

Modelación multicriterio del nivel de prevención de contaminación por mercurio en entidades odontológicas

Multi-criteria modelling of mercury pollution prevention level in dental institutions

Jorge Pérez Rave¹ Mónica Trujillo² Gloria Castro³ Gabriel Gómez³

Recibido 7 de marzo de 2013, aceptado 13 de junio de 2014

Received: March 7, 2013 Accepted: June 13, 2014

RESUMEN

El ejercicio odontológico con amalgama dental puede presentar riesgos atribuibles a la contaminación por mercurio, lo cual requiere, entre otros, elementos para el monitoreo y la evaluación de la operatoria de las entidades odontológicas respecto del tema. El objetivo fue proponer un modelo de evaluación multicriterio del nivel de prevención de contaminación por mercurio en entidades odontológicas del departamento de Antioquia (Colombia). Este fue construido bajo análisis multicriterio, usando Analytic Hierarchy Process (AHP), integrado con elementos como comparaciones pareadas y modelación matemática. Para ello, se delimitaron como factores de estudio: condiciones ambientales, manejo de residuos y derrames, condiciones locativas, manejo de la amalgama y uso de implementos de seguridad. Al final se obtiene un modelo automatizado en *Visual Basic for Application*, que permite explorar el nivel de prevención de la contaminación por mercurio en dichas entidades, basado en las prácticas que estas utilizan y hace viable identificar oportunidades de mejora en la prestación del servicio. Respecto del caso de aplicación, se pudo explorar la distribución de las entidades en cinco niveles de prevención establecidos así como calcular otros indicadores propuestos, tanto de manera global como por criterios y zonas del departamento. Específicamente, cerca de la mitad de las entidades no reúne las condiciones de madurez respecto de la prevención de contaminación por mercurio tanto en condiciones ambientales como en manejo de amalgama y condiciones locativas. En contraste, la prevención de derrames de mercurio y el uso de implementos de seguridad se muestran favorables en la mayoría de las entidades (85-92%).

Palabras clave: Amalgama dental, contaminación por mercurio, análisis multicriterio, entidades odontológicas, servicios de salud oral.

ABSTRACT

The dentistry practice with dental amalgam may imply risks regarding to mercury contaminants, which demands, among others, elements for the monitoring and evaluation of dental institutions. The objective of this study was to propose a multi-criteria evaluation model of the level of preventing mercury contamination in dental institutions of the Department of Antioquia (Colombia). This was built on multi-criteria analysis using Analytic Hierarchy Process (AHP), composed with elements such as paired comparisons and mathematical modelling. To do this, we delimited the following study factors: environmental, waste management and spills, locative conditions, handling of amalgam and use of safety equipment. In the end, a model is obtained, automated in Visual Basic for Application, which allows for the exploration of the prevention level of mercury contamination in such entities, based on used practices and makes

¹ Grupo Investigación Gestión de la Calidad. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Antioquia. Calle 67 N° 53-108. Medellín, Colombia. E-mail: ejipr056@udea.edu.co

² Facultad de Odontología. Universidad de Antioquia. Calle 64 N° 52-59. Medellín, Colombia. E-mail: monicatrujillohoyos@gmail.com

³ Facultad de Administración. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. E-mail: glorycas@hotmail.com; gjgmejia@hotmail.es

identification of opportunities for improvement in the service offering feasible. Regarding the application, it is able to explore the entities distribution in five established prevention levels, as well as to calculate other proposed indicators, both overall and by criteria and locations. Regarding the prevention of mercury contamination, approximately the half of the eligible entities is not sufficiently developed in the areas of: environmental, handling of amalgam and location conditions. In contrast, mercury spill prevention and use of safety equipment appears favorable in most institutions (85-92 %).

Keywords: Dental amalgam, mercury contamination, multi-criteria analysis, dental institutions, oral health services.

INTRODUCCIÓN

El mercurio puede tener efectos tóxicos sobre la salud humana cuando no se maneja correctamente, ocasionando un sinnúmero de problemas y enfermedades en el sistema nervioso central, cerebro, riñones, hígado, testículos y ojos, los que se manifiestan con una sintomatología específica desde el punto de vista físico y del comportamiento, lo que depende del grado de contaminación o intoxicación que padezca la persona. Estas mismas razones son las que han originado, por más de 160 años, la controversia sobre la seguridad, tanto para el paciente como para el personal odontológico, del uso de este metal en la preparación de amalgamas dentales [1].

Al respecto, se han publicado múltiples trabajos que alertan sobre el peligro potencial al que están expuestos los odontólogos y sus asistentes durante la práctica con amalgama; se han dado recomendaciones sobre buenas prácticas [2], al igual que la implementación de normatividad específica, que buscan mantener controlados los peligros potenciales debidos al manejo inadecuado del material.

Aunque hoy existen materiales restauradores, libres de mercurio, y de color similar al diente natural, como las resinas y los ionómeros de vidrio, la amalgama dental aún permanece como material válido para la obturación de dientes posteriores (molares y premolares).

Es así que en el actual ejercicio odontológico con amalgama dental, aún pueden presentarse condiciones desfavorables que incrementen el riesgo de contaminación por mercurio, como por ejemplo altas temperaturas, derrames accidentales de mercurio,

ausencia de implementos de seguridad, entre otros. Es por ello que el monitoreo y la evaluación del operar de las entidades odontológicas, considerando prácticas y condiciones ambientales y locativas, entre otros, cobran relevancia dentro de la gestión del ejercicio odontológico. Esto debido a que hace viable deducir qué tanto puede estarse previniendo la contaminación por mercurio en cada entidad o grupo de entidades, e identificar oportunidades de mejora que propendan por la seguridad y la salud ocupacional del personal laboralmente expuesto.

Sumado a esta necesidad, el referencial teórico contemplado (véase sección “Revisión de literatura”) evidenció la oportunidad de hacer contribuciones académicas al tema, en el sentido de que no se encontró una herramienta de evaluación que considere el operar de la entidad odontológica para deducir, bajo métodos reproducibles y abiertos al escrutinio, el nivel de prevención de contaminación por mercurio en este tipo de organizaciones.

Como respuesta a lo anterior, el objetivo del estudio fue el diseño de un modelo multicriterio para evaluar dicho nivel de prevención de contaminación por mercurio en el ámbito de interés, delimitado a los factores: condiciones ambientales, manejo de residuos y derrames, condiciones locativas, manejo de la amalgama, y uso de implementos de seguridad, los que son considerados como factores potenciales de riesgo, tanto a nivel de la literatura consultada [2-7] como de la normatividad colombiana [8-9].

REVISIÓN DE LITERATURA

La revisión de la literatura contempló artículos, informes de caso, protocolos, manuales y guías procedimentales. En la Tabla 1 se presenta un extracto de los hallazgos recopilados.

Tabla 1. Estudios sobre exposición ocupacional al mercurio en entidades odontológicas.

| Estudio | Tipología | Métodos | Variables | Resultados |
|---------|---|---|--|---|
| [5 y 6] | Descriptivo. | Recolección de datos en campo mediante encuestas personalizadas y formularios de observación. | Condiciones locativas y ambientales. | Necesidad de emprender acciones integrales que disminuyan el peligro de contaminación con mercurio. |
| [7] | Descriptivo. | Recolección de datos en campo mediante encuestas personalizadas y formularios de observación. | Manejo del mercurio, manejo de la amalgama y condiciones locativas. | Necesidad de implementar un programa de prevención de riesgos laborales en el relacionado con el manejo del mercurio y la amalgama. |
| [10] | Epidemiológico. | Recolección y análisis de muestras biológicas y ambientales de mercurio. | Concentraciones biológicas de mercurio en sangre, orina, cabello y uñas, y concentración ambiental de vapores de mercurio. | Personas con valores biológicos por encima del umbral, por lo que entraron a tratamiento y seguimiento clínico de desintoxicación, y la implementación de medidas de higiene y seguridad industrial. Pese al tratamiento, aún se encontraban trabajadores con niveles por encima del umbral. |
| [11] | Epidemiológico. | Modelo de vigilancia epidemiológica. | Concentración ambiental y biológica (orina, cabello y uñas) de mercurio. | Desconocimiento de los riesgos laborales respecto del mercurio; preparación de la amalgama mediante la manipulación del mercurio y no mediante el uso de cápsulas predosificadas; condiciones ambientales no propicias, como el calor y la poca ventilación; se desechan los residuos de amalgama de manera inadecuada. |
| [12] | Observacional descriptivo de corte transversal. | Recolección y análisis de muestras biológicas y ambientales de mercurio. | Concentraciones ambientales y biológicas (orina y cabello) de mercurio. | Los resultados se relacionaron con las condiciones de proceso que favorecen la contaminación, y las condiciones físicas y locativas. Se requiere una educación continuada sobre el tema del mercurio como parte del programa de vigilancia epidemiológica. La disposición final de los desechos mercuriales es incorrecta. No hay conocimiento básico sobre los efectos nocivos del mercurio. No hay una actitud preventiva sobre el uso de los implementos de seguridad. |
| [13] | Epidemiológico. | Recolección de muestras biológicas y análisis de mercurio por técnica espectrofotométrica. | Concentración de mercurio en orina. | Correlación significativa entre el tiempo de exposición a vapores de mercurio, los niveles de mercurio ambiental, las tasas urinarias y el riesgo clínico. |

Sigue...

Continuación Tabla 1. Estudios sobre exposición ocupacional al mercurio en entidades odontológicas.

| Estudio | Tipología | Métodos | Variables | Resultados |
|---------|-----------------------------------|---|---|---|
| [14] | Descriptivo. | Recolección de muestras biológicas y análisis de mercurio por Absorción Atómica. | Concentración de mercurio en orina. | Disminución de la contaminación por mercurio gracias a la implementación de buenas prácticas. |
| [15] | Epidemiológico. | Aplicación de encuesta personalizada, y toma y análisis de mercurio en muestra de cabello por método espectrométrico. | Concentración de mercurio en cabello. | El manejo y uso apropiado de la amalgama no altera el nivel de mercurio presente en el cabello del personal. |
| [16] | Descriptivo de corte transversal. | Recolección y análisis de muestras ambientales de mercurio por espectrofotometría de absorción atómica. | Sitio de atención, niveles de mercurio en ambiente, escupidera y mesón de trabajo, temperatura ambiente, existencia de extractores y ventilación. | Existe desconocimiento del peligro a nivel laboral y ambiental en la utilización de las amalgamas dentales, y los profesionales del área de odontología no reciben educación ni capacitación sobre la temática. |

Puede verse que en la revisión literaria llevada a cabo, ninguno de los estudios abordó el diseño de un modelo, de base cuantitativa, que permitiese evaluar el nivel de prevención de contaminación por mercurio en las entidades odontológicas, incorporando un tratamiento multicriterio asociado al uso de prácticas y condiciones que ameritan el monitoreo y el control. Más aún, en una exploración del tema, realizada en Scopus el 10 de mayo de 2014, el algoritmo TITLE-ABS-KEY(“dental amalgam”) arrojó 8.548 registros, en tanto que al condicionarlo con análisis multi-criterio no se encontraron resultados. Luego, al flexibilizar el algoritmo (solo a “amalgama”) y adicionarle términos de análisis multicriterio: TITLE-ABS-KEY(“amalgam”) AND TITLE-ABS-KEY (multicriteria OR “multi-criteria” OR “multi criteria”) arrojó dos documentos [17-18]. El primero, aportando a la formalización de técnicas para la selección de materiales o combinación de ellos, mediante el uso de procesos de análisis multicriterio y, el segundo, orientado hacia un modelo de decisiones de inversión en campos hidrológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de [5-6] se identificaron las prácticas con amalgama más comunes en las entidades odontológicas del departamento de Antioquia. Los

citados trabajos consideraron una muestra de estudio de 107 entidades odontológicas del departamento, que representa el 85% de la población de referencia. Apoyados también en la literatura ya descrita, se extrajeron variables comunes respecto de la potencial prevención de la contaminación por mercurio, las que se exponen en la Tabla 2.

Luego, mediante el método de análisis AHP (Analytic Hierarchy Process) se procedió a integrar, en un modelo jerárquico, las variables ya mencionadas. Estas se denominaron subcriterios, los que fueron agrupados en criterios según la relación entre ellos. Asimismo, a los subcriterios les fueron asignadas características que se establecieron a partir de las categorías de respuesta encontradas en las entidades odontológicas del departamento de Antioquia [5, 7].

Los pesos de cada criterio, subcriterio y características se asignaron mediante el método de comparaciones pareadas y la escala de Saaty, considerando la evaluación de importancia dada por el equipo investigador (experiencia y revisión de literatura), el cual integra disciplinas de: odontología, administración de empresas, ingeniería industrial, ingeniería metalúrgica y administración en salud. Esto llevó a discusiones y reflexiones sobre las puntuaciones por asignar bajo la escala de Saaty, fijándose como criterio de

Tabla 2. Variables para la prevención de contaminación por mercurio.

| Variable | Definición |
|--|--|
| Características del piso, paredes y zócalo. | Condiciones físicas del consultorio odontológico relativas al material de fabricación del piso, las paredes y el zócalo, y al diseño de este último, con el fin de prevenir la acumulación de mercurio y facilitar su limpieza y eliminación. |
| Condiciones de manejo de los residuos de amalgama y mercurio. | Condiciones físicas relativas al recipiente de recolección y almacenamiento temporal de los residuos de amalgama y mercurio (desechos generados por una nueva restauración o por la extracción de una restauración ya existente en boca), con el fin de prevenir la generación de vapores de mercurio, ya sea por derrames accidentales, fugas o exposición directa al ambiente. |
| Frecuencia de uso de los implementos de bioseguridad. | Periodicidad con la cual se utiliza la indumentaria específica que actúa como barrera física entre el factor de riesgo y la persona laboralmente expuesta, con el fin de prevenir que esta última se vea afectada adversamente en su salud. |
| Fuentes de calor cercanas al mercurio. | Focos generadores de calor cercanos al sitio de almacenamiento del mercurio y residuos con mercurio, los que elevan la temperatura de este último, lo que puede propiciar la generación de vapores tóxicos de mercurio. |
| Modalidad de trituración. | Procedimiento manual o mecánico para mezclar (amalgamar o triturar) la aleación para amalgama y el mercurio con el fin de obtener la amalgama dental. |
| Presentación comercial de aleación para amalgama dental. | Forma física relativa a la aleación para amalgama dental, definida por el fabricante del producto y suministrada por este, que determina la modalidad de trituración mediante la cual se va a preparar la amalgama para que pueda ser usada en el paciente. |
| Protocolo para la atención de derrames accidentales de mercurio. | Procedimiento específico, preciso y ordenado que establece las acciones a seguir con el fin de atender adecuada y oportunamente derrames accidentales de mercurio. |
| Temperatura ambiente del sitio de trabajo. | Magnitud escalar referida al nivel de calor en el ambiente del sitio donde se trabaja con la amalgama. |
| Tipo de ventilación del sitio de trabajo. | Mecanismo de remoción, natural o forzada, del aire del sitio de trabajo, con el fin de generar renovación del mismo y así impedir la acumulación de vapores de mercurio. |

finalización el evento de consenso del equipo en todos los criterios, subcriterios y características. En la Tabla 3 se detalla dicha escala [19] y en la Tabla 4 se muestra su uso bajo el método de comparaciones pareadas, aplicadas al subcriterio “modalidad de trituración”.

A modo de ejemplo, vale mencionar que en la comparación N° 1 se consideró que la característica “amalgamador de mezcla interna” tiene una “fuerte importancia” sobre la característica “manual”, por tal motivo, a la primera se le asignó un valor de 5 (véase Tabla 4), mientras que a la segunda un valor de 1. Este mismo procedimiento se aplicó para los demás criterios, subcriterios y características.

