



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

EL PAPEL DEL QFB EN LAS CIENCIAS FORENSES

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO**

PRESENTA

RAÚL MIRELES LÓPEZ

TUTORA DE TESINA

DRA. MARÍA ELENA BRAVO-GÓMEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE:

Profesora: Perla Carolina López Castañeda

VOCAL:

Profesora: Nelly Norma Castro Torres

SECRETARIO:

Profesora: María Elena Bravo Gómez

1er. SUPLENTE:

Profesor: Alejandro Zamorano Carrillo

2° SUPLENTE:

Profesor: Victor Hugo Avilés Rosas

**LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA Y QUÍMICA FORENSE, DEPARTAMENTO
CIENCIA FORENSE. FACULTAD DE MEDICINA, UNAM.**

ASESOR DEL TEMA:

Dra. María Elena Bravo Gómez

SUSTENTANTE:

Raúl Mireles López

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, la Facultad de Química, profesores y compañeros por las aportaciones a mi formación profesional.

Agradezco también a la Dra. María Elena Bravo Gómez por la guía y el soporte académico durante la realización de este escrito, así como al jurado por las sustanciales aportaciones.

A Maru, Raúl, Diego y familia por el apoyo y aliento complementario a la educación en casa.

A mis amigos de la vida Pau, Rodri, Bobby, Paz, Johny, Fabio y Josué por ser parte del camino.

A mis amigos Lidia y Mario por la constante retroalimentación y ayuda durante clases.

A mis amigos farmacovigilantes por las enseñanzas de estos últimos años.

A María de la Paz por la constante motivación.

Tabla de contenido

Resumen	5
Introducción.....	7
Antecedentes históricos de las Ciencias Forenses	7
Ciencias Forenses	9
Ciencias Farmacéuticas.....	10
Objetivos	11
Procedimiento	12
Resultados	13
Ciencias Farmacéuticas Forenses.....	13
Toxicología Forense.....	14
Química Forense.....	18
Farmacología Forense	21
Ciencias Farmacéuticas de reciente desarrollo	21
Toxicología Forense y Farmacología Forense.....	24
Perfil del profesional en Ciencias Farmacéuticas Forenses	25
Licenciatura en Química Farmacéutico Biológica (QFB)	26
Habilidades y aptitudes.....	26
Objetivos Generales.....	28
Objetivos Particulares	28
Actitudes y valores	30
Discusión	31
Conclusiones	34
Referencias	35

Resumen

En el contexto legal, la ciencia había sido utilizada históricamente como apoyo confirmativo de la información obtenida de la propia confesión de aquel individuo que cometía un ilícito.

Hoy en día, toma un papel clave al momento de tomar decisiones pues se puede emplear como remplazo de la información presentada al inicio de un caso legal como ocurre actualmente en el nuevo diseño del sistema de justicia penal mexicano. Dentro de este proceso se interpreta que la investigación es una de las etapas más importantes para la resolución de conflictos jurídicos.

En esta instancia se deben construir los casos con base en los elementos probatorios que se presentan, desde la perspectiva científica; en otras palabras, se fija como objetivo encontrar una explicación técnica para el esclarecimiento de los hechos y así permitir el proceder de un juicio en contra de una o varias personas.

Complementando la impartición de justicia, el conocimiento científico colabora buscando siempre el mayor apego a la objetividad que permita al juez de juicio oral emitir una resolución imparcial en casos legales. Esta imparcialidad se alcanza con el uso de técnicas comprobadas y conocidas por su eficiencia en la obtención de resultados y su aceptación en el margen de error.

De acuerdo a lo anterior, la ciencia con enfoque en el ámbito jurídico; es decir, las ciencias forenses se definen como disciplinas de carácter científico cuya aplicación complementa la evidencia necesaria para emitir juicios alrededor de una situación con consecuencias legales. Así, cualquier disciplina científica al aplicarse al entorno legal recibe el nombre de ciencia forense (ej. Ciencias Farmacéuticas Forenses, Arquitectura Forense, Psicología Forense, etc.)

Una vez identificada la relevancia de la aplicación del conocimiento científico en el ámbito legal, este trabajo pretende definir las disciplinas científico-forenses relacionadas a los medicamentos en las que el egresado de la licenciatura en Química Farmacéutico Biológica (QFB), con orientación a Farmacia, tiene participación, así como las habilidades que necesita para desarrollar el trabajo profesional en este campo. Dentro de este escrito se definirá esta área de interés para el QFB como ciencias farmacéuticas y eventualmente ciencias farmacéuticas forenses.

Las ciencias farmacéuticas son las metodologías que se encargan de investigar y estudiar situaciones relacionadas con los fármacos y medicamentos; desde la investigación básica hasta la recopilación de información posterior a la administración de éstos.

Actualmente las ciencias farmacéuticas, dentro del ámbito forense, tienen como principales figuras a la toxicología forense y farmacología forense; sin embargo, en el contexto nacional y posiblemente global, no se tiene claro aquella línea divisoria que separa a una de la otra respecto a su posición como generadoras de evidencia; por lo que, otro de los objetivos es definir el campo de acción de estas ciencias.

Introducción

Antecedentes históricos de las Ciencias Forenses

Las ciencias forenses tienen su inicio en la Medicina Legal pues es la disciplina de la cuál se identifican los primeros registros de colaboración de la información científica como apoyo en la resolución de situaciones legales.

Dos de los escritos médico legales más antiguos se hallan en la cultura china; específicamente en la época de la familia Qin; primera dinastía de este imperio. En el primero se describe información respecto a la “evaluación de pruebas tangibles relacionadas a ofensas serias”. El segundo es una guía para jueces de instrucción dónde se facilita la identificación de heridas y cambios *post-mortem* (Hebrard, J & Daoust, 2013) (Howe, Duval, Shepard, & Gaffney, 2013).

Si bien la relación de las Ciencias Forenses al que hacer de la Medicina Legal continuaba presente, es hasta el siglo XVIII dónde se comienzan a desarrollar disciplinas forenses parcialmente independientes de ella que funcionan como corroboradoras científicas de la evidencia presentada. Por ejemplo, en los juicios del sistema de justicia norteamericano se agregaban miembros con experiencia y antecedentes profesionales relacionados al tema principal del caso en cuestión; es decir, el juez consultaba a fabricantes de armas para esclarecer casos de homicidio dónde un arma era el medio para cometer el delito.

Una de las principales disciplinas derivadas de la medicina legal es la Toxicología Forense que establece sus bases en la toxicología tradicional, aquella naciente del pensamiento del médico suizo Paracelso (1491-1541) y su enunciado *dosis sola facit venenum*. Actualmente, la Toxicología se conoce como la ciencia de los venenos y se enfoca a estudiar los efectos adversos o tóxicos de las sustancias y su repercusión en organismos vivos y el medio ambiente (Pérez Barly *et al.*, 2014; Repetto Jiménez & Repetto Kuhn, 2009).

Su enfoque al ámbito judicial se remonta específicamente a 1840 dónde Mathieu Joseph Bonaventura Orfila (1787-1853), el padre de la Toxicología Forense, descifra el caso de la homicida Marie Lafarge utilizando su experiencia en la toxicología convencional pues anteriormente Orfila había publicado el “Tratado de los venenos” en 1814 y “Lecciones de Medicina Legal” en 1821 (Bruinsma & Weisburd, 2014).

Además del ya mencionado caso de madame Lafarge, en el siglo XIX se presentaron una serie de casos de homicidio por intoxicación que provocaron un avance importante en el desarrollo de la toxicología como ciencia forense. Lo anterior se desencadenó por exigencia de los actores judiciales quienes requerían una mayor y mejor recopilación de información en torno al caso para así poder tomar las decisiones más objetivas. Ejemplos de esta información se presentan en la tabla 1 (Harkup, 2015; Nash, 1980; National Library of Medicine, 2006a, 2006b; Repetto Jiménez & Repetto Kuhn, 2009; The New York Times, 1873).

Más adelante, en 1893 Hans Gross presenta el “Manual del Juez de Instrucción” dónde recopila evidencias, procedimientos y técnicas que fueron útiles para esclarecer delitos, surgiendo como ciencia independiente la criminalística. Este manual continúa vigente y aún es referencia en el campo de las Ciencias Forenses (Ballou et al., 2013).

Otro de los principales sucesos que impacta directamente en el desarrollo de las ciencias forenses, es la separación de la fisiopatología forense de las demás ciencias biológico-forenses a través de la fundación, en 1910, del laboratorio del Dr. Edmond Locard, criminalista reconocido por enunciar el principio de Locard: “Cada interacción deja un rastro” (Ball, 2006).

Posteriormente, en las décadas de 1920 y 1930 se crean los primeros laboratorios de crimen en los Estados Unidos, ambos por iniciativa gubernamental (Policia de Los Angeles y el FBI) lo que paulinamente confirmaría el importante papel que la

ciencia tiene actualmente en la investigación de casos criminales; es decir, la aplicación de la ciencia pasó de ser una colaboración altruista a una necesidad obligada como lo declararía Kirk en 1963 (Fraser, 2010) (Kirk, 1963).

Caso	Año	Descripción
Madame Lafarge	Francia, 1840	Marie Lafarge es acusada por envenenar a su esposo Charles. Después de la controversia y basado en los métodos de James Marsh, Mathieu Orfila confirma el delito al encontrar arsénico en el cadáver y en la comida que preparó Lafarge para su esposo. Finalmente, fue sentenciada a pena de muerte.
George Vosburgh	Estados Unidos, 1878	El reverendo Vosburgh es acusado por intento de homicidio de su esposa Harriet, tras un matrimonio complicado. Administró en repetidas ocasiones tártaro emético. John Sickles, hermano de la víctima tomó muestras de orina de Harriet que fueron analizadas por el Dr. Ogden Doremus encontrando antimonio en ellas.
Couty de la Pommerais	Francia, 1864	El Dr. Edmond-Désiré Couty de la Pommerais asesinó a Madame Séraphine de Pauw para cobrar el seguro de vida y pagar sus deudas. El Dr. Ambroise Tardieu confirmó el homicidio después de diversos experimentos. Tomó un extracto de muestra del cuerpo y lo administró en un perro. Por los síntomas presentados en el animal determinó que la sustancia de la que se trataba era digoxina derivado de <i>digitalis purpurea</i> .
Lydia Sherman	Estados Unidos, 1871	Sherman “la evenenadora de Derby” era una asesina serial quién fue descubierta por su último acto: homicidio de Horatio Nelson Sherman, su tercer esposo. Los restos de Horatio fueron analizados por el profesor Barker de la Universidad de Yale y se encontró que había sido envenenado con arsénico.

Tabla 1. Casos relevantes relacionados con Toxicología Forense a lo largo de la historia

Ciencias Forenses

La ciencia es un proceso colectivo dónde se pone a prueba un fenómeno con el fin de describir su naturaleza a través de métodos sistematizados con reglas que sustentan la veracidad de las interpretaciones y conclusiones de quienes la practican. Entre otras cosas, genera conocimiento que resuelve situaciones que se presentan en el desarrollo de una sociedad (Koppl, 2005).

Así como en el aspecto social, la ciencia también adquiere una participación relevante en el ámbito jurídico pues se aplica el conocimiento adquirido en ella para aclarar problemas que tienen una consecuencia legal, así es cómo recibe el

nombre de ciencia forense. Detalladamente, las ciencias forenses son la aplicación de la información científica dirigida a complementar la evidencia sustentada que se requiere para emitir juicios alrededor de un caso legal.

Las ciencias forenses se aplican como generadoras iniciales de información aunque también tienen como objetivo descifrar y comprobar que la evidencia presentada al inicio de una investigación jurídica es correcta así como la capacidad de refutar aquella que es errónea, fraudulenta o malinterpretada.

Adicionalmente buscan responder a cuestionamientos relacionados al origen, identidad e historia de los involucrados en una investigación legal como lo son artefactos, individuos, materiales y sustancias, etc. (Fraser, 2010).

Actualmente se ha obtenido un avance importante en el desarrollo de la ciencias farmacéuticas con aplicación forense. (Body et al., 2011; Edwards & Body, 2012; Labadie, 2012a; Sewal, Saini, & Medhi, 2015a).

Ciencias Farmacéuticas

En el sentido más amplio, las Ciencias Farmacéuticas son la agrupación de ciencias y tecnologías enfocadas al uso de medicamentos y fármacos; es decir, dentro de ella se ubican metodologías que se encargan del diseño, síntesis, producción, acondicionamiento, consumo y monitoreo de sustancias que demuestran tener algún efecto terapéutico.

Además de que el estudio está enfocado hacia el fármaco, las ciencias farmacéuticas también consideran dentro del alcance a un elemento muy importante dentro del proceso de uso de medicamentos: el paciente. Así pueden estudiar no sólo el comportamiento del fármaco por sí solo, sino también las reacciones que ocurren en los individuos que hacen uso de éstos. (Anderson, 2012; H. O. Malve, 2013)

Una de las principales ramas de las ciencias farmacéuticas es la Farmacología, que según Brunton en Goodman & Gilman abarcan el conocimiento y entendimiento de los orígenes, propiedades físicas y químicas, compuestos, acciones fisiológicas, absorción, distribución, excreción y efectos terapéuticos de un fármaco. Para lo cual un fármaco, en el sentido más amplio, puede definirse como un agente químico que afecta el protoplasma de organismos vivos. La regulación nacional ofrece una definición más explícita para un fármaco, el cuál es una sustancia natural o sintética que tenga alguna actividad farmacológica y que se identifica por sus propiedades físicas, químicas o acciones biológicas, que no se presente en forma farmacéutica y que reúna condiciones para ser empleada como medicamento o ingrediente de un medicamento (Brunton, Chabner, & Knollman, 2013; FEUM, 2014).

Tomando en cuenta lo anterior, cualquier sustancia sin importar su origen será de interés para su estudio dentro de la farmacología, siempre y cuándo muestre un efecto fisiológico y terapéutico.

En relación al ámbito forense, la farmacología no suele ser tan relevante como lo es la toxicología. Esta distinción puede basarse en que aparentemente el uso adecuado (dosis e indicaciones aprobadas) de fármacos no compromete la aparición de reacciones adversas que ocasionen situaciones que estén a juicio en el ámbito legal.

Objetivos

Describir el campo de aplicación y perfil del profesional de la Farmacología Forense, la Toxicología Forense y la distinción entre ellas, así como otras Ciencias Farmacéuticas con interés forense.

