

EL PELO COMO MATRIZ TOXICOLÓGICA

HAIR AS A TOXICOLOGICAL SAMPLE

Esparza López J.
Farmacéutico.
España.

Correspondencia: julioesp93@gmail.com

Resumen: La determinación de drogas de abuso en pelo es hoy en día una técnica habitual implantada en los laboratorios de toxicología forense, ya que presenta varias ventajas para la determinación frente a otras matrices. Es una matriz biológica alternativa fácil de obtener, difícil adulteración, que no necesita condiciones especiales de conservación y, además, permite demostrar consumos anteriores a la toma de muestra. Puede presentar complicaciones debidas a los diferentes tratamientos que se realizan sobre el pelo y por tanto dar lugar a valores anormales a los reales. Su sensibilidad y precisión hacen que esta matriz pueda en un futuro ser muy importante a la hora de la determinación de las diferentes drogas, aunque los métodos analíticos no están aún estandarizados por lo que la interpretación de resultados debe ser la correcta y tener en cuenta las limitaciones que esta muestra biológica presenta.

Palabras clave: pelo, drogas de abuso, análisis

Abstract: The determination of drugs of abuse in hair is now a routine technique in forensic toxicology laboratories; it has several advantages for the determination against other biological sample. It is an alternative biological sample that is, easily obtained, difficult to adulterate, does not require special storage conditions, and, furthermore, allows showing consumption prior to sampling. It possible gets wrong results with the different hair treatments. Its sensitivity and precision make this matrix have a very important future, although the analytical methods are not yet standardized; therefore, a correct interpretation of results must be performed, and the limitations of this biological sample must be taken into account.

Keywords: hair, abuse drugs, analysis.

INTRODUCCIÓN

El pelo es una parte muy compleja de nuestra anatomía, se forma en el folículo piloso y en un adulto se estima que hay unos 5 millones de folículos, de los que un millón están en la cabeza(1).

Las primeras aplicaciones del pelo como matriz biológica para el estudio toxicológico datan de 1858, cuando Casper publica un artículo sobre el hallazgo de arsénico en un cadáver exhumado 11 años después de su muerte. También es muy conocido el caso de Napoleón a quien se le encontró arsénico y otros compuestos 125 años después de su muerte(2); en el cabello de Beethoven se encontró plomo cuando había transcurrido un tiempo largo desde su fallecimiento(2).

El pelo es un anexo de la piel característico de los mamíferos, que está formado fundamentalmente por proteínas (65-95%, mayoritariamente queratina), agua (15-35%), lípidos (1-9%) y minerales (< 1%)(3). Constituido por una serie de células superpuestas que forman la cutícula y células corticales que forman la corteza, en cuyo centro, las células condensadas forman la médula(4).

La estructura básica común varía en función de la zona anatómica donde se localiza el pelo, lo que origina diferentes tipos según su distribución por el cuerpo humano. Estos tipos de pelo se diferencian en su longitud, textura, diámetro y forma, y se clasifican como vello, pelo intermedio y pelo terminal. El pelo terminal es grueso, largo y pigmentado, y crece en el cuero cabelludo, barba, pestañas, cejas, axilas y zona púbica. El pelo intermedio se caracteriza por tener una longitud y diámetro intermedios, y crece en brazos y piernas. El vello es muy fino, corto, no pigmentado y de pequeño diámetro. Este tipo de pelo se encuentra localizado en aquellas zonas que aparentemente se encuentran sin pelo, como los párpados, la frente o el cuero cabelludo sin pelo(3).