En la Tabla 5 se plasma la estructura del modelo jerárquico para cuantificar el nivel de prevención

de contaminación por mercurio en las entidades odontológicas del departamento de Antioquia. El resultado global, a partir de dicha estructura, depende del resultado en los criterios y estos, a su vez, dependen del resultado en los subcriterios que los componen y así sucesivamente.

La modelación que representa la estructura de evaluación multicriterio se presenta a continuación:

Sea:

PC_{xM} : Puntaje asociado al nivel de prevención de la contaminación por mercurio. Esta variable puede indexarse en uno o más de los siguientes índices: i -ésima entidad odontológica, j -ésimo criterio ($j=1, \dots, 5$), k -ésimo subcriterio perteneciente al criterio j ($k: 1, \dots, ns_j$; número de subcriterios que conforman el criterio j).

Tabla 3. Escala de Saaty [19].

| Escala numérica | Escala verbal | Explicación |
|-----------------|--|---|
| 1 | Ambos elementos son de igual importancia | Ambos elementos contribuyen con la propiedad de igual forma |
| 3 | Moderada importancia de un elemento sobre otro | La experiencia y el juicio favorece a un elemento por encima del otro |
| 5 | Fuerte importancia de un elemento sobre otro | Un elemento es fuertemente favorecido |
| 7 | Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro | Un elemento es muy fuertemente dominante |
| 9 | Extrema importancia de un elemento sobre otro | Un elemento es favorecido por lo menos con un orden de magnitud de diferencia |

Tabla 4. Ejemplo de comparaciones pareadas para el subcriterio “modalidad de trituración” utilizando la escala de Saaty.

| Subcriterio | Características | Comparación N° | | | Total | Peso |
|--------------------------|--------------------------------------|----------------|---|---|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| Modalidad de trituración | Manual | 1 | 1 | | 2 | 0,091 |
| | Amalgamador de mezcla interna | 5 | | 1 | 6 | 0,273 |
| | Amalgamador de cápsula predosificada | | 9 | 5 | 14 | 0,636 |

Tabla 5. Pesos de los criterios, subcriterios y características.

| Criterios | Peso | Subcriterios | Peso | Características | Peso | |
|--|-------|---|-------|--|--|-------|
| Condiciones ambientales | 0,061 | Tipo de ventilación | 0,643 | Ventilador | 0,083 | |
| | | | | Aire acondicionado | 0,250 | |
| | | | | Natural (sola o combinada) | 0,667 | |
| | | Temperatura ambiente | 0,071 | | Alta (> 24 °C) | 0,091 |
| | | | | | Normal (18 - 24 °C) | 0,273 |
| | | | | | Baja (< 18 °C) | 0,636 |
| | | Fuentes de calor cercanas al mercurio | 0,286 | | Autoclave u otra fuente de alta temperatura | 0,091 |
| | | | | | Lámpara de fotocurado, esterilizador u otra fuente de mediana o baja temperatura | 0,182 |
| | | | | | Ninguna | 0,727 |
| Condiciones de manejo de residuos y derrames | 0,212 | Manejo de residuos de amalgama y mercurio | 0,900 | Recipiente en seco | 0,091 | |
| | | | | Recipiente con flor de azufre, líquido de rayos X u otro líquido | 0,273 | |
| | | | | Recipiente con aceite mineral o glicerina | 0,636 | |
| | | Tratamiento de derrames de mercurio | 0,100 | | Ninguno | 0,091 |
| | | | | | Arrastre manual o flor de azufre | 0,273 |
| | | | | | Succión con gotero o similar | 0,636 |

sigue...

Continuación Tabla 5. Pesos de los criterios, subcriterios y características.

| Crterios | Peso | Subcriterios | Peso | Características | Peso | |
|-------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|--|-------|
| Condiciones locativas | 0,303 | Material del piso | 0,396 | Granito rústico solo o combinado | 0,083 | |
| | | | | Polímero, cemento | 0,250 | |
| | | | | Baldosa, cerámica, mármol | 0,667 | |
| | | Material de las paredes | 0,062 | | Papel, madera, tela solos o combinados | 0,083 |
| | | | | | Combinación de revoque/pintura, cerámica/baldosín y/o vidrio | 0,333 |
| | | | | | Revoque/pintura o cerámica/baldosín | 0,583 |
| | | Diseño del zócalo | 0,396 | | No existe | 0,083 |
| | | | | | Recto parcial o totalmente | 0,250 |
| | | | | | Redondeado (en media caña) en su totalidad | 0,667 |
| | | Material del zócalo | 0,146 | | Madera y/o granito rústico | 0,083 |
| | | | | | Polímero, cemento/revoque solos o combinados | 0,334 |
| | | | | | Baldosa, cerámica | 0,583 |
| Manejo de la amalgama | 0,151 | Modalidad de trituración | 0,500 | Manual | 0,091 | |
| | | | | Amalgamador de mezcla interna | 0,273 | |
| | | | | Amalgamador de cápsula predosificada | 0,636 | |
| | | Presentación comercial de amalgama | 0,500 | | Polvo/tableta + Hg dosificado manualmente | 0,091 |
| | | | | | Polvo/tableta + Hg predosificado | 0,364 |
| | | | | | Cápsula predosificada | 0,545 |
| Uso de los implementos de seguridad | 0,273 | Frecuencia de uso de los guantes | 0,341 | Nunca o casi nunca | 0,083 | |
| | | | | A veces | 0,250 | |
| | | | | Casi siempre o siempre | 0,667 | |
| | | Frecuencia de uso de la mascarilla | 0,415 | | Nunca o casi nunca | 0,083 |
| | | | | | A veces | 0,250 |
| | | | | | Casi siempre o siempre | 0,667 |
| | | Frecuencia de uso de la careta/gafas | 0,146 | | Nunca o casi nunca | 0,083 |
| | | | | | A veces | 0,250 |
| | | | | | Casi siempre o siempre | 0,667 |
| | | Frecuencia de uso del gorro | 0,049 | | Nunca o casi nunca | 0,083 |
| | | | | | A veces | 0,250 |
| | | | | | Casi siempre o siempre | 0,667 |
| | | Frecuencia de uso de la bata | 0,049 | | Nunca o casi nunca | 0,083 |
| | | | | | A veces | 0,250 |
| | | | | | Casi siempre o siempre | 0,667 |

I: Importancia relativa, indexada para todo criterio j y subcriterio k adscrito en j .

$PCxM_{\max}$: Puntaje máximo que puede obtener cualquier entidad en cuanto al nivel de prevención de la contaminación por mercurio. Pueden indexarse en j y k . (Ej: $PCxM_{jk\max}$ representa el puntaje máximo que, en el k -ésimo subcriterio del criterio j , puede obtener cualquier entidad respecto del nivel de prevención de la contaminación por mercurio).
 $PCxM_{\min}$: Puntaje mínimo que puede obtener cualquier entidad en cuanto al nivel de prevención de la contaminación por mercurio. También indexado en j y k .

$pCMP$: Porcentaje de cumplimiento de mejores prácticas de prevención de la contaminación por mercurio. Aplica tanto para la entidad (i) como para el criterio (j).

Con base en lo anterior, el puntaje asociado a dicho nivel de prevención de la i -ésima entidad puede expresarse como en (1):

$$PCxM_i = \sum_{j=1}^5 PCxM_{ij} \times I_j, \quad \forall i \quad (1)$$

Donde:

$$PCxM_{ij} = \sum_{k=1}^{ns_j} PCxM_{ijk} \times I_{jk}, \quad \forall i, j \quad (2)$$

$PCxM_{ijk}$ resulta de valorar las diferentes características en cada subcriterio, correspondiéndole un valor puntual normalizado, obtenido mediante comparaciones pareadas empleando la escala de Saaty (Véase el ejemplo de la Tabla 4, columna “peso”).