Además, identificar las habilidades y áreas de oportunidad, dentro del perfil de egreso de un QFB, para desarrollar una carrera profesional dentro de la ciencias

forenses con orientación al uso de fármacos y medicamentos en cualquiera de sus disciplinas de estudio.

Finalmente, se pretende que este escrito funcione como divulgación de estas áreas de oportunidades laborales para un QFB en el campo de las Ciencias Farmacéuticas Forenses.

Procedimiento

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre los antecedentes y estado actual de las Ciencias Forenses destacando el énfasis sobre la Toxicología Forense, la Farmacología Forense y aquellas Ciencias Farmacéuticas que toman reciente auge como en el campo legal como Farmacogenética Forense, Farmacovigilancia Forense y Toxicovigilancia Forense. La información utilizada es aquella que se encontró a través de los motores de búsqueda. No se definen límites cronológicos de búsqueda puesto que la información publicada en estos temas aún es escasa.

Los motores de búsqueda utilizados fueron: el proporcionado por la Dirección General de Bibliotecas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Mendeley, Ovid, Pubmed, ScienceDirect y Springer Link como recursos internacionales; Medigraphic y Scielo cubriendo información sobre México y Latinoamérica, todas en sus versiones electrónicas. Estas plataformas se eligieron por haber demostrado tener la mayor calidad de información científica relevante en las revistas contenidas en ellas.

Las palabras utilizadas en la búsqueda fueron: "Forensic Sciences", "Forensic Chemistry", "Forensic Toxicology", "Forensic Pharmacy", "Forensic Pharmacology", "Forensic Pharmacovigilance", "Forensic Pharmacogenetics", "Forensic Ecotoxicology", "Forensic Environmental Toxicology", "Forensic Toxicologist", "Forensic Chemist", "Forensic Pharmacologist", "Forensic Pharmacist", "Human

Performance Toxicology”, “Postmortem Toxicology”, “Behavioural Toxicology”, “Toxicovigilance” y “Forensic Drug Analysis” .

Posteriormente, se realizó una selección de artículos relevantes al tema de investigación. Esta relevancia se definió por el aporte informativo del contenido del artículo; es decir, su claridad en la definición de conceptos, ejemplos brindados y su enlace con otras publicaciones que pudieran ser de importancia para enriquecer este trabajo.

Resultados

A partir de la selección de información se construyó una definición explícita y detallada para los conceptos “Toxicología Forense”, “Farmacología Forense” y “Ciencias Farmacéuticas Forenses”. Otro concepto abordado es “Química Forense” por la importancia que toma en el ejercicio de las tres disciplinas mencionadas y su necesaria distinción de ellas. Al mismo tiempo, se identificaron áreas de reciente desarrollo que logran ser objeto de interés en las Ciencias Farmacéuticas Forenses y las habilidades que se requieren obtener para tener una práctica correcta de ellas, estableciendo un perfil del profesional farmacéutico en Ciencias Forenses.

Posteriormente, se expone el plan de estudios de la licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México de forma comparativa con el perfil del profesional farmacéutico en Ciencias Forenses obtenido de la búsqueda de información.

Ciencias Farmacéuticas Forenses

Como se ha descrito anteriormente, las ciencias farmacéuticas comprenden el entendimiento del proceso completo de la administración de un medicamento y sus consecuencias. Al hacer referencia sobre su participación en el ámbito forense

engloba diferentes disciplinas por lo que se propone la clasificación mostrada en la figura 1.

La práctica de este conjunto de ciencias farmacéuticas no es nueva en el campo legal puesto que disciplinas como la toxicología forense se han utilizado formalmente por lo menos durante los últimos tres siglos; sin embargo, su identificación como grupo de metodologías forenses puede ser considerada como de reciente creación. (Anderson, 2012)

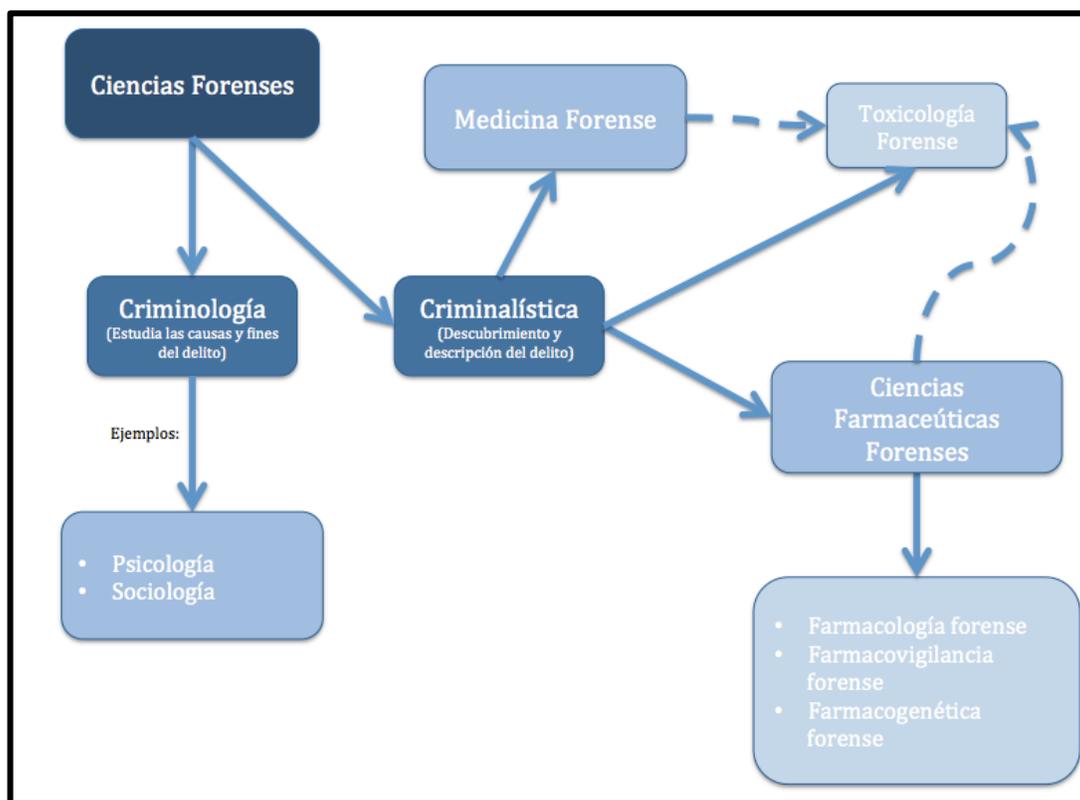


Figura 1. Clasificación de las ciencias forenses.

Toxicología Forense

Aunque a lo largo de la historia de la humanidad la Toxicología Forense se ha utilizado como auxiliar de la Medicina Legal, actualmente su alcance se ha ampliado para apoyar en el diagnóstico de patologías, enfermedades o problemas

ambientales dónde el enfoque de estudio no está necesariamente dirigido al ser humano en el aspecto médico.

Entonces para construir una definición actual de la Toxicología con enfoque jurídico, se dice que es la química forense y técnicas moleculares utilizadas para conocer la naturaleza y cantidades, efectos tóxicos, interacciones químicas y sociales y posibles mecanismos patológicos de sustancias derivados de su uso inconsciente en individuos o ecosistemas que están involucrados en problemas legales.