El crecimiento del pelo es asíncrono y se alternan períodos de crecimiento activo y de reposo. El ciclo en los seres humanos empieza con la fase anágena, de crecimiento, durante la que se desarrolla el folículo y se forma el pelo y cuya

duración es muy diferente, oscilando entre 7 y 94 semanas, aunque en algunos casos se puede prolongar durante varios años, dependiendo de la zona anatómica(1). Después de este periodo, el folículo entra en una fase relativamente corta de transición, conocida como fase catágena, que dura aproximadamente dos semanas, durante las cuales cesa la actividad folicular, la papila dérmica se retrae y el folículo empieza a degenerarse; así se llega a la fase última, de reposo, llamada telógena, que dura unas 10 semanas, el crecimiento cesa completamente y el pelo se cae y así comienza un nuevo ciclo. En el cuero cabelludo de un adulto aproximadamente el 85% de los cabellos se encuentran en la fase de crecimiento y el 15% en la fase de reposo(1).

EL PELO COMO MATRIZ TOXICOLOGICA

La investigación toxicológica de drogas de abuso en distintas matrices biológicas ha sido siempre objeto de estudio y se ha desarrollado enormemente en los últimos años(4). El análisis de pelo es una importante herramienta en el campo de la Toxicología, tanto clínica como forense, debido a sus características diferenciadoras en relación con las demás muestras disponibles(3).

Las muestras biológicas más empleadas para evaluar la presencia de drogas de abuso han sido tradicionalmente sangre, orina y otros fluidos corporales. Mientras el análisis de sangre sólo permite extrapolar los valores de drogas existentes en el momento en que se recogieron las muestras, es decir poco tiempo después de su administración, en el análisis de orina las cantidades encontradas no se correlacionan necesariamente con el estado clínico del sujeto, pues al ser el riñón una de las vías de eliminación, las drogas se pueden acumular en ella(5).

El análisis de otras matrices no convencionales como pelos y uñas establecería el conocimiento de una drogadicción durante largos periodos de tiempo hasta un consumo crónico(2).

Otras características y ventajas del pelo, si se compara con la sangre y la orina, son por un lado la posibilidad de establecer un perfil cronológico del consumo de drogas, es decir, conocer si el consumo disminuye, aumenta o cesa durante un período de tiempo que sólo depende de la longitud del mechón; y por otro lado, el pelo nos permite conocer la asiduidad en el consumo de drogas(1).

Este tipo de análisis tiene un gran interés en la resolución de casos forenses donde el cabello es el único espécimen obtenido de un cadáver, debido a factores externos donde no se han podido obtener, debido al estado de putrefacción, otras matrices biológicas(2). También puede proporcionar información útil, por ejemplo, en situaciones de conducción bajo el efecto de las drogas, renovaciones de licencias, evaluación de cumplimiento con terapia de sustitución de drogas para documentar abuso de alcohol(2). Otros casos de análisis de drogas en pelo en el ámbito de la Toxicología Forense se utilizan en forma rutinaria, en casos de divorcio y de custodia de hijos(2), en cadáveres en avanzado estado de putrefacción para establecer consumo de drogas previo a su muerte(2), en casos de agresiones sexuales o crímenes provocados por sumisión química(3), control de sustancias dopantes (de forma rutinaria en orina)(3).

DETECCIÓN DE DROGAS EN EL PELO

Cualquier compuesto puede encontrarse en el pelo siempre que se utilice el método analítico adecuado para cada uno de ellos. El cabello tiene diferentes afinidades y capacidades de unión para las diferentes drogas, con mecanismos únicos de unión para cada tipo, su afinidad depende de los factores (pKa, estructura, tamaño, lipofilia, capacidad de unión a proteínas y melanina) que afectan a la incorporación(2). Los medicamentos básicos, como las anfetaminas y la cocaína, se incorporan en el cabello en mayor medida que las drogas neutras o ácidas y, en consecuencia, están presentes en concentraciones más altas en el cabello en comparación con benzodiazepinas y cannabinoides(6).