Haciendo énfasis en el cumplimiento de las mejores prácticas por parte de una entidad determinada (i), lo que presenta una medida en porcentaje (%) para una mejor interpretación de los resultados, su cálculo está dado por la ecuación (3).

$$pCMP_i = \frac{PCxM_i}{PCxM_{\max}} \times 100\%, \quad \forall i \quad (3)$$

La ecuación (3), a su vez, permite deducir la brecha frente al cumplimiento de mejores prácticas (BCMP), calculada como el complemento de $pCMP$. Ambos indicadores también pueden indexarse en cada criterio j .

A partir de lo expuesto, se proponen cinco niveles de prevención de contaminación por mercurio (NPCxM) en las entidades odontológicas: incipiente, básico, moderado, consolidando y maduro (Tabla 6).

Los rangos de dichos niveles tienen la misma amplitud (∇N) y el cálculo de esta se presenta en la ecuación (4).

$$\nabla N = \frac{(PCxM_{\max} - PCxM_{\min})}{5} \quad (4)$$

Tabla 6. Niveles de prevención de contaminación por mercurio.

| Nivel | Definición |
|--------------|--|
| Incipiente | Nivel en el cual una entidad apenas está comenzando a implementar las mejores prácticas que contribuyen a la prevención de la contaminación por mercurio. |
| Básico | Nivel donde una entidad ya tiene implementadas algunas prácticas, pero aún es necesario implementar o mejorar la mayoría de ellas. |
| Moderado | Hace referencia a un nivel medio de prevención, donde pudiera haber un número significativo de las mejores prácticas ya implementadas, pero también una cantidad similar de prácticas por implementar o por mejorar. |
| Consolidando | En este nivel la entidad presenta un alto grado de implementación de las mejores prácticas que contribuyen a la prevención de la contaminación por mercurio, sin embargo, se presentan prácticas que aún es necesario mejorar. |
| Maduro | Es el nivel superior en la implementación de las mejores prácticas, aunque aún puede haber muy pocas prácticas por mejorar. La entidad debe mantener en el tiempo las mejores prácticas ya implementadas. |

La deducción de los rangos para los cinco niveles de prevención, se exponen en (5).

Lo anterior también aplica para cada criterio, por lo que basta con indexar, en j, a cada uno de los siguientes elementos: $\nabla N, NPCxM, PCxM_{max}$ y $PCxM_{min}$.

A partir de las ecuaciones expuestas, en la Tabla 7 se presentan los parámetros para cada nivel de prevención de contaminación por mercurio. Así, por ejemplo para el caso global, el nivel moderado tiene un porcentaje de cumplimiento de mejores prácticas (pCMP) desde (47,8%-65,2%).

$$NPCxM_i = \begin{cases} \text{"incipiente"} & PCxM_i \leq PCxM_{min} + \nabla N \\ \text{"básico"} & PCxM_{min} + \nabla N < PCxM_i \leq PCxM_{min} + 2 \times \nabla N \\ \text{"moderado"} & PCxM_{min} + 2 \times \nabla N < PCxM_i \leq PCxM_{min} + 3 \times \nabla N \\ \text{"consolidando"} & PCxM_{min} + 3 \times \nabla N < PCxM_i \leq PCxM_{min} + 4 \times \nabla N \\ \text{"maduro"} & PCxM_{min} + 4 \times \nabla N < PCxM_i \leq PCxM_{max} \end{cases} \quad (5)$$

Tabla 7. Regiones para los niveles de prevención de contaminación por mercurio.

| A nivel global | | | | | | Mín. | Máx. | ∇N |
|----------------|------------|--------|----------|--------------|--------|-------|-------|------------|
| pCMP | 30,4% | 47,8% | 65,2% | 82,6% | 100% | 0,084 | 0,648 | 0,1127 |
| NPCxM | Incipiente | Básico | Moderado | Consolidando | Maduro | | | |
| PCxM | 0,1966 | 0,3093 | 0,4221 | 0,5348 | 0,6476 | | | |

| Niveles en cuanto a condiciones ambientales | | | | | | Mín. | Máx. | ∇N_1 |
|---|------------|--------|----------|--------------|--------|-------|-------|--------------|
| pCMP | 29,8% | 47,3% | 64,9% | 82,4% | 100% | 0,084 | 0,685 | 0,1203 |
| NPCxM | Incipiente | Básico | Moderado | Consolidando | Maduro | | | |
| PCxM | 0,2039 | 0,3242 | 0,4444 | 0,5647 | 0,6850 | | | |

| Niveles en cuanto al manejo de residuos y derrames | | | | | | Mín. | Máx. | ∇N_2 |
|--|------------|--------|----------|--------------|--------|-------|-------|--------------|
| pCMP | 31,3% | 48,4% | 65,6% | 82,8% | 100% | 0,090 | 0,640 | 0,1100 |
| NPCxM | Incipiente | Básico | Moderado | Consolidando | Maduro | | | |
| PCxM | 0,2000 | 0,3100 | 0,4200 | 0,5300 | 0,6400 | | | |

| Niveles en cuanto a condiciones locativas | | | | | | Mín. | Máx. | ∇N_3 |
|---|------------|--------|----------|--------------|--------|-------|-------|--------------|
| pCMP | 29,8% | 47,4% | 64,9% | 82,5% | 100% | 0,080 | 0,651 | 0,1143 |
| NPCxM | Incipiente | Básico | Moderado | Consolidando | Maduro | | | |
| PCxM | 0,1943 | 0,3085 | 0,4228 | 0,5370 | 0,6513 | | | |

| Niveles en cuanto al manejo de la amalgama | | | | | | Mín. | Máx. | ∇N_4 |
|--|------------|--------|----------|--------------|--------|-------|-------|--------------|
| pCMP | 32,1% | 49,1% | 66,1% | 83,0% | 100% | 0,090 | 0,595 | 0,1010 |
| NPCxM | Incipiente | Básico | Moderado | Consolidando | Maduro | | | |
| PCxM | 0,1910 | 0,2920 | 0,3930 | 0,4940 | 0,5950 | | | |

| Niveles en cuanto al uso de implementos de seguridad | | | | | | Mín. | Máx. | ∇N_5 |
|--|------------|--------|----------|--------------|--------|-------|-------|--------------|
| pCMP | 29,6% | 47,2% | 64,8% | 82,4% | 100% | 0,080 | 0,670 | 0,1180 |
| NPCxM | Incipiente | Básico | Moderado | Consolidando | Maduro | | | |
| PCxM | 0,1980 | 0,3160 | 0,4340 | 0,5520 | 0,6700 | | | |

Posterior a ello, se procedió con la automatización de las ecuaciones, haciendo uso de *VB for Applications* (Macros, Excel). El modelo automatizado fue aplicado sobre 87 de las 107 entidades de salud oral que usan amalgama dental en el departamento de Antioquia, utilizando los mismos datos recopilados en la investigación de [5-6] con el fin de evaluar el nivel de prevención de contaminación por mercurio en dichas entidades y recopilar una base comparativa para futuras evaluaciones. La elección de las 87 instituciones se debió a que presentaron la información completa para poder procesarse bajo el modelo. Estas estuvieron distribuidas así: oriente (24,1%), Magdalena Medio y Nordeste (17,2%), Urabá (13,8%), Suroeste (12,6%), Occidente (9,2%) y Valle de Aburrá (1,1%). Los resultados, luego de aplicar el modelo, fueron procesados mediante el *software* Statgraphics 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación global de la prevención de contaminación por mercurio

Recuérdese que la evaluación global se debe a una estructura jerárquica, en la que las valoraciones de las entidades en cada criterio del modelo se combinan para arrojar una medida que brinde una comprensión general del objeto de estudio (Tabla 5).

Al aplicar el modelo de evaluación multicriterio sobre las 87 entidades del departamento de Antioquia, en cuanto a la valoración global se encontró que solo el 47,1% de ellas se ubica en el nivel de madurez. Las restantes se distribuyeron entre los niveles consolidando (43,7%) y moderado (9,2%). Las 87 entidades arrojaron, en promedio, un puntaje de prevención de riesgo de contaminación por mercurio (PCxM) de 0,52, lo cual se ubica en el nivel “consolidando” (Tabla 7), bajo un porcentaje de cumplimiento de mejores prácticas (pCMP)

del 80,4%. Lo anterior deduce que, en cuanto a la valoración global, aún hay una brecha del 19,6% por saldar, respecto del cumplimiento de las mejores prácticas sometidas a ensayo.

En la Tabla 8 se presentan estadísticas descriptivas para la variable porcentaje de cumplimiento de mejores prácticas (pCMP), según cada nivel de prevención.

En la Figura 1 a pesar de que solo el 9,2% de las entidades se ubicó en el nivel moderado, su brecha media frente al cumplimiento de mejores prácticas de prevención es elevada (40,5%).

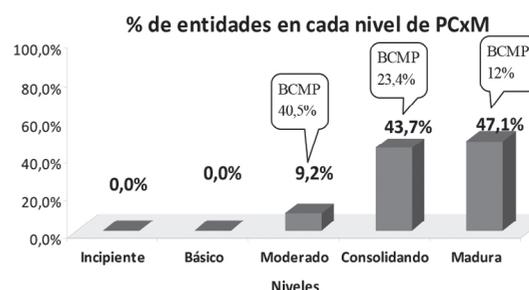


Figura 1. Porcentaje de entidades en cada nivel y BCMP.

Asimismo, en la Figura 1 se muestra que respecto de los otros dos niveles en los que, de manera global, se ubicaron las demás entidades del Departamento de Antioquia, también se deducen oportunidades de mejoramiento: consolidando (43,7% de las entidades y BCMP media de 23,4%) y maduro (47,1% de las entidades y BCMP media de 12%).

Nótese, entonces, la importancia de combinar el análisis del nivel en que se ubican las entidades, pero también, lo que ocurre en cada uno de ellos (pCMP o brechas). Explorando los anteriores indicadores pero esta vez según zona, los resultados se plasman en la Tabla 9.

Tabla 8. Estadísticas para pCMP según nivel de prevención.

| Nivel | Frecuencia | pCMP media | Desviación | BCMP media |
|--------------|------------|------------|------------|------------|
| Moderado | 8 | 59,5% | 5,2% | 40,5% |
| Consolidando | 38 | 76,6% | 4,6% | 23,4% |
| Maduro | 41 | 88% | 3,4% | 12,0% |
| Global | 87 | 80,4% | 9,5% | 19,6% |

Tabla 9. Estadísticas para pCMP según nivel zona.

| Zonas de Antioquia | Frecuencia | Nivel global | pCMP media | Desviación | BCMP media |
|----------------------------|------------|--------------|------------|------------|------------|
| Bajo Cauca | 9 | Consolidando | 76,5% | 11,9% | 23,5% |
| Magdalena Medio y Nordeste | 15 | Consolidando | 79,0% | 7,5% | 21,0% |
| Norte | 10 | Maduro | 83,0% | 10,0% | 17,0% |
| Occidente | 8 | Maduro | 85,3% | 5,2% | 14,7% |
| Oriente | 21 | Consolidando | 78,4% | 9,3% | 21,6% |
| Suroeste | 11 | Consolidando | 77,7% | 11,6% | 22,3% |
| Urabá | 12 | Maduro | 86,9% | 5,2% | 13,1% |

Cabe notar que no se presentó la distribución para la zona del valle de Aburra, debido a que solo una entidad se ubicó allí; esta arrojó un nivel moderado con una brecha del 38%.

Explorando la distribución de las entidades en cada nivel según la zona geográfica, en la Figura 2 se exponen los resultados, pero además, junto a cada nivel se indican las brechas frente al cumplimiento de mejores prácticas (BCMP) encerradas en óvalos.

Al analizar la distribución de las entidades en los niveles de prevención de contaminación por mercurio según zona geográfica, se evidencia que Urabá es la zona con mayor porcentaje de entidades ubicadas en el nivel maduro (83,3%), en tanto que en las demás zonas el porcentaje de entidades con madurez en el tema no superó el 62,5%. Se resalta que las zonas Oriente, Suroeste y Magdalena Medio y Nordeste no excedieron el 36% de entidades en cuanto al nivel de madurez, pero llama más la atención que Bajo Cauca (33%) y Suroeste (18%) arrojaron los más altos porcentajes de entidades en el menor nivel de prevención encontrado en las valoraciones globales (moderado).

En todas las zonas, el análisis de las brechas (BCMP) evidencia oportunidades de mejoramiento en cada uno de los niveles, teniendo valores que van desde el 10,3% hasta 52% en brechas frente al cumplimiento cabal de las mejores prácticas de prevención de riesgo de contaminación por mercurio.

Evaluación de la prevención de contaminación por mercurio en los criterios

En la Figura 3 se presentan los resultados de la evaluación de las 87 entidades en cada uno de los criterios del modelo, detallando el porcentaje de estas

en cada nivel de prevención. Allí, puede verse que en los criterios *condiciones ambientales*, *manejo de amalgama* y *condiciones locativas* se encuentran los menores porcentajes de entidades con un nivel maduro, con valores desde 40% hasta 55%. Es decir, prácticamente la mitad de las entidades objeto de estudio no reúne las condiciones para considerarse madura en cuanto a la prevención de contaminación por mercurio en los tres citados criterios. Asimismo, se destacan la prevención de derrames y el uso de implementos de seguridad como criterios en los que la mayoría de las entidades (85-92%) satisfacen las prácticas sometidas a ensayo. Véase además, en la Tabla 10, las brechas frente al cumplimiento de mejores prácticas de prevención (BCMP) para cada criterio y nivel.

Nótese que la criticidad de los tres criterios antes mencionados, que quedaron con menor porcentaje de entidades en el nivel maduro (véase Figura 2), puede ser estudiada más a fondo por medio de las brechas frente al cumplimiento de prácticas de prevención, para una mejor toma de decisiones. Así, se destaca que en el criterio *condiciones ambientales*, el que tiene una brecha media de 27%, 12 de las 87 entidades presentan brechas medias superiores al 65%; lo que infiere escaso cumplimiento de las mejores prácticas sometidas a ensayo. Precisamente, vale anotar que en [5], delimitado a entidades “grandes” del valle de Aburra, reportaron temperaturas elevadas que potencian el riesgo de contaminación por mercurio.

La misma situación crítica se observa en el criterio *manejo de la amalgama*, en el que 23 de las 87 entidades no supera el nivel incipiente en prevención y arrojan, en promedio, una brecha elevada frente al cumplimiento de las mejores prácticas (70%). Según [7], el 40% de las entidades odontológicas

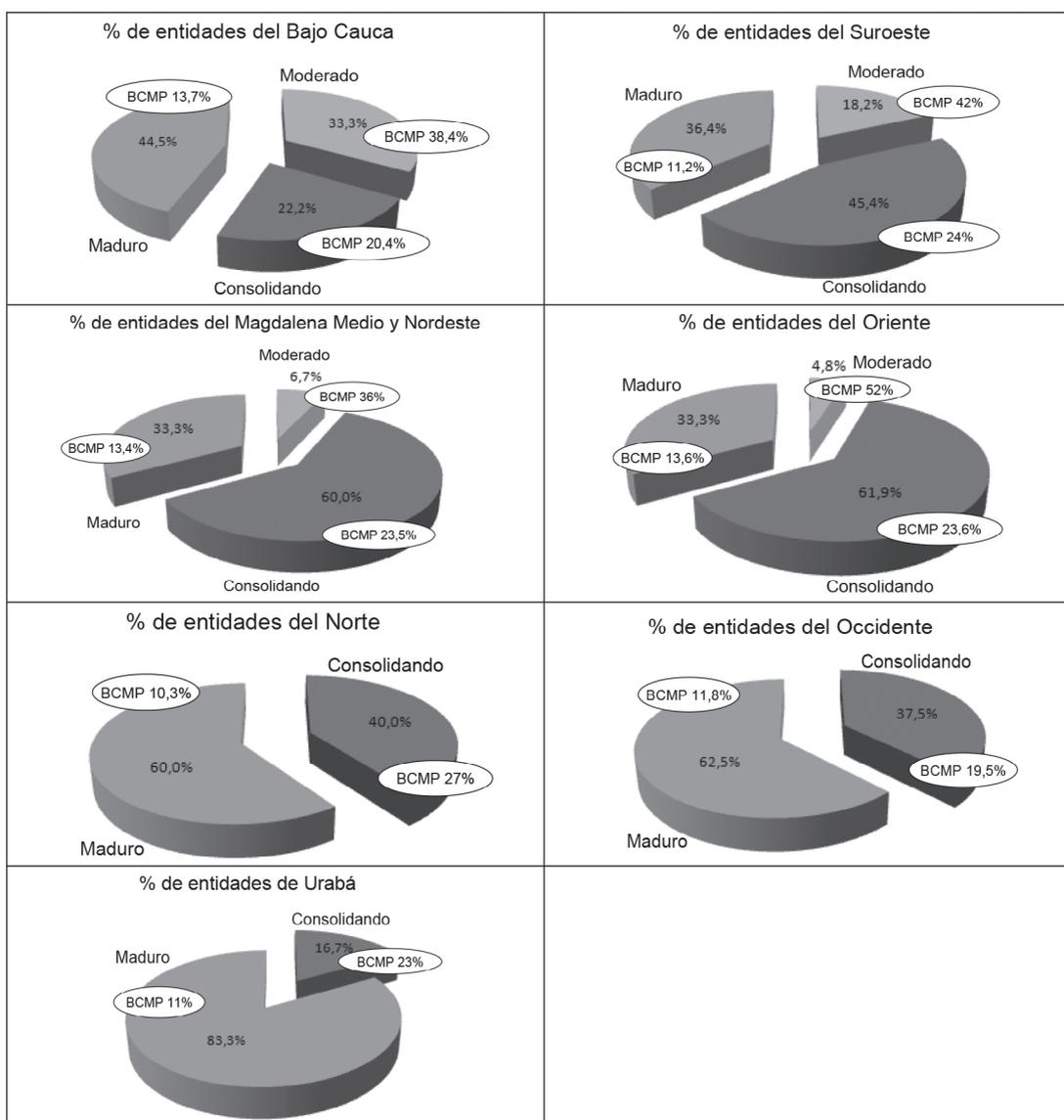


Figura 2. Distribución de las entidades en los niveles de PCxM en las zonas.

Tabla 10. BCMP en cada criterio según nivel de prevención.

| Niveles | Cond. Ambientales | | Manejo residuos | | Cond. locativas | | Manejo amalgama | | Implementos seguridad | |
|--------------|-------------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------------|------------|
| | Ent | BCMP media | Ent | BCMP media | Ent | BCMP media | Ent | BCMP media | Ent | BCMP media |
| Incipiente | 3 | 72% | 2 | 83% | 2 | 73% | 23 | 70% | 2 | 73% |
| Básico | 9 | 66% | 5 | 59% | --- | --- | 1 | 62% | 4 | 57% |
| Moderado | 21 | 45% | --- | --- | 24 | 40% | 22 | 45% | 5 | 42% |
| Consolidando | 15 | 29% | --- | --- | 13 | 26% | 6 | 31% | 2 | 28% |
| Maduro | 39 | 5% | 80 | 6% | 48 | 11% | 35 | 8% | 74 | 7% |
| Global | 87 | 27% | 87 | 11% | 87 | 23% | 87 | 36% | 87 | 13% |

Ent: cantidad de entidades; BCMP: brecha cumplimiento mejores prácticas de prevención de contaminación por mercurio

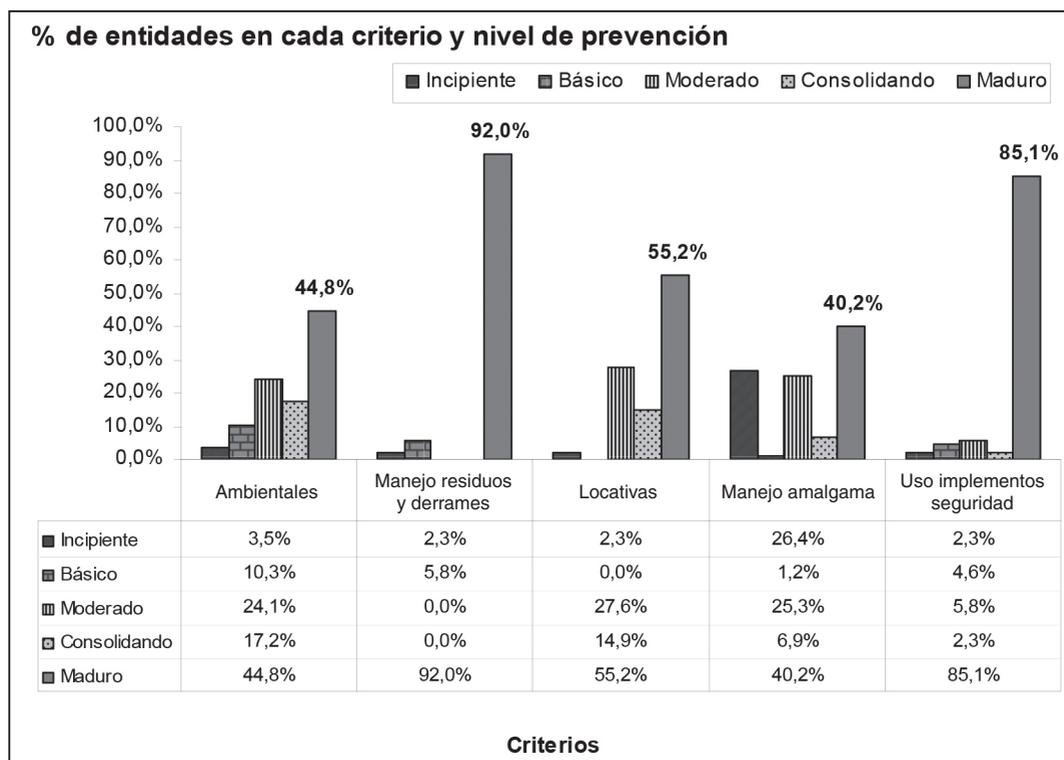


Figura 3. Distribución de las entidades en cada nivel según el criterio.

pequeñas y medianas del departamento de Antioquia utilizan la presentación comercial menos indicada, polvo-pastilla más mercurio dosificado; de estas, el 95% la preparan con amalgamador de mezcla interna, sobresaliendo las entidades oficiales con el 61% de este último grupo.

Respecto de las condiciones locativas, si bien la situación no se muestra igual de crítica que para el manejo de la amalgama y condiciones ambientales, no deja de alarmar que dos de las entidades de prueba se ubiquen en nivel incipiente, con una brecha media del 73%, y que 24 entidades más no superen el nivel moderado, con brecha media de 40%.

A pesar de que para los criterios manejo de residuos y uso de implementos de seguridad la situación no se muestra tan crítica como en los demás, puesto que la mayoría de las entidades presentan madurez en el tema, no deja de alertar que existan entidades en niveles incipiente y básico, distando del cumplimiento cabal de mejores prácticas en porcentajes que van desde 57% hasta 83%. Llama la atención que a pesar de tratarse de profesionales en el ejercicio

odontológico, el uso de los implementos de seguridad aún muestre que un 15% de las entidades no llega al nivel de madurez en tal criterio.

Los bajos niveles de prevención deducidos para los criterios expuestos pueden estar relacionados con la ausencia de conocimiento básico en cuanto a los riesgos de exposición al mercurio, identificada en estudios como [11-12, 16]. Por ello, diversos autores advierten sobre la necesidad de programas de prevención de riesgos laborales en relación con el mercurio y la amalgama dental [5-7].