Como ya se ha mencionado, esta disciplina no se enfoca únicamente en muestras de tipo humano y es así como se logran identificar subespecialidades dentro de la toxicología forense: Toxicología *postmortem*, Toxicología conductual o del rendimiento humano, Ecotoxicología y Toxicología ambiental.

Toxicología postmortem

La toxicología *postmortem* es posiblemente la subdisciplina de la que se tiene la más popular percepción de la toxicología forense y las ciencias forenses en general. Se pone en práctica cuando se sospecha que la muerte de un individuo está relacionada al uso intencional o no de sustancias, usualmente brindando información acerca de su identidad y cantidad presente en el individuo.

Para brindar información sobre un fallecimiento es importante conocer la identidad de la sustancia sospechosa porque permite hacer suposiciones respecto al origen y método de administración de ella. Cuantificar la sustancia es indispensable porque permite confirmar o descartar que la dosis administrada está relacionada con el suceso.

Para el ejercicio de esta actividad, los datos que ofrecen los estudios de toxicocinética pueden resultar muy útiles para determinar la cantidad de sustancia

administrada inicialmente y los cambios a los que se expone dentro el cuerpo del individuo a través del tiempo.

Es conocido que existen condiciones propias de la administración que influyen en la determinación de concentración de sustancias en el individuo como la forma farmacéutica, la vía de administración y las interacciones que ocurren con el uso concomitante de otras sustancias o alimentos. Tomando en cuenta que las muestras para estudiar son cualquiera de origen biológico (sangre, cabello, humor vítreo, etc.) y que no son un ambiente estático, en la Toxicología *postmortem* existen otros factores que complican el estudio cinético como (Byard & Butzbach, 2012; Skopp, 2010):

- Redistribución *postmortem* que provoca que la concentración obtenida durante el análisis en la autopsia no refleja la alcanzada al momento de la muerte.
- Cambios en la composición sanguínea como autólisis y putrefacción que afectan la integridad de los tejidos y fluidos dificultando las determinaciones analíticas.
- Degradación de la sustancia y formación de metabolitos, ya sea por el metabolismo propio del individuo o por acción microbiana a la cual está expuesta el cadáver.
- Dilución de fluidos por embalsamamiento.

Por lo anterior es obligatorio que el toxicólogo forense tenga nociones de análisis químico que permitan el correcto tratamiento de las muestras, que faciliten conocer la identidad y cantidades de sustancias así como la capacidad de trabajar en tiempo y forma para brindar los resultados más confiables. También requiere de conocimientos propios de toxicología para proporcionar la interpretación adecuada de estos resultados.

Toxicología conductual o del rendimiento humano

Estudia la relación entre el uso inapropiado y el abuso de sustancias, la conducta de quienes las consumen y los efectos en el desarrollo de actividades humanas cotidianas implicadas en un problema judicial; por ejemplo, en un accidente de tránsito donde el conductor causó un daño a partir del consumo excesivo de bebidas alcohólicas o bien, alguna mala práctica realizada por un empleado después de la exposición laboral y accidental a solventes, pesticidas o contaminantes (Wyman, 2012).

Normalmente el análisis químico-biológico de esta subdisciplina se lleva a cabo en muestras de orina, sangre y en menor medida saliva. Al igual que la Toxicología *postmortem* se requiere de rapidez en el análisis para evitar fallos en los resultados por el origen biológico de las muestras y de conocimientos adecuados para interpretar.

Ecotoxicología y toxicología ambiental

La Ecotoxicología y la Toxicología ambiental estudian el comportamiento de los contaminantes antropogénicos y naturales y su efecto sobre los componentes no-objetivo de un ecosistema. Por ejemplo, estudia el efecto que causa un excesivo uso de insecticidas, no sólo en la salud humana si no en la flora o la fauna para la cual no está dirigido ese pesticida o investigar las consecuencias el desecho de medicamentos caducos por parte de una institución de salud; ambos ejemplos ocasionarían problemas en el equilibrio ambiental.

La diferencia entre ambas ciencias radica en la centricidad sobre el afectado; es decir, la ecotoxicología estudia grupos de individuos y comunidades como ecosistemas completos mientras que la toxicología ambiental se enfoca a estudiar los efectos particulares en cada individuo como lo es una especie de planta o un tipo de familia celular.

Además de realizar análisis sobre muestras biológicas como animales y plantas, el objeto de estudio también son muestras inertes como agua o suelo. Por lo anterior, es necesario que el toxicólogo forense ambiental reúna conocimientos en ciencias ambientales.

El enfoque forense de estas dos ciencias puede dirigirse hacia la investigación de entidades que emitan contaminantes al ambiente causando un daño que es castigado por la ley. Así, estas dos variantes de la toxicología forense se utilizan como herramientas confirmativas de la sospecha de contaminación intencional o no (Bhat, 2013).

En general la toxicología forense se utiliza para describir las consecuencias (anatómicas, fisiológicas y sociales) de la presencia de sustancias, en dosis altas, en el organismo de un individuo o ecosistema e intenta establecer razonamientos para comprender la interacción entre ellos. Este estudio de sustancias se enfoca al abuso o mal uso de éstas ya sea por una indicación no aprobada a las dosis no aprobadas en el caso de fármacos en pacientes o la emisión inconsciente de contaminantes en el ambiente.

Química Forense

Derivada de la química analítica, orgánica e inorgánica, está basada en el análisis sistemático de las propiedades físicas y químicas de sustancias de origen desconocido en una muestra comprometida en una investigación legal. A diferencia de la toxicología forense, el estudio de la química forense se basa en la identificación y cuantificación de la muestra sin importar si es consumida o no por un individuo, lo que implica que carece de un carácter interpretativo y se limita a ofrecer resultados para confirmar o descartar identidad y pureza de las sustancias sospechosas. Por lo tanto, no utiliza muestras biológicas.

Para efectuar esta medición se realizan complementariamente pruebas rápidas de presunción seguidas de análisis más robustos mediante métodos instrumentales.

Así, encontramos dos tipos de ensayos principales dentro de la química forense en relación a sus metodologías: aquellas pruebas que arrojan un resultado presuntivo; por ejemplo la prueba de Simon para identificar compuestos orgánicos nitrogenados; y otras en las que sus resultados ofrecen información que permiten elucidar la estructura química de una sustancia a través de análisis más complejos como espectrometría de masas; es decir, las pruebas confirmativas (Christian, 2006; Collins, 2007).

En las tablas 2 y 3 se muestran ejemplos de las técnicas de análisis químico más importantes que se utilizan en las Ciencias Forenses recomendadas por el *Scientific Working Group for the Analysis of Seized Drugs (SWGDRUG)*.

