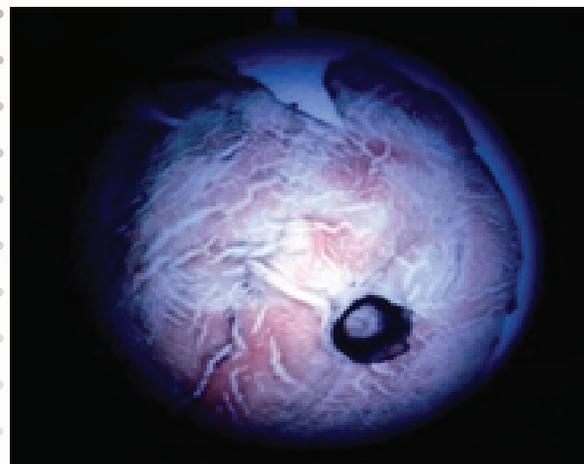


# SKOPEIN

## RUIV

### Reconstrucción de la Última Imagen

Carlos M. Diribarne



### Avances Tecnológicos al Servicio de la Criminalística

Nehuen Otero - Juan P. Acorinti



### Micología Forense

Lucas Bravo Berruezo - María C. Tranchida

iiEntrevista Exclusiva!!

## Roberto Foyo

Médico legista y Criminólogo



CRIME SCENE DO NOT CROSS

Copyright© Revista Skopein - ISSN 2346-9307  
Año II, Número 3, Marzo 2014

Imágenes de la portada:

[http://www.scilogos.com/life\\_off\\_the\\_edge/forensic-mycology-taking-hebeloma-to-court/](http://www.scilogos.com/life_off_the_edge/forensic-mycology-taking-hebeloma-to-court/)  
<http://forum.hoaxilla.com/index.php?topic=450.0>

## AVISO LEGAL

Skopein es una revista online de difusión gratuita y sin fines de lucro destinada al público hispanoparlante de todas partes del mundo, ofreciéndoles a estudiantes, graduados y profesionales, un espacio para publicar sus artículos científicos y divulgativos, con su respectivo registro digital de propiedad intelectual, detallado en el siguiente apartado. Por lo tanto, la revista no se hace responsable de las opiniones y comentarios que los lectores expresen en nuestros distintos medios (como el foro), ni de las opiniones y comentarios de los colaboradores que publican dentro de la misma, y en ningún caso representando nuestra opinión, ya que la misma sólo se verá reflejada dentro de las notas de la Editorial.

El equipo revisa el contenido de los artículos publicados para minimizar el plagio. No obstante, los recursos que manejamos son limitados, por lo que pueden existir fallas en el proceso de búsqueda. Si reconoce citas no señaladas de la manera debida comuníquese con nosotros desde la sección de contacto, o regístrese en nuestro foro para participar dentro del mismo.

## Registro de propiedad Intelectual

Tanto el proyecto, como el sitio donde se hospeda, logo e imágenes y todos los artículos, notas y columnas de opinión que publica cada número de la revista, están protegidos por el Registro de Propiedad Intelectual de SafeCreative y Creative Commons bajo las licencias Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported a nivel Internacional, y la licencia Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 2.5 en Argentina.

Todos los artículos poseen sus propios códigos de registro con dichas licