiencia en Incendios de Pastos Naturales-

Cargo Jerárquico	Bombero Voluntario				
Edad	38 años				
Antigüedad	4 años				
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre	
	X				
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ			
	Ausente	Leve	Moderada	Marcada	
Dificultad para Respirar	X				
Aumento de Frecuencia Respiratoria	X				
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco	X				
Mareos	X				
Desorientación / Confusión	X				
Dolor de Cabeza	X				
Distorsión Visual	X				
Fatiga / Agitación	X				
Otros (detallar)	X				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar		No		
			X		
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar		No		
			X		
¿Tiene el hábito de fumar?	SI		No		
			X		

Quirundo Patricia.

Cargo Jerárquico	BOMBERO				
Edad	19				
Antigüedad	2 años				
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre	
		X			
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ			
	Ausente	Leve	Moderada	Marcada	
Dificultad para Respirar			X		
Aumento de Frecuencia Respiratoria		X			
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco			X		
Mareos			X		
Desorientación / Confusión		X			
Dolor de Cabeza			X		
Distorsión Visual				X	
Fatiga / Agitación		X			
Otros (detallar)					
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar		No		
			X		
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar		No		
	al momento del mismo incendio, como mareos, gripa, otros problemas etc				
¿Tiene el hábito de fumar?	SI		No		
	X				

Leiza Lucero

Cargo Jerárquico	hombre				
Edad	30				
Antigüedad	6 años				
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre	
		✓	X		
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ			
	Ausente	Leve	Moderada	Marcada	
Dificultad para Respirar	✓				
Aumento de Frecuencia Respiratoria			✓		
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco	X		✓		
Mareos	✓				
Desorientación / Confusión	✓				
Dolor de Cabeza	✓				
Distorsión Visual	✓				
Fatiga / Agitación	✓				
Otros (detallar)					
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar		No		
			✓		
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar		No		
	La actividad del Trabajo				
¿Tiene el hábito de fumar?	SI		No		
			✓		

Carro

Cargo Jerárquico	hombre				
Edad	29				
Antigüedad	8 años				
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre	
	✓				
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ			
	Ausente	Leve	Moderada	Marcada	
Dificultad para Respirar	✓				
Aumento de Frecuencia Respiratoria	✓				
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco	✓				
Mareos	✓				
Desorientación / Confusión	✓				
Dolor de Cabeza	✓		✓		
Distorsión Visual	✓				
Fatiga / Agitación	✓				
Otros (detallar)					
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar		No		
			✓		
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar		No		
	SI el dolor de cabeza es por la temperatura				
¿Tiene el hábito de fumar?	SI		No		
			✓		

Muro

Cargo Jerárquico	2do Esquadrón Guardia Nocturna			
Edad	20			
Antigüedad	2 años			
¿Cuan frecuentemente utiliza Mascaras con Filtros en Incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
		X		
¿Cuales son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	SI SENTÍ			
	NUNCA SENTÍ	Ausente	Leve	Moderada
				Marcada
Dificultad para Respirar				X
Aumento de Frecuencia Respiratoria			X	
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco			X	
Mareos	X			
Desorientación / Confusión		X		
Dolor de Cabeza			X	
Distorsión Visual		X		
Fatiga / Agitación		X		
Otros (detallar)	GASAS DE UNIDAD			
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar	No		
		NO		
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar	No		
		NO		
¿Tiene el hábito de fumar?	SI	No		
		X		

Ortiz

Cargo Jerárquico	Bombero			
Edad	21 años			
Antigüedad	9 años			
¿Cuan frecuentemente utiliza Mascaras con Filtros en Incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
		X		
¿Cuales son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	SI SENTÍ			
	NUNCA SENTÍ	Ausente	Leve	Moderada
				Marcada
Dificultad para Respirar			X	
Aumento de Frecuencia Respiratoria			X	
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco			X	
Mareos	X			
Desorientación / Confusión	X			
Dolor de Cabeza			X	
Distorsión Visual			X	
Fatiga / Agitación				X
Otros (detallar)	NAUSEAS			
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar	No		
		X		
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar	No		
		X		
¿Tiene el hábito de fumar?	SI	No		
	X			

Moreno

Cargo Jerárquico	Sub-Of. Ayudante.			
Edad	25			
Antigüedad	6			
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
			<input checked="" type="checkbox"/>	
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ		
		Ausente	Leve	Moderada
Dificultad para Respirar			<input checked="" type="checkbox"/>	
Aumento de Frecuencia Respiratoria			<input checked="" type="checkbox"/>	
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco			<input checked="" type="checkbox"/>	
Mareos		<input checked="" type="checkbox"/>		
Desorientación / Confusión		<input checked="" type="checkbox"/>		
Dolor de Cabeza		<input checked="" type="checkbox"/>		
Distorsión Visual			<input checked="" type="checkbox"/>	
Fatiga / Agitación			<input checked="" type="checkbox"/>	
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar		No	
			<input checked="" type="checkbox"/>	
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar		No	
	sobre peso y falta de ejercicios.			
¿Tiene el hábito de fumar?	SI		No	
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	

Avila

Cargo Jerárquico	Sub-Oficial Subayudante			
Edad	36 años			
Antigüedad	3 1/2 años			
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
	<input checked="" type="checkbox"/>			
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ		
		Ausente	Leve	Moderada
Dificultad para Respirar				<input checked="" type="checkbox"/>
Aumento de Frecuencia Respiratoria				<input checked="" type="checkbox"/>
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco			<input checked="" type="checkbox"/>	
Mareos	<input checked="" type="checkbox"/>			
Desorientación / Confusión	<input checked="" type="checkbox"/>			
Dolor de Cabeza		<input checked="" type="checkbox"/>		
Distorsión Visual	<input checked="" type="checkbox"/>			
Fatiga / Agitación				<input checked="" type="checkbox"/>
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar		No	
			<input checked="" type="checkbox"/>	
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar		No	
	SI - Por sobre peso			
¿Tiene el hábito de fumar?	SI		No	
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	

avero

Cargo Jerárquico	Bombero Voluntario			
Edad	40 años			
Antigüedad	4 años			
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
				<input checked="" type="checkbox"/>
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ		
		Ausente	Leve	Moderada
Dificultad para Respirar			<input checked="" type="checkbox"/>	
Aumento de Frecuencia Respiratoria			<input checked="" type="checkbox"/>	
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco				<input checked="" type="checkbox"/>
Mareos		<input checked="" type="checkbox"/>		
Desorientación / Confusión	<input checked="" type="checkbox"/>			
Dolor de Cabeza	<input checked="" type="checkbox"/>			
Distorsión Visual	<input checked="" type="checkbox"/>			
Fatiga / Agitación				<input checked="" type="checkbox"/>
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar		No	
			<input checked="" type="checkbox"/>	
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar		No	
			<input checked="" type="checkbox"/>	
¿Tiene el hábito de fumar?	SI		No	
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	

Lugo Andres
B.O # 141

Cargo Jerárquico	BOMBERO VOLUNTARIO			
Edad	27			
Antigüedad	1 AÑO 4 MESES			
¿Cuán frecuentemente utiliza Máscara con Filtros en incendios de pastos naturales?	Nunca	A veces	La Mayoría de las Veces	Siempre
		<input checked="" type="checkbox"/>		
¿Cuáles son los Síntomas / Efectos que recuerda haber sentido durante la exposición a gases de combustión de pastos naturales?	NUNCA SENTÍ	SI SENTÍ		
		Ausente	Leve	Moderada
Dificultad para Respirar		<input checked="" type="checkbox"/>		
Aumento de Frecuencia Respiratoria			<input checked="" type="checkbox"/>	
Taquicardia / Aumento Ritmo Cardíaco		<input checked="" type="checkbox"/>		
Mareos	<input checked="" type="checkbox"/>			
Desorientación / Confusión	<input checked="" type="checkbox"/>			
Dolor de Cabeza		<input checked="" type="checkbox"/>		
Distorsión Visual	<input checked="" type="checkbox"/>			
Fatiga / Agitación			<input checked="" type="checkbox"/>	
Otros (detallar)				
¿Posee enfermedades previas que pudieron haber generado los efectos/síntomas mencionados anteriormente?	SI - Detallar		No	
			<input checked="" type="checkbox"/>	
¿Piensa que otra condición que no fuese la exposición a gases pudo haber generado los síntomas/efectos?	SI - Detallar		No	
			<input checked="" type="checkbox"/>	
¿Tiene el hábito de fumar?	SI		No	
	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	

MANTÉN RIESGO

ANEXO IV – SOLICITUD / AUTORIZACIÓN

Neuquén, 23 de Mayo del 2015

Asoc. Bomberos Voluntarios de Centenario

Al Comandante del Cuerpo Activo

Sr. José Luis Paris

S...../.....D

Por medio de la presente, me dirijo a usted a los fines de lograr obtener su aprobación para poder efectuar mi trabajo de Tesis de grado, correspondiente a la carrera "Licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo" llevada a cabo en la Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud, correspondiente a la Universidad Nacional del Comahue.

Mi objetivo es poder efectuar dicho trabajo de Tesis dentro de las instalaciones de la Central 08, como así también en siniestros/incendios (exclusivamente de tipo forestal) a los que concurra el personal.

El tema elegido para elaborar dicho trabajo, es el siguiente:

"El Sistema Respiratorio de los Bomberos Voluntarios de la Ciudad de Centenario de entre 20 y 40 años de edad, se ve afectado tras la exposición a Dióxido de Carbono en cortos períodos de tiempo a altas dosis, provenientes de la combustión de pastos naturales, al no utilizar el Equipo de Protección Personal adecuado"

El mismo contará con las siguientes actividades:

- 1) Mediciones de concentraciones atmosféricas de Oxígeno (mediante el empleo de un medidor de cuatro gases MSA) en zonas aledañas a la combustión en cuestión.
- 2) Relevamiento fotográfico correspondiente a las mencionadas mediciones y al personal al momento de efectuar el trabajo de extinción correspondiente.
- 3) Cuestionario efectuado sobre un total de diez (10) Bomberos Voluntarios respecto a los efectos que el Dióxido de Carbono y la falta de Oxígeno generaron sobre su salud durante el nombrado siniestro (se adjunta).
- 4) Relevamiento de Elementos de Protección Respiratoria inherentes a la temática, con los que la Central cuenta (en este caso, siendo máscaras con filtros).

Sin más, quedo a la espera de una respuesta favorable.

Atentamente.


Brajón Paris A.

Recibido
Asp. Inofense


	<p>ASOCIACION BOMBEROS VOLUNTARIOS CENTENARIO</p> <p>PERSONARIA JURIDICA POR DECRETO PROVINCIAL N° 0840 Lago Trafül y Atahualpa Yupanqui - Tel. 4891800 - 100 código postal 8309 Centenario-Provincia de Neuquén-Patagonia Argentina</p>	
---	---	---

Centenario 27 de Septiembre del 2015

Por medio de la presente autorizo al Sr. Brogin Pablo Andrés, DNI: 35.894.615, el cual forma parte de la central 08 de la nombrada ciudad bajo el Legajo N° 77, a efectuar su trabajo de tesis de grado y todas aquellas actividades para tal fin.

Se entrega la presente para ser presentado ante quien corresponda a los 27 días del mes de Septiembre del 2015.

Atentamente.




SR. JOSÉ LUIS
MANDANTE MAYOR
JEFE DE CUERPO ACTIVO
ASOC BOMBEROS VOLUNTARIO
CENTENARIO