Métodos presuntivos			
Método	Sustancias detectadas	Identifica/Cuantifica	Experiencia necesaria del analista
Cromatografía en capa fina	Sustancias de abuso	Sólo identifica	Básica-Intermedia
Espectroscopía UV-Visible	Sustancias de abuso	Ambas	Básica-Intermedia
Pruebas colorimétricas	Sustancias de abuso	Sólo identifica	Básica-Intermedia
Pruebas de cristalización	Cualquiera	Sólo identifica	Básica-avanzada

Tabla 2. Principales métodos presuntivos de análisis químico forense validados por el SWGDRUG. Adaptado de (Harper, Powell & Pijl, 2017)

Métodos confirmativos			
Método	Sustancias detectadas	Identifica/Cuantifica	Experiencia necesaria del analista
Espectrometría de masas	Cualquiera	Ambas	Intermedia-Avanzada
Espectroscopía infrarroja	Cualquiera	Ambas	Básica-avanzada
Espectroscopía Raman	Cualquiera	Ambas	Básica-avanzada
Difracción de Rayos X	Sólidos cristalinos	Ambas	Avanzada-Experto
Cromatografía de líquidos de alta resolución	Cualquiera	Ambas	Intermedia-Avanzada

Tabla 3. Descripción de los principales métodos confirmativos de análisis químico forense validados por el SWGDRUG. Adaptado de (Harper, Powell, & Pijl, 2017)

Farmacología Forense

Históricamente se ha empleado indistintamente como sinónimo de la toxicología forense; sin embargo a diferencia de ésta, la farmacología forense se enfoca en el estudio de los efectos causados por medicamentos, a las dosis e indicaciones aprobadas, administrados en un paciente involucrado en una situación legal.

Para ejemplificar lo anterior, se identifica que uno de los principales campos dónde se utiliza la farmacología forense es en la prueba forense de fármacos que, similar a la toxicología conductual, evalúa el rendimiento humano pero tras el uso de fármacos legales a dosis normales. Se aplica en problemas de usos no aprobados de sustancias; por ejemplo, pruebas antidoping en atletas para identificar sustancias legales que aumenten el rendimiento deportivo o el uso inadecuado de neuroestimulantes en personas en sus lugares de trabajo (Anderson, 2012; H. Malve, 2017; H. O. Malve, 2013).

Adicionalmente, dentro del aspecto legal podría tener una aplicación como comprobación de adherencia terapéutica en pacientes involucrados en problemas legales. Por ejemplo, un paciente que demanda al laboratorio farmacéutico por presentar una falta de eficacia en uno de sus medicamentos comercializados debería ser monitoreado clínicamente para descartar una falta de apego al tratamiento que causara esa falta de eficacia.

Ciencias Farmacéuticas de reciente desarrollo

Farmacogenética Forense

Cuando se habla de genética y medicamentos en combinación es común que aparezca el término farmacogenética. La farmacogenética ha sido empleada como ciencia predictiva del efecto de un fármaco en un individuo en particular; es decir, de manera práctica se utiliza como auxiliar en la prescripción de medicamentos para evitar la aparición de reacciones indeseadas en un paciente.

A grandes rasgos la farmacogenética utiliza el genotipo de un paciente para predecir cercanamente el fenotipo e identificar alguna deficiencia que provoque alteraciones en su organismo para la absorción, metabolismo o eliminación de fármacos y que como consecuencia se presenten reacciones adversas (Musshoff, Stamer, & Madea, 2010; Sajantila, Palo, Ojanperä, Davis, & Budowle, 2010).

Evidentemente, por la naturaleza de las ciencias forenses, la farmacogenética forense no es una ciencia preventiva como se menciona arriba. Su uso principal es como diagnóstico complementario a la información obtenida en otras pruebas toxicológicas o farmacológicas; es decir, intenta dar un razonamiento de otros resultados desde el punto de vista genético de un paciente.

Farmacovigilancia Forense

La Farmacovigilancia es conocida como la ciencia que recopila información acerca de eventos adversos presentados a partir del consumo de medicamentos y otros problemas relacionados al uso de ellos.

El uso de la recopilación de eventos adversos en el contexto legal no es aplicado de manera individual para una de las partes interesadas; más bien se presenta como información documental que respalda la evidencia ofrecida por un farmacéutico a un juez que debe tomar una decisión (European Medicines Agency, 2012; Labadie, 2012b; Sewal, Saini, & Medhi, 2015b).

Otro tipo de información relevante que aporta la farmacovigilancia al ámbito forense es el estudio de errores de medicación que son fallos prevenibles en el proceso de administración de un medicamento. Estos hechos dónde la farmacovigilancia toma relevancia son:

1. Mala práctica de profesionales de la salud:

- a. Errores de dispensación por parte del farmacéutico. Se dispensa otro medicamento o dosis diferente a los prescritos.
- b. Errores de prescripción. Un médico prescribe un medicamento contraindicado o una dosis incorrecta aún conociendo que la condición médica del paciente no lo permite.
- c. Prescripciones que causen interacciones medicamentosas o alimenticias.
- d. Uso fuera de indicación. Un profesional de la salud administra un medicamento para el cual no está aprobada la indicación prescrita, la dosis prescrita o las condiciones propias del paciente (edad y peso). Por ejemplo, metformina para bajar de peso.

2. Identificación de la comercialización de medicamentos falsos o caducos.

3. Daños causados a pacientes que participan como voluntarios en ensayos clínicos.

Como consecuencia de los escenarios mencionados es posible que se encamine a un mal uso de los medicamentos y a la potencial aparición de eventos adversos que estuvieran involucrados para los cuales se deban tomar medidas legales.

Toxicovigilancia Forense

Con bases similares a la farmacovigilancia, la toxicovigilancia se encarga de detectar, validar y dar seguimiento a eventos adversos presentados tras la exposición de individuos a sustancias y productos nocivos en sus casa, lugares de trabajo o simplemente en el medio ambiente. Un ejemplo de este caso es que en países como India han aumentado las hospitalizaciones por exposición accidental a pesticidas lo cual podría tener consecuencias para las compañías que fabrican y utilizan estas sustancias (Descotes & Testud, 2005).

Toxicología Forense y Farmacología Forense

Una vez que se ha descrito el campo de acción de las Ciencias Farmacéuticas Forenses resulta complicado establecer una línea divisoria entre las principales figuras Toxicología Forense y la Farmacología Forense por la similitud de sus objetos de estudio y metodologías.

Por lo anterior y para reforzar los conceptos descritos en los resultados, este trabajo propone separar estas disciplinas basándose principalmente en el enunciado de Paracelso acerca de las sustancias y su toxicidad dependiente de la dosis; es decir, para problemas legales relacionados con un abuso intencional o no en el uso de sustancias se llamará toxicología forense mientras que para el uso de medicamentos en dosis recomendadas o aprobadas se llamará farmacología forense.

Además del principio mencionado, en la siguiente tabla se describen algunas de las diferencias encontradas:

Toxicología Forense	Farmacología Forense
Estudia efectos tóxicos (dosis fuera de las recomendadas) de sustancias.	Estudia efectos terapéuticos y adversos de medicamentos a dosis aprobadas.
El foco de estudio no es exclusivo al ser humano (ej. Ecotoxicología).	Utiliza fluidos corporales, tejidos y muestra de origen humano.
Puede detectar sustancias de abuso legales o ilegales, contaminantes derivados de procesos industriales o metabolitos de plantas en el ambiente.	Estudio basado en fármacos legales, medicamentos y su administración en pacientes. Puede estudiar indicaciones no aprobadas para el medicamento.

Tabla 4. Diferencias entre Toxicología Forense y Farmacología Forense.

Perfil del profesional en Ciencias Farmacéuticas Forenses

Una vez descritas las ciencias de interés farmacéutico forense, es pertinente mencionar cuáles son las habilidades que permitirían un desarrollo completo y correcto de un profesional científico para tener participación en cualquiera de sus variantes.

Después de la revisión bibliográfica realizada en este trabajo, se identifica que el profesional requiere una sólida formación en los siguientes ámbitos:

- Conocimientos teóricos de Farmacología y Toxicología; fármacos, medicamentos, sustancias de abuso y contaminantes del ambiente; sus mecanismos de acción y cinética dentro de los individuos.
- Conocimientos teóricos de Anatomía, Biología Celular, Bioquímica, Fisiología y Ecología en caso de especializarse en sistemas ambientales.
- Habilidades prácticas avanzadas en técnicas de laboratorio; análisis químico y de sustancias, manipulación de instrumentos analíticos, manejo y tratamiento de muestras químicas y biológicas, elección de métodos analíticos de acuerdo al tipo de muestra.
- Análisis e Interpretación de resultados y capacidad de integración del conocimiento propio del analista.
- Comunicación efectiva de resultados de la investigación. Se debe emplear un lenguaje claro y conciso dirigido a personal no científico.
- Ejercicio ético y objetivo de sus funciones.

Adicionalmente a las habilidades técnicas y el conocimiento científico es importante obtener otras habilidades que permitan la comunicación de los resultados obtenidos a profesionales no científicos, el ejercicio ético de sus actividades, así como la capacidad para adaptarse a situaciones poco favorables (Gaensslen, 2003; Koppl, 2005).

Licenciatura en Química Farmacéutico Biológica (QFB)

Por otro lado, se revisaron las aptitudes y habilidades que obtiene un estudiante al término de la licenciatura en Química Farmacéutico Biológica de la Facultad de Química de la UNAM en el portal web oficial. Estos conceptos fueron comparados con las características profesionales obtenidas de la bibliografía consultada.

El QFB es un profesional de la salud enfocado en resolver problemáticas entre individuos y sustancias con herramientas analíticas. Tiene conocimientos teóricos-prácticos fundamentales en Biología, Bioquímica, Fisiología, Farmacología, Microbiología y Tecnología Farmacéutica, principalmente. Adicionalmente, la elección de un paquete terminal permite obtener conocimientos especializados en Fármacos y Medicamentos, Bioquímica Microbiológica y Atención Farmacéutica.

Habilidades y aptitudes

Los conocimientos principales que obtiene el egresado de QFB para desarrollar una carrera profesional como farmacéutico forense están basados en tres principales áreas de conocimiento: Química Analítica, Bioquímica y Farmacia así como también adquiere habilidades para comunicar sus resultados de manera efectiva.

Por lo anterior, se identificaron y seleccionaron las principales asignaturas pertenecientes al plan de estudios vigente, que contribuyen directamente en la obtención de los conocimientos requeridos y en la preparación del profesional en QFB dentro de la Farmacia Forense, particularmente la Toxicología y Farmacología Forense.

En la tabla 5 se recopilan y clasifican de acuerdo al área de conocimiento las asignaturas principales, que de acuerdo al perfil del profesional en Ciencias Farmacéuticas Forenses aportan significativamente.

Área de conocimiento	Clave	Asignatura
Química	1310	Química Inorgánica I
	1311	Química Orgánica I
	1411	Química Orgánica II
	1521	Química Orgánica III
	1612	Química Analítica Instrumental I
	1507	Analítica Experimental I
	1607	Analítica Experimental II
Bioquímica	1508	Bioquímica
	0141	Bioquímica Experimental
	1630	Genética y Biología Molecular
	0164	Fisiología
Farmacia	1408	Farmacología I
	1509	Farmacología II
	1614	Toxicología
	1608	Atención Farmacéutica
	1706	Biofarmacia
	1705	Análisis de Medicamentos
	0138	Farmacovigilancia
Sociohumanística	0104	Comunicación Científica

Tabla 5. Asignaturas de plan de estudios QFB, FQ-UNAM. Tomado de <https://quimica.unam.mx/ensenanza/licenciaturas-de-la-facultad-de-quimica/quimica-farmacologico-biologica/> en Abril, 2018.

Después de la identificación de las asignaturas de relevancia se lograron establecer a fondo las principales habilidades técnicas que describen el perfil del egresado de la carrera de QFB con potencial orientación a las ciencias farmacéuticas forenses en las disciplinas de Química Analítica, Bioquímica y Farmacia. Estas aptitudes adquiridas se recopilan a continuación a través de los objetivos de las asignaturas:

Objetivos Generales

- Realizar análisis cualitativos y cuantitativos, químicos, físicos, fisicoquímicos, biológicos y bioquímicos de los medicamentos y de muestras de origen biológico.
- Desarrollar nuevas metodologías para la realización de análisis químicos y bioquímico-clínicos
- Interpretación de la información obtenida del análisis químico con conocimientos teóricos que permitan describir el comportamiento de sustancias en el paciente.

Objetivos Particulares

Química:

- Describir a los materiales desde el punto de vista estructural y de reactividad química empleando para ello los modelos que permitan explicar las propiedades observables.
- Explicar el comportamiento de las sustancias a partir de principios químicos fundamentales
- Conocer las operaciones y las técnicas utilizadas con mayor frecuencia en el análisis químico cuantitativo así como sus alcances, limitaciones y áreas de aplicación.
- Preparación y tratamiento del analito de interés de acuerdo a la naturaleza y cantidad presente en la muestra.
- Elucidación de estructuras químicas sencillas.
- Diseño de rutas analíticas.
- Tratamiento e interpretación de resultados derivados del análisis químico.
- Aseguramiento de la calidad: principios de buenas prácticas de laboratorio, buenas prácticas de documentación y validación de métodos analíticos.

Introducción a técnicas analíticas: absorción atómica, amperometría, conductimetría, cromatografía de gases, cromatografía de líquidos, espectroscopía infrarroja, espectrofotometría UV-visible, espectrometría de masas, potenciometría, resonancia magnética protónica y voltamperometría.

Bioquímica:

- Comprender los procesos bioquímicos generales y principios básicos de genética
- Conocer la estructura y función de moléculas biológicas en el metabolismo celular
- Conocer técnicas bioquímicas fundamentales utilizadas en la actualidad en investigación y en la práctica clínica.
- Fomentar capacidad de indagación, de análisis y de crítica.
- Entender y explicar las funciones de los principales aparatos y sistemas que constituyen el organismo humano en la salud y en la enfermedad.

Técnicas bioquímicas impartidas: extracción, concentración, purificación e identificación de proteínas y material genético.

Farmacología:

- Conocer mecanismos de acción de fármacos a nivel molecular y celular y su relación con los efectos terapéuticos.
- Relacionar aspectos químicos de los fármacos con características anatómicas, fisiológicas, patológicas de sitios de acción en órganos y sistemas.
- Aprender aspectos básicos de Toxicología derivados de la identificación y prevención de reacciones adversas por fármacos metales pesados y sustancias de abuso.
- Conocer el proceso cinético y dinámico de los fármacos dentro del paciente.

- Interactuar con otros miembros del equipo de salud para asegurar el uso racional de los medicamentos así como informar y orientar al paciente.

Sociohumanística:

La oferta del programa da la posibilidad de obtener habilidades de comunicación mediante una asignatura de carácter optativo; Comunicación Científica la cual se propone como objetivo:

- Comunicar efectivamente los resultados de una investigación científica al público en general.