Nótese, con lo anterior, las posibilidades que ofrece el modelo para no solo tener una visión global del fenómeno abordado, sino también de estudiar sus componentes y la contribución de cada uno de ellos a la valoración global, permitiendo mezclar análisis cuantitativos y categóricos para una mejor comprensión y toma de decisiones. Esto es coherente con conclusiones como las de [19], que en otro ámbito de aplicación evidencia, con el uso del análisis multicriterio, la posibilidad de analizar la contribución de las componentes al fenómeno de

interés, obtener una síntesis del problema, estudiarlo de manera sistemática y apoyar la toma de decisiones.

Utilidad del modelo en posteriores evaluaciones

El aplicativo desarrollado, que automatiza el modelo de cuantificación del nivel de prevención de contaminación por mercurio, ofrece la posibilidad de obtener los resultados individuales para una entidad determinada, pero también permite que esta se compare con el grupo de las 87 entidades que sirvieron como referentes de la población en Antioquia. Esto se logra con solo especificar las prácticas que posee la entidad por evaluar, con ayuda de los formularios expuestos en la Figura 4.

Luego de ingresar la información indicada, viene entonces la interfaz de resultados individuales de

la entidad, tal como se ilustra en la Figura 5. Allí se presentan los puntajes (PCxM), el porcentaje de cumplimiento de mejores prácticas de prevención de contaminación por mercurio (pCMP) y los niveles (incipiente, básico, moderado, consolidando, maduro) apoyados en colores como medio de gerencia visual. Nótese, además, la inclusión de una gráfica radar para facilitar la identificación de la distribución del pCMP alrededor de los criterios del modelo.

Respecto de la comparación con el grupo de entidades del departamento de Antioquia, el aplicativo ofrece la posibilidad de contrastar el puntaje de la entidad específica (pCxM) y el porcentaje de cumplimiento de mejores prácticas de prevención (pCMP) contra el primer, el segundo y el tercer cuartil arrojados por el grupo de comparación. Así, por ejemplo, ilustrando

Figura 4. Formularios de ingreso de datos sobre las prácticas y condiciones de la entidad.

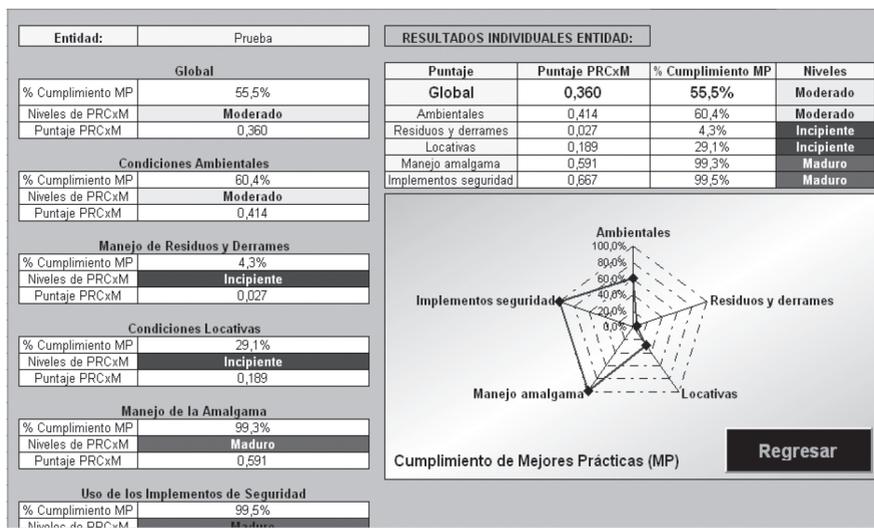


Figura 5. Interfaz de resultados individuales para la entidad por evaluar.

para una entidad llamada “prueba”, en la Figura 6, Tabla superior izquierda, se nota que obtuvo un puntaje (PCxM) de 0,360, y que los cuartiles Q1, Q2 y Q3 a nivel del grupo de entidades de Antioquia fueron 0,486, 0,530 y 0,566 respectivamente, lo que da a entender que en cuanto a la prevención por mercurio la entidad “prueba” está muy por debajo de la mayoría de entidades del departamento. Esto también se apoya en el porcentaje de cumplimiento de mejores prácticas y en el nivel de prevención.

Asimismo, en la parte superior derecha de la Figura 6 hay una gráfica que ilustra lo anterior de manera más asertiva, facilitando la identificación del lugar que ocupa la entidad sometida a ensayo frente al grupo de comparación. Esa misma Figura contiene, en la

parte inferior izquierda, una gráfica de líneas, que muestra el pCMP de la entidad de interés y de los subgrupos que conforman los cuartiles 1-3, según cada criterio incorporado en el modelo.

Considere, entonces, las posibilidades comparativas que se le ofrece al usuario con la interfaz expuesta en la Figura 6. Además de lo expuesto, el aplicativo brinda la posibilidad de realizar análisis comparativos con un enfoque categórico, con base en la distribución de las entidades en cada nivel de prevención de contaminación por mercurio, según se muestra en la Figura 7.

Así, por ejemplo, en la parte superior de la Figura 7 se presenta el nivel en que se ubicó la entidad de

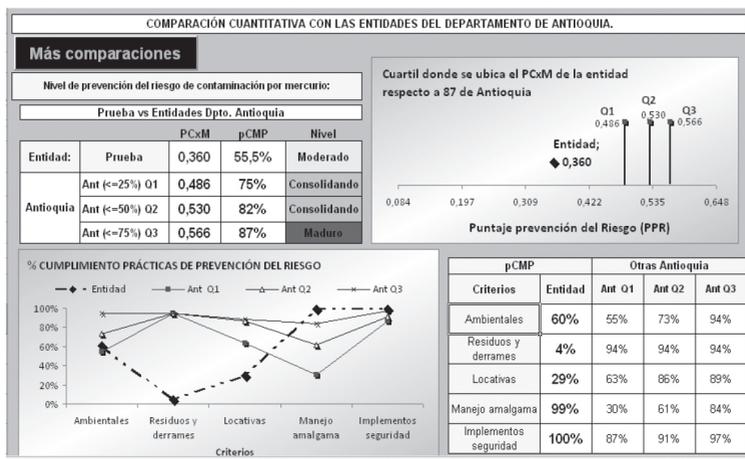


Figura 6. Interfaz de resultados comparativos, de tipo cuantitativo, entre la entidad por evaluar y el grupo de las 87 entidades del departamento de Antioquia.

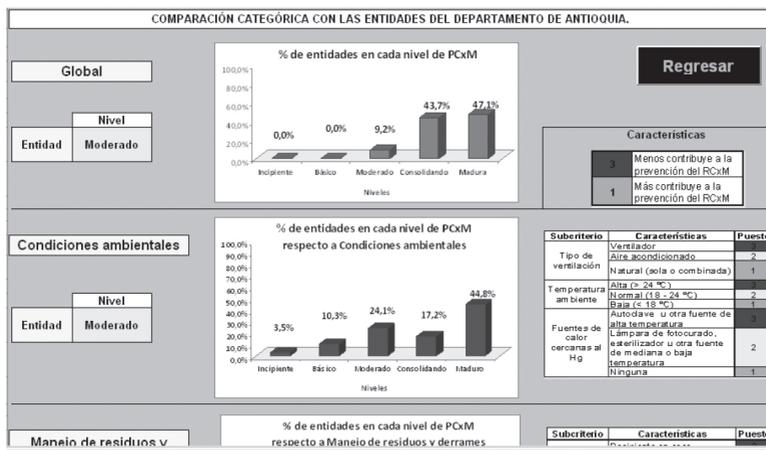


Figura 7. Interfaz de resultados comparativos, de tipo categórico, entre la entidad por evaluar y el grupo de las 87 entidades del departamento de Antioquia.

prueba, pero también el porcentaje de las 87 entidades del grupo del departamento de Antioquia en cada nivel de prevención.

A medida que el usuario lleva la barra de desplazamiento vertical hacia abajo, va encontrando esta misma posibilidad comparativa, pero para cada criterio de interés. Por ejemplo, en la Figura 7 se muestra que en condiciones ambientales la entidad de prueba se ubicó en un nivel moderado, perteneciendo así al subgrupo de tan solo el 24,1% de las entidades del departamento que arrojaron este nivel.

Además, al lado derecho de dicha figura se plasma una tabla que detalla los subcriterios de cada criterio evaluado (ej., en condiciones ambientales son: tipo de ventilación, temperatura ambiente y fuentes de calor cercanas al Hg) y sus posibles categorías de respuesta acompañadas de gerencia visual para reconocer lo favorable y lo desfavorable.

CONCLUSIONES

Pese a la normatividad vigente en Colombia y las recomendaciones de higiene mercurial que han hecho organismos internacionales, aún persisten, en las entidades de salud de Antioquia, prácticas inadecuadas, a mayor o menor grado, asociadas al manejo del mercurio y la amalgama en odontología. El modelo de evaluación multicriterio construido permitió explorar el estado de las entidades de salud oral del departamento de Antioquia en cuanto al nivel global de prevención de contaminación por mercurio en la práctica con amalgama dental. De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, el modelo se convierte en una propuesta que permite vincular las principales variables que contribuyen a la prevención de contaminación por mercurio asociado al uso de la amalgama dental, evaluarlas e identificar, a partir de allí, oportunidades de mejoramiento en la calidad de la prestación del servicio de salud oral.

El uso y profundización en el presente modelo facilita la comprensión global del nivel de prevención objeto de estudio, así como representarlo mediante sus componentes (criterios, subcriterios, características), permitiendo valorar el nivel de prevención de contaminación por mercurio e identificar las brechas existentes frente a mejores prácticas en el uso de la amalgama dental.

Más que concluir sobre resultados específicos de las entidades odontológicas, el presente trabajo debe tomarse como un posible modelo, simple y flexible, por medio del cual pueden incorporarse nuevos criterios y asignarse nuevos pesos basados, por ejemplo, en un amplio grupo de expertos en cuanto a regulaciones y normativa asociada a la prevención de contaminación por mercurio. Esto posibilitaría el uso práctico en las entidades de salud oral, así como por las entidades de vigilancia y control en procesos de habilitación, vigilancia epidemiológica y auditoría, arrojando resultados que pudieran alimentar indicadores de gestión para la toma de decisiones e identificar oportunidades de mejoramiento en la gestión de la calidad en la prestación de los servicios de salud oral. En principio el modelo sería aplicable a las entidades de salud oral de Antioquia, sin embargo, la estructura y sus métodos bien pueden ser extrapolados hacia otros ámbitos geográficos o servicios, adaptándolos a las condiciones ambientales, sociales, tecnológicas y normativas de cada contexto.

DESAFÍOS FUTUROS

Se abren posibilidades de incorporar otras variables que puedan influir en la prevención del riesgo de contaminación por mercurio, no necesariamente tangibles, sino también de la gestión. Asimismo, para el uso del modelo se precisa de la conformación de un grupo más numeroso de expertos, donde se vincule la posición de la academia (salud, ingeniería, etc.), los organismos reguladores y las mismas entidades, para valorar la contribución de cada característica del modelo, permitiendo así un consenso de mayor alcance. Se abren oportunidades a nivel de los métodos empleados, en el sentido de que, por ejemplo, la lógica difusa puede aportar en el tratamiento de los niveles de prevención. Esto, junto con el estudio de posibles relaciones no lineales, que consideren los efectos moderadores de las componentes del modelo.

REFERENCIAS

- [1] K. Anusavice. "Ciencia de los Materiales Dentales de Phillips". McGraw-Hill Interamericana. México. 1998.
- [2] ADA Council on Scientific Affairs. "Dental Mercury Hygiene Recommendations". JADA. Vol. 134, pp. 1498-1499. 2003.

- [3] M. Davis. "A Review of the ADA Mercury Hygiene Recommendations". *Dentistry Today*, pp. 86-91. 2003.
- [4] M. Martín, C. Naleway and H.N. Chou. "Factors Contributing to Mercury Exposure in Dentists". *JADA*. Vol. 126, pp. 1502-1511. 1995.
- [5] J. Ruiz, G. Gómez, C. Durán, V. Villa, L. Zapata, C. Parra, J. Pérez y R. Carmona. "Contribución de las Condiciones Locativas y Ambientales al Riesgo de Contaminación con Mercurio en las Entidades Odontológicas de Antioquia". *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Vol. 26 N° 2, pp. 164-168. 2008.
- [6] J. Ruiz, J. Pérez, G. Gómez, M. Carmona, L. Zapata y R. Carmona. "Riesgo en el Manejo de la Amalgama Dental en las Entidades Odontológicas Medianas y Pequeñas en el Departamento de Antioquia, Colombia". *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Vol. 27 N° 2, pp. 187-197. 2009.
- [7] J. Ruiz, C. Parra, Sánchez, J. Escobar, M. Correa y B. Ortiz. "Manejo de la Amalgama Dental en Consultorios Odontológicos Pequeños y Medianos de Medellín, Itagüí, Envigado, Sabaneta y Bello". *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Vol. 23 N° 1, pp. 59-69. 2005.
- [8] Ministerio de Salud y Ministerio del Medio Ambiente. "Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares". Colombia. 2002.
- [9] Ministerio de Salud. Resolución 4445 de 1996. Colombia. Art. 25, 26. 1996.
- [10] H. Pulido. "Contaminación Laboral por Mercurio en Personal Odontológico. Instituto de Seguros Sociales Seccional Antioquia y Universidad de Antioquia Centro de Investigaciones Ambientales". Medellín, Colombia. 1983.
- [11] M. Vargas. "Exposición Ocupacional a Mercurio en Personal de la Facultad de Odontología Universidad de Antioquia y Programa de Vigilancia Epidemiológica". Facultad de Odontología. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 1990.
- [12] R. Correa. "Determinación de Mercurio y Prevalencia de Intoxicación en Trabajadores de Salud Oral en Metrosalud". Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 1994.
- [13] E. Nadorfy y M. Méndez. "Estudio Epidemiológico de una Población de Higienistas Dentales Expuestas a Contaminación Ambiental por Vapores de Mercurio". *Acta Odontológica Venezolana*. Vol. 38 N° 3. 2000.
- [14] J. Escobar, C. Escobar, K. Colimon y M. Molano. "Diagnóstico de los Niveles de Mercurio en Empleados y Estudiantes de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia, 1999". *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*. Vol. 12 N° 2, pp. 7-12. 2001.
- [15] S. Bello, M. Rodríguez, D. Fernández, A. Vásquez, A.M. Ocando, J.R. Contreras y V.A. Granadillo. "Niveles de Mercurio en Cabello de Individuos Expuestos Ocupacionalmente en el Área Odontológica". *Acta Odontológica Venezolana*. Vol. 40 N° 2, pp. 123-128. 2002.
- [16] A. Arrázola. "Determinación de los Niveles de Mercurio en el Aire de Consultorios y Clínicas Odontológicas en Cartagena, Colombia". Universidad Nacional de Colombia y Universidad de Cartagena. Bogotá, Colombia. 2011.
- [17] A. Jahan and K. Edwards. "Weighting of dependent and target-based criteria for optimal decision-making in materials selection process: Biomedical applications". *Materials and Design*. Vol. 49, pp. 1000-1008. 2013.
- [18] J. Huisman, J. Rings, J. Vrugt, J. Sorg and H. Vereecken. "Hydraulic properties of a model dike from coupled Bayesian and multi-criteria hydrogeophysical inversion". *Journal of Hydrology*. Vol. 380, Issue 1-2, pp. 62-73. 2010.
- [19] R. Ávila. "El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su Aplicación para Determinar los Usos de las Tierras. El Caso de Brasil". Informe técnico. Proyecto Regional Información sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible (Proyecto Gcp / Rla / 126 / Jpn). Santiago, Chile. 2000.