1. INCORPORACIÓN DE LA DROGA AL PELO

Toda droga, medicamento o tóxico que ingresa al organismo siguiendo la vía oral, endovenosa, intramuscular, anal, vaginal, subcutánea, inhalatoria, es llevada por la corriente sanguínea al folículo piloso, uniéndose a la matriz queratínica del pelo acompañando a este en su crecimiento permaneciendo en él en tanto no se corte(5). Conociendo que el crecimiento aproximado del mismo es de 1cm por mes es posible, realizando la segmentación del mismo desde la raíz hasta las puntas, conocer el período durante el cual se ha producido la incorporación de la droga. Este cálculo se realiza con las limitaciones que se deben al crecimiento irregular del pelo que varía desde 0.7 a 1.5cm dependiendo de las condiciones individuales(5). Varios factores afectan el crecimiento del cabello, incluida la edad, la etapa de desarrollo, sexo, embarazo, trastornos metabólicos y genéticos y la nutrición. El crecimiento del cabello es un proceso cíclico impulsado por cambios en la actividad de la citoquina que da como resultado la presencia en el cuerpo de pelo en varias etapas de crecimiento(7).

La incorporación de las diferentes drogas y fármacos al pelo puede ser explicada a través de un modelo complejo, en el que se acepta la existencia de tres mecanismos distintos que influyen en la incorporación, estos mecanismos son:

1. Incorporación desde la sangre que nutre la papila dérmica hacia el interior de la fibra capilar en crecimiento. La papila dérmica es un tejido con una alta proliferación celular y, por tanto, se encuentra altamente irrigado, de forma que las drogas presentes en la sangre difunden, fundamentalmente por difusión pasiva, a través de la membrana celular, incorporando las drogas presentes en la sangre al interior de los queratinocitos y melanocitos en formación(3).

2. Incorporación desde el sudor y las secreciones sebáceas que bañan el pelo durante su formación. Debido a que el pelo es muy poroso, puede aumentar hasta un 18% de su peso al absorber líquidos y, por tanto, las sustancias presentes en el sudor y en las secreciones sebáceas pueden ser transferidas hacia el pelo y retenidas en él. La diferencia de pH existente entre el sudor y la sangre (5,8 y 7,4 respectivamente), favorece la difusión pasiva de las moléculas básicas no ionizadas desde la sangre hacia el sudor donde se ionizan, impidiendo su difusión de nuevo hacia la sangre(3).

3. Exposición pasiva a las drogas que se encuentran en el ambiente. Esta exposición puede llevarse a cabo a través de la suspensión de las drogas en el ambiente, del humo producido al fumarlas, del contacto con las manos contaminadas, etc. Como el pelo es una matriz porosa, si se ve expuesto a ambientes con elevadas concentraciones de contaminantes, éstos pueden incorporarse a sus capas más externas. Las proporciones entre los compuestos y sus metabolitos suelen presentar unos valores diferentes en casos de consumo activo o consumo pasivo y, por tanto, si ha existido incorporación desde la sangre(3).

2. PROTOCOLO GENERAL DE DETECCIÓN DE DROGAS

Los laboratorios deben ser capaces de detectar cada vez un mayor número de sustancias diferentes y usar métodos de detección e identificación rápidos, además de fiables y específicos(8).

Los requerimientos analíticos para la determinación de drogas de abuso en muestras de pelo son sensibilidad, especificidad y ausencia de efectos matriz(9).

La toma de muestra de pelo debe ser realizada por personal debidamente entrenado. Deben ser obtenidas en un ambiente no contaminado por otras drogas, debiéndose coleccionar una cantidad suficiente de muestra tal que la misma permita repetir los análisis en caso de ser necesario(10).

En el año 2012 la Society of Hair Testing (SoHT) estableció una guía de buenas prácticas para aquellos laboratorios que realizasen análisis toxicológicos de pelo(11). Ya con anterioridad la propia SoHT, así como varios autores, habían publicado artículos y guías con sugerencias sobre el correcto tratamiento de las muestras de pelo y diversas consideraciones sobre su análisis(12). La necesidad de estas guías se debe a que el análisis de una muestra de pelo requiere, a diferencia de otras matrices biológicas, un proceso de pretratamiento de la muestra muy complejo, incluyendo una

correcta toma de muestra, una serie de medidas destinadas a la minimización de la posible contaminación externa, una adecuada extracción de los analitos incorporados en la matriz sólida y el uso de métodos instrumentales suficientemente sensibles para conseguir detectar y cuantificar correctamente las bajas concentraciones de analitos encontradas en esta matriz(3).

De forma genérica, los pasos necesarios para el análisis toxicológico del pelo son:

1. Recogida de la muestra y almacenamiento.
2. Segmentación del mechón.
3. Eliminación de la contaminación externa.
4. Procesos de purificación.
5. Extracción de los analitos de la matriz.
6. Análisis instrumental.

2.1. Recogida de la muestra y almacenamiento

La recogida de muestras de pelo puede realizarse de diferentes regiones anatómicas como el cuero cabelludo, pubis, axila, o cualquier otra zona corporal con pelo. Estos se pueden dividir en 3 tipos:

1. Pelo de la barba, crece 0.27mm por día(5).
2. Vello púbico y axilar, crece 0.25mm por día(5).
3. Pelo capilar: es el más útil por su crecimiento regular de 0.33 a 0.60mm por día(5).

Sin embargo, siempre que esté disponible, se seleccionará preferentemente el cabello como la muestra de elección para el análisis rutinario de drogas, alcohol o medicamentos. La recogida del cabello debe realizarse en la parte posterior de la cabeza conocida como vértex posterior, debido a que es en esta zona donde existe menor variabilidad tanto entre el ratio de crecimiento de los folículos pilosos, como por razones de edad o sexo, y por tanto, la muestra obtenida en esta zona es más reproducible(3)(11). Se debe recolectar la mayor cantidad posible de folículos en la fase anágena, ya que la papila está en estrecho contacto con el resto del organismo, a través de la circulación sanguínea, linfa y fluido extracelular(13). En general, se recomienda un mechón del diámetro de un lápiz(3). Por último, es recomendable realizar un segundo análisis de confirmación sobre el mechón de cabello cuando los resultados de la primera son positivos, para corroborar el resultado del primer análisis(11).

El pelo no requiere condiciones especiales de almacenamiento. Las muestras deben ser conservadas a temperatura ambiente, introducidas simplemente en un sobre de papel, en papel de aluminio, o bien en un tubo de cristal o plástico, indicando donde se encuentra la raíz y donde la punta, por si se quiere realizar a posteriori un estudio secuencial del consumo de una droga a lo largo del tiempo. Es aconsejable almacenarlas en un lugar seco y oscuro, evitando la luz directa del sol, y no es recomendable guardarlas en la nevera o el congelador(3).

2.2. Segmentación del mechón

Dependiendo del tipo de caso, se pueden seguir diferentes estrategias para la segmentación. Se pueden cortar segmentos medidos de entre 10 y 30 mm, seguidas en algunos casos por acción mecánica como trituración o pulverización(14), para proporcionar un historial más detallado sobre el perfil de la exposición a la droga de un individuo. La precisión del análisis segmentario depende tanto del muestreo como del procedimiento de segmentación en el laboratorio. Además, las concentraciones de drogas en el pelo pueden disminuir desde la raíz hasta el extremo distal, a través del lavado. Solo cabello cortado del cuero cabelludo y alineado con el extremo de la raíz identificado debe de estar sujeto a análisis segmental(11).

2.3. Eliminación de la contaminación externa

El cabello es propenso a la contaminación de drogas ilícitas que depende de la disponibilidad del fármaco en forma de polvos y de cómo se administran y consumen(6).

La contaminación externa se compone de una combinación de contaminantes de origen exógeno y contaminantes de origen endógeno que recubren la parte externa de la fibra pilosa(3). El cabello expuesto a sangre u orina que contiene drogas puede provocar contaminación a lo largo de toda la longitud de la fibra capilar. Se ha propuesto que la contaminación externa de estos fluidos se puede demostrar por la presencia de concentraciones de fármaco similares en múltiples segmentos del cabello(6). La eliminación de esta contaminación externa es un paso previo a realizar antes de cualquier análisis de pelo, tanto para evitar resultados falsos positivos por la posible existencia de contaminantes exógenos, como para evitar interferencias en la interpretación de los resultados que puedan causar los contaminantes endógenos. En la práctica, no es posible diferenciar entre ambos componentes de la contaminación externa(11).

La eliminación de la contaminación externa se realiza mediante la aplicación de lavados sucesivos en el mechón de pelo o segmento con uno o varios disolventes durante un tiempo determinado. Una vez eliminada la contaminación externa es importante comprobar que el método de lavado ha sido efectivo y la concentración encontrada se corresponde con la cantidad de droga que había sido incorporada en el interior del pelo desde la sangre(3).

2.4. Tratamiento preliminar de las muestras

La muestra de pelo debe ser sometida a un tratamiento preliminar de la matriz sólida que permita ponerla en las condiciones apropiadas para su posterior extracción.

En el procesamiento del pelo, previo a la extracción se incluye un primer paso de homogenización de la muestra y un segundo paso mediante la solubilización de los analitos con un disolvente que penetre en el interior de la fibra pilosa, o mediante la digestión de la matriz del pelo(11).

2.5. Extracción de los analitos de la matriz

La muestra obtenida debe ser sometida a un proceso de extracción que elimine los interferentes y concentre las sustancias para su posterior análisis. El proceso de extracción es similar al que se emplea para la determinación de drogas en sangre u orina. Los métodos más empleados para este fin son la extracción líquido-líquido (LLE) y la extracción en fase sólida (SPE). La selectividad del proceso afecta al resultado final del análisis, ya que una técnica selectiva proporciona extractos más limpios, aumentando la detectabilidad de los compuestos(3). Generalmente, los métodos SPE son los más usados debido a que producen extractos más limpios, tienen una mayor selectividad y reproducibilidad, y evitan la formación de emulsiones, comparados con los métodos de LLE(3). La eficacia de la extracción dependerá de diversos factores como son: el estado de conservación de la matriz, la estructura química de los analitos, la polaridad del disolvente empleado, y la duración y forma de extracción(15).

2.6. Análisis instrumental

El análisis de pelo requiere el empleo de técnicas instrumentales que permitan determinar las sustancias de manera inequívoca, cuantificarlas con una adecuada precisión y exactitud, y con suficiente sensibilidad para alcanzar concentraciones en el rango de los picogramos por miligramo de pelo(3). Por ello, las dos metodologías de elección en el análisis cuantitativo de pelo son la cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas y la cromatografía líquida acoplada a la espectrometría de masas en tándem. Sin embargo, es frecuente el uso de técnicas inmunoquímicas como método de barrido o screening aunque suelen ser muy sensibles pero poco específicos(3). La mayoría de los métodos utilizados en el análisis del pelo emplean la espectrometría de masas como sistema de detección, ya que presenta un alto grado de sensibilidad y fiabilidad. Sin embargo, las sustancias poco volátiles o con baja estabilidad térmica presentan

serias dificultades para su análisis mediante esta técnica, y requieren procedimientos de derivatización para mejorar sus características cromatográficas, proporcionarles mayor volatilidad y estabilidad térmica(3).

3. LIMITES ESTABLECIDOS EN LAS DIFERENTES DROGAS

Se han establecido límites de corte, a partir de los cuales un resultado debe considerarse positivo para los diferentes tipos de drogas(11).

Estos límites de corte son estadísticamente determinados y proporcionan un compromiso óptimo de sensibilidad y especificidad(11).

Ha sido difícil establecer estos intervalos de concentración de referencia debido a la variación natural de la composición del cabello según la edad, sexo, color de pelo, origen étnico y geográfico, factores dietéticos, etc.(13)

4. VENTAJAS Y LIMITACIONES

4.1. Ventajas

El análisis del pelo presenta varias ventajas, particularmente cuando uno compara sus características con aquellas características de otros especímenes biológicos(2).

1. Inalterabilidad de los resultados. Se ha demostrado que el pelo es el único espécimen biológico que puede almacenarse por tiempo indeterminado sin sufrir alteraciones si se conserva adecuadamente(1)(2).

2. El análisis del cabello es aún más fácil porque el analito generalmente está presente en una concentración más alta en el cabello que en la sangre y la orina.(13)

3. El pelo se recoge de forma casi no invasiva, sin necesidad de agujas ni supervisión por personal especializado, esto hace que la prueba sea más soportable para el donante(9).

4. Mayor duración de las drogas en el tiempo(2).

5. Es difícilmente manipulable por el donante después de su recolección(9).

6. Utilizando cálculos retrospectivos; es posible conocer el consumo de una droga a lo largo del tiempo basándose en su crecimiento regular. El dato obtenido es bastante aproximado sobre todo cuando no se conoce con exactitud el crecimiento del mismo(2).

7. Gran estabilidad de las distintas sustancias en esta matriz queratínica, lo que conlleva que estos análisis proporcionen información sobre periodos de tiempo muy prolongados(16).

4.2. Limitaciones

1. Incertidumbre respecto a los mecanismos de incorporación de oligoelementos en el pelo y la falta de correlación entre su concentración en los órganos internos y el cabello son todavía razones para dudar de los resultados del análisis capilar(13).

2. La recogida de las muestras debe ser muy rigurosa para evitar contaminación externa(5).

3. La posibilidad de dar un falso positivo por contaminación externa siempre existe si el proceso de lavado de la muestra no ha sido suficientemente riguroso(5).

4. La muestra debe ir acompañada de la máxima información posible, incluyendo datos de la historia clínica, el propósito de la investigación, sospecha de drogas y tiempo de consumo, etc(5).

5. Se ha demostrado en sucesivas ocasiones que la correlación existente entre dosis consumida y concentración detectada es limitada debido a las diferencias interindividuales que existen en relación con los procesos metabólicos y picos plasmáticos, así como de la propia incorporación de las drogas en el pelo, su pigmentación y su estado físico(5).

6. Mechones de pelo de menos de 1cm no dan resultados seguros y precisos(16).

7. Los análisis de cabellos no permiten determinar el grado de dependencia de las drogas de abuso de un individuo(16).

8. El cabello es una matriz muy compleja y como tal, su procesamiento analítico a menudo es laborioso y lleva mucho tiempo(8).

9. No permite establecer si una persona ha consumido drogas un día en concreto(16).

10. La contaminación externa "endógena" causada por el sudor y el sebo es difícil de eliminar.(17)

5. PROBLEMAS EN EL ANÁLISIS DE PELO

5.1. Efecto de la variabilidad interindividual en la velocidad de crecimiento del pelo

La velocidad de crecimiento del pelo presenta una variación interindividual que afecta a la interpretación de los resultados analíticos obtenidos al realizar análisis retrospectivo del consumo, especialmente, en el análisis segmental de las muestras de pelo(3). Además, también varía en función del origen anatómico de la muestra, siendo el cabello de la zona del vértex posterior el que presenta una mayor velocidad en comparación con otras localizaciones anatómicas como pubis, axila, brazos y piernas(10). También los metales Zn, Ni y Sr resultaron ser específicos de género para discriminar a hombres y mujeres, donde se encontraron concentraciones más altas de Zn, Ni y Sr en el cabello de las adolescentes(13).

El cabello de los niños es más fino y más poroso en comparación con el adulto (mayor riesgo de contaminación por sudor y elementos ambientales en comparación con los adultos)(18).

5.2. Efecto del color del pelo

Debido a los mayores niveles de melanina en los pelos oscuros, el pelo pigmentado tiene una mayor afinidad por esta unión, y por tanto el pelo de color oscuro presentará mayores concentraciones de estas sustancias que el pelo claro(3). Sin embargo, este efecto de variación en la incorporación de las sustancias en función del color de pelo está altamente influenciado por la basicidad de las moléculas que se incorporan, y se ha observado que en las sustancias no básicas este efecto no se aprecia(3).

5.3. Efecto de tratamientos cosméticos

Tratamientos cosméticos como tintes, mechas o permanentes causan un daño en la fibra capilar, aumentan su porosidad y eliminan parte o la totalidad del pigmento natural del pelo, lo que provoca una disminución de las concentraciones de drogas y/o fármacos incorporados en el interior de la fibra capilar, y puede alterar las relaciones entre el principio activo y sus metabolitos por hidrólisis de los mismos(19). Por ello cada vez que se vaya a analizar un mechón, tienen que reflejarse en el informe los tratamientos cosméticos que ha sufrido(3).

La pronunciada disminución en las concentraciones de las sustancias incorporadas en este cabello puede atribuirse al uso de tratamientos cosméticos más agresivos (como las mechas), que producen una mayor disminución en las concentraciones que otros tratamientos menos agresivos como el tinte(19). Estos tratamientos hacen que el pelo de mayor antigüedad sufra más daño y aumente su porosidad, lo que facilita la eliminación de las sustancias incorporadas a su interior(1).

PERSPECTIVAS DE FUTURO

Muchos laboratorios forenses usan el análisis de pelo para demostrar la exposición a drogas, principalmente debido a las ventajas que presenta respecto a la sangre y la orina. Las características que presenta el pelo las hacen muy valiosas en ciertos escenarios donde las otras matrices biológicas serían inadecuadas. Y aunque en ocasiones el pelo no pueda ser considerado sustituto de otras matrices en algunos casos de intoxicación por drogas, podría ser útil como información complementaria(9).

La tecnología analítica aplicada ha mejorado en sensibilidad y precisión, proporcionando así una mejor comprensión científica e interpretación de la prueba(19).

Las limitaciones que existen actualmente en el análisis de drogas en el pelo se deben superar con una serie de medidas. Por ejemplo, estableciendo estándares de calibración y control de calidad; se deben estandarizar los procedimientos de descontaminación y extracción de las muestras, establecer normas para identificar el rendimiento de las diferentes drogas y sus metabolitos; mejorar las técnicas para mejorar o eliminar los falsos-positivos debidos a la contaminación externa(9) y por último establecer unos valores de corte para las drogas científicamente fundados. Así facilitamos que la interpretación de los resultados sea semejante(19).

El análisis del pelo resulta ser complejo, por lo tanto, los problemas asociados requerirán una investigación continua y científicos entrenados y experimentados(19).

Los campos de la toxicología forense se tendrán que ir desarrollando continuamente para mejorar en el análisis de los diferentes analitos objetivo, dando una garantía de calidad y una correcta interpretación de los resultados. Además, el desarrollo de nuevas técnicas analíticas también contribuirá a un mayor avance de la toxicología forense(20).

CONCLUSIÓN

El análisis de pelo ha supuesto una ayuda muy valiosa en toxicología forense, proporcionando una información adicional y complementaria a la que se puede obtener del análisis de matrices tradicionales, como sangre y orina, debido al tiempo de detección tan prolongado que se consigue, así como la posibilidad de establecer un perfil en el tiempo del consumo de drogas o de conocer la asiduidad en el consumo.

Su uso ha mostrado eficacia en aplicaciones terapéuticas, epidemiológicas y criminológicas, aunque presenta ciertas limitaciones, por lo que su uso debe ser prudente y conservador.

Se debe establecer una serie de normativas o estándares para las diferentes fases del análisis (recogida, descontaminación, extracción, purificación, etc...) para así conseguir una mejor obtención y calidad de los resultados

BIBLIOGRAFÍA

1. Jurado Montoro C. Análisis de drogas de abuso en muestras de pelo. Diagnóstico del consumo crónico. *Trastor Adict.* 2007;9(3):172–83.
2. Bermejo Barrera AM, Tabernero Duque MJ. Determinación de drogas de abuso en pelo. *Rev Esp Med Leg.* 2011;37(2):59–66.
3. Lendoiro Belío E. El pelo como matriz biológica alternativa y su uso en la determinación de la exposición intraútero a drogas ilícitas y fármacos. 2016; Available from: <http://hdl.handle.net/10347/13867>
4. Vallejo Huertas MD. Determinación de cocaína en cabello como biomarcador de consumo crónico , mediante GC-MS. 2012;1–97.
5. Manes B. El pelo como elemento diagnóstico en Toxicología Forense. *Rev Digit Ciencias.* 2011;11(6).
6. Mantiniaks D, Gerostamoulos D, Wright P, Drummer O. The effectiveness of decontamination procedures used in forensic hair analysis. *Forensic Sci Med Pathol. Forensic Science, Medicine and Pathology;* 2018;14(3):349–57.
7. Jiménez MR, Kuhn GR. *Toxicología fundamental* (4a. ed.).
8. Tabernero Duque MJ, Bermejo Barrera AM. Interpretación de resultados en la investigación toxicológica de drogas de abuso. *Boletín Galego Med Leg e Forense.* 2009;(16):45–55.
9. Barroso M, Gallardo E. Hair analysis for forensic applications: Is the future bright? *Bioanalysis.* 2014;6(1):1–3.
10. Cooper GAA. *Anatomy and Physiology of Hair, and Principles for its Collection* [Internet]. *Hair Analysis in Clinical and Forensic Toxicology.* Elsevier Inc.; 2015. 1-22 p.
Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128017005000017>

11. Cooper GAA, Kronstrand R, Kintz P. Society of Hair Testing guidelines for drug testing in hair. *Forensic Sci Int* [Internet]. Elsevier Ireland Ltd; 2012;218(1–3):20–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.10.024>
12. Pragst F, Balikova MA. State of the art in hair analysis for detection of drug and alcohol abuse. *Clin Chim Acta*. 2006;370(1–2):17–49.
13. Pozebon D, Scheffler GL, Dressler VL. Elemental hair analysis: A review of procedures and applications. *Anal Chim Acta*. 2017;992:1–23.
14. Cuyppers E, Flanagan RJ. The interpretation of hair analysis for drugs and drug metabolites. *Clin Toxicol* [Internet]. Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group; 2018;56(2):90–100.
Available from: <https://doi.org/10.1080/15563650.2017.1379603>
15. Musshoff F, Madea B. New trends in hair analysis and scientific demands on validation and technical notes. *Forensic Sci Int*. 2007;165(2–3):204–15.
16. Jurado C, Soriano T. Limitaciones de los análisis de pelo para determinar las circunstancias que atenúan o eximen de la responsabilidad criminal. *Cuad Med Forense*. 2016;22(1-2):46–48.
17. Tsanaclis L, Andraus M, Wicks J. Hair analysis when external contamination is in question: A review of practical approach for the interpretation of results. *Forensic Sci Int* [Internet]. Elsevier Ireland Ltd; 2018;285:105–10.
Available from: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.01.028>
18. Kintz P, Farrugia A, Ameline A, Eibel A, Raul JS. High risk of misinterpreting hair analysis results for children tested for methadone. *Forensic Sci Int* [Internet]. Elsevier Ireland Ltd; 2017;280:176–80.
Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.10.013>
19. Jurado C, Kintz P, Menéndez M, Repetto M. Influence of the cosmetic treatment of hair on drug testing. *Int J Legal Med*. 1997;110(3):159–63.
20. Heesun Chung, Sanggil Choe. Overview of Forensic Toxicology, Yesterday, Today and in the Future. *Current Pharmaceutical Design*. 2017; 23: 5429. <https://doi.org/10.2174/1381612823666170622101633>