Actitudes y valores

Conjuntamente la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Química tienen como objetivo ofrecer una formación integral en los profesionales egresados; es decir, que además de las habilidades técnicas adquiridas desarrollen otras aptitudes como resultado de su estancia académica. Las principales aptitudes y habilidades adicionales que se pretenden impartir son la creatividad, innovación, disciplina, ética profesional y honestidad, respeto y calidad humana así como la capacidad para trabajar inter- y multi- disciplinariamente.

Discusión

Si bien las disciplinas forenses estudiadas en este escrito tuvieron parte de su origen en la Medicina Legal, actualmente han mostrado independencia llegando al punto de ser estudiadas y aplicadas por sí solas a casos donde no hay necesidad de utilizar principios médicos de por medio; por ejemplo, Toxicología ambiental (Bhat, 2013).

Dentro de las ciencias farmacéuticas forenses, se identifican y se independizan los conceptos que para muchos autores resultan ser los mismos, hablando específicamente de la Toxicología Forense y la Farmacología Forense. Otros autores también suelen ubicar a la Farmacología Forense dentro de la Toxicología Forense y viceversa, lo cual no parece ser pertinente puesto que el foco de estudio es diferente. La Toxicología Forense pretende estudiar los efectos tóxicos de las sustancias sin importar el origen del individuo afectado y la farmacología los terapéuticos tras el uso de medicamentos en pacientes a las dosis e indicaciones aprobadas, para lo cual queda claro que la distinción depende, entre otros factores, de la dosis administrada (Schellens et al., 2008).

Acerca de la Toxicología Forense, se comprueba que la diferenciación de sus subdisciplinas está basada en el campo de su aplicación; sin embargo, utilizan similares técnicas de análisis químico para llevarse a la práctica. Por lo anterior, se entiende que la relevancia de un análisis toxicológico forense recae en la precisión y trascendencia de su interpretación más allá de la obtención de resultados. Entonces resulta trascendental la habilidad y experiencia del toxicólogo forense para hacer deducciones con la información obtenida. De igual forma, se ubica a la Química Forense como parte fundamental de la práctica de la Toxicología Forense y Farmacología Forense (Christian, 2006; Collins, 2007; Wyman, 2012).

En el contexto jurídico, la farmacogenética no debe ser un criterio principal para tomar decisiones o hacer interpretaciones ya que el genotipo obtenido en el análisis no asegura que los componentes del metabolismo del paciente hayan sido transcrito y traducido idealmente; es decir, no considera mutaciones espontáneas ni otros factores que afecten la expresión génica (Musshoff et al., 2010; Sajantila et al., 2010).

Haciendo referencia a otras disciplinas farmacéuticas, es útil hacer uso de ellas como lo que ocurre con las ciencias encargadas de recopilar y documentar información de situaciones adversas específicas de la exposición crónica o aguda a sustancias de uso cotidiano. Es por eso que la Farmacovigilancia y Toxicovigilancia son necesarias al momento de respaldar información que se presenta ante el juez de juicio oral (Descotes & Testud, 2005; Sharma, Dewan, & Singh, 2017).

Estas ciencias que tienen menor tiempo de creación como la farmacogenética, Farmacovigilancia y Toxicovigilancia están tomando cada vez más relevancia en el entorno jurídico, lo anterior se debe a la constante necesidad de la sociedad para encontrar soluciones a las situaciones que se presentan a diario; sirva el caso del consumo irracional de medicamentos que es una práctica que se ha vuelto común en la población. Este incremento en el nivel de exposición a sustancias implica un aumento en el riesgo de colocarse en situaciones adversas a la salud con implicaciones legales (Anderson, 2012; European Medicines Agency, 2012; Labadie, 2012b; Musshoff et al., 2010; Sewal et al., 2015b).

Con el incremento de situaciones adversas es necesario formar profesionales capaces de atenderlas tal como ocurre con el egresado de QFB; su perfil de formación no se enfoca al ámbito forense; sin embargo, otorga el conocimiento y la preparación básica que debe tener un profesional de la salud para desenvolverse en él. Lo anterior coincide con el desarrollo nacional reciente sobre

la formación de profesionales en ciencias forenses el cual va en aumento. (García Castillo, 2017; Romero Guerra, 2014)

Además de las habilidades técnicas del QFB, se destaca su capacidad de interpretación de resultados derivados de diferentes técnicas de laboratorio en Farmacología, Toxicología, Biología Molecular y Química Analítica y la integración de conocimientos en estas disciplinas e incluso la destreza para comunicar los resultados lo cual sienta las bases para el perfil que se requiere en un profesional en Ciencias Farmacéuticas Forenses obtenido de la revisión bibliográfica; sin embargo, es necesario que aumente su especialización en conocimientos legales a través de un estudios que amplíen la visión y desarrollen otras habilidades no técnicas. Esta formación se puede complementar con alguna especialización o posgrado con enfoque directo en el ámbito jurídico. (Gaensslen, 2003; García Castillo, 2017)

Como lo señala la misión de la Facultad de Química el objetivo de la de la formación de profesionales es crear recursos humanos que dominen conocimientos y habilidades, fomentar la capacidad de innovación y la conciencia de la necesidad de actualización permanente para colaborar y aportar significativamente al desarrollo nacional sustentable y contribuir a la mejora en la calidad de vida de la sociedad.

Estos profesionales con alto grado de preparación se forman mediante la educación integral de los estudiantes con personal académico de alta calidad, a través de la docencia y la investigación de dónde se pueden obtener conocimientos que permitan desarrollar una competencia completa en el egresado.

Ahora, con la definición del perfil requerido y de las habilidades del egresado es importante señalar que el campo de trabajo para el QFB con orientación en Ciencias Farmacéuticas Forenses es amplio, no obstante en el ámbito nacional las

tareas que se requieren llevar a cabo no se limitan únicamente a su experiencia farmacéutica y puede involucrar otros aspectos de la criminalística. (García Castillo, 2017)

Conclusiones

La toxicología forense no está necesariamente encasillada dentro de las ciencias farmacéuticas forense porque puede estudiar casos donde no haya alguna relación con los fármacos o medicamentos; por lo tanto ahí radica su distinción de la farmacología forense además de la propuesta, sobre la dosis, expuesta en este trabajo.

Existen ciencias farmacéuticas de desarrollo reciente que han tomado relevancia en el ámbito forense, siendo farmacovigilancia la que más impacto tiene en él. Por lo anterior es necesario desarrollar habilidades como profesional para promover el crecimiento de la disciplina y ampliar el campo de aplicación.

En relación a la formación del QFB, el egresado obtiene conocimientos, aptitudes, habilidades, actitudes y valores mínimos necesarios para servir a la sociedad como profesional y participar en el ámbito forense; sin embargo es necesario que el alumno se actualice constantemente en el campo.

Como consecuencia de la formación y la creatividad adquirida en la licenciatura, el QFB puede incursionar en áreas como las ciencias forenses a pesar de que el plan de estudios actual no tiene esa intención en alguna de sus áreas de especialización. Las oportunidades de desarrollo de un QFB no se limitan por sus conocimientos específicos en áreas de la salud, al contrario, resultan ser herramientas básicas para formarse de manera integral y completa en otras áreas relacionadas.

Referencias

- Anderson, P. D. (2012). The broad field of forensic pharmacy. *Journal of Pharmacy Practice*, 25(1), 7–12.
- Ball, C. (2006). Locard's Principle. *Law Technology News*, (February), 42.
- Ballou, S., Houck, M., Siegel, J. A., Crouse, C. A., Lentini, J. J., & Palenik, S. (2013). Criminalistics: the bedrock of forensic science. In *Forensic Science: Current Issues, Future Directions* (pp. 29–101).
- Bhat, S. (2013). Ecotoxicology & Impact on Biodiversity. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(2), 1–19.
- Body, D., Edwards, I. R., Hartigan Go, K., Healy, D., Herxheimer, A., & Labadie, J. (2011). Is there a need for Forensic Pharmacovigilance as a specialty? Group for Forensic Pharmacovigilance. *International Journal of Risk and Safety in Medicine*, 23(1), 31–42. <https://doi.org/10.3233/JRS-2011-0518>
- Bruinsma, G., & Weisburd, D. (2014). *Encyclopedia of Criminology and Criminal Justice*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5690-2>
- Brunton, L., Chabner, B., & Knollman, B. (2013). *Goodman and Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics* (12th ed.). Mc Graw Hill Medical.
- Byard, R. W., & Butzbach, D. M. (2012). Issues in the interpretation of postmortem toxicology. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 8(3), 205–207.
- Christian, D. (2006). Forensic Chemistry. In *The Forensic Laboratory Handbook: Procedures and Practice* (pp. 35–61). Humana Press Inc.
- Collins, D. (2007). Forensic Chemistry. In *Forensic Chemistry* (1st ed., pp. 1–29). Thomson Brooks/Cole.
- Descotes, J., & Testud, F. (2005). Toxicovigilance: A new approach for the hazard identification and risk assessment of toxicants in human beings. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 207(2 SUPPL.), 599–603.
- Edwards, I. R., & Body, D. (2012). Forensic pharmacovigilance. *International Journal of Risk and Safety in Medicine*, 24(1), 1–2. <https://doi.org/10.3233/JRS-2012-0555>
- European Medicines Agency. Guideline on good pharmacovigilance practices (GVP) Module VI – Management and reporting of adverse reactions to medicinal, 2011 Heads of Medicines Agencies § (2012). https://doi.org/EMA/876333/2011 Rev. 1*
- FEUM. Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos, onceava edición. Primer suplemento. (2014).
- Fraser, J. (2010). *Forensic Science: A Very Short Introduction*.
- Gaensslen, R. E. (2003). How do I become a forensic scientist? Educational

- pathways to forensic science careers. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 376(8), 1151–1155.
- García Castillo, Z. (2017). El estado del arte de las ciencias forenses en México. In *El estado del arte de las ciencias forenses en México*.
- Harkup, K. (2015). *A is for Arsenic: The Poisons of Agatha Christie*. Bloomsbury Publishing.
- Harper, L., Powell, J., & Pijl, E. M. (2017). An overview of forensic drug testing methods and their suitability for harm reduction point-of-care services. *Harm Reduction Journal*, 14(1), 1–13.
- Hebrard, J & Daoust, F. (2013). *History of Forensic Sciences. Encyclopedia of Forensic Sciences* (2nd ed.). Elsevier Ltd.
- Howe, J., Duval, J. B., Shepard, C., & Gaffney, R. (2013). General forensics – no one else starts until we finish. In *Forensic Science: Current Issues, Future Directions* (pp. 6–28).
- Kirk, P. L. (1963). The ontogeny of criminalistics. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*, 54(2), 235–238.
- Koppl, R. (2005). How to improve forensic science. *European Journal of Law and Economics*, 20(3), 255–286.
- Labadie, J. (2012a). Forensic pharmacovigilance and substandard or counterfeit drugs. *International Journal of Risk and Safety in Medicine*.
<https://doi.org/10.3233/JRS-2012-0551>
- Labadie, J. (2012b). Forensic pharmacovigilance and substandard or counterfeit drugs. *International Journal of Risk and Safety in Medicine*.
- Malve, H. (2017). Understanding Forensic Pharmacology : What Indian Physicians Need to Know ? *Journal of The Association of Physicians of India*, 65(February), 74–75.
- Malve, H. O. (2013). Forensic pharmacology: An important and evolving subspecialty needs recognition in India. *J Pharm Bioallied Sci.*, 33(2), 279–283.
- Musshoff, F., Stamer, U. M., & Madea, B. (2010). Pharmacogenetics and forensic toxicology. *Forensic Science International*, 203(1–3), 53–62.
- Nash, J. R. (1980). *Murder, America: Homicide in the United States from the Revolution to the Present*. Rowman & Littlefield.
- National Library of Medicine. (2006a). Making Toxicology Visible: the Vosburgh poisoning case. Retrieved from
<https://www.nlm.nih.gov/visibleproofs/galleries/cases/vosburgh.html>
- National Library of Medicine. (2006b). Toxicology on trial: Mathieu Orfila and the Lafarge murder case. Retrieved from
<https://www.nlm.nih.gov/visibleproofs/galleries/cases/orfila.html>
- Pérez Barly, L., Guirola Fuentes, J., Fleites Mestres, P., Pérez García, Y., Milián Pérez, T. M., & López García, D. (2014). Origen e historia de la Toxicología. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 43(4), 499–514.
- Repetto Jiménez, M., & Repetto Kuhn, G. (2009). Desarrollo y evolución histórica de la Toxicología. In *Toxicología fundamental* (pp. 1–20).
- Romero Guerra, A. P. (2014). III . Estudio empírico sobre el perito en México como productor de la prueba pericial en el proceso penal Después de observar en el estudio teórico el cambio que sufre la prueba pericial en su forma de

- desahogo y los nuevos retos que este cambio implica p. In *Estudios sobre la prueba pericial en el juicio oral mexicano*.
- Sajantila, A., Palo, J. U., Ojanperä, I., Davis, C., & Budowle, B. (2010). Pharmacogenetics in medico-legal context. *Forensic Science International*, 203(1–3), 44–52.
- Schellens, J. H. M., Grouls, R., Guchelaar, H. J., Touw, D. J., Rongen, G. A., De Boer, A., & Van Bortel, L. M. (2008). The Dutch model for clinical pharmacology: Collaboration between physician- and pharmacist-clinical pharmacologists. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 66(1), 146–147.
- Sewal, R. K., Saini, V. K., & Medhi, B. (2015a). Forensic pharmacovigilance: Newer dimension of pharmacovigilance. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 34, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2015.05.015>
- Sewal, R. K., Saini, V. K., & Medhi, B. (2015b). Forensic pharmacovigilance: Newer dimension of pharmacovigilance. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 34, 113–118.
- Sharma, S., Dewan, A., & Singh, G. (2017). Toxicovigilance – An inevitable prerequisite to keep a watch on toxins around you. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 45, 32–35.
- Skopp, G. (2010). Postmortem toxicology. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 6(4), 314–325.
- The New York Times. (1873). The Derby Poisoner: Confession of Mrs. Lydia Sherman, the murderer of three husbands and four children. *The New York Times*, p. 1873.
- Wyman, J. F. (2012). Principles and procedures in forensic toxicology. *Clinics in Laboratory Medicine*, 32(3), 493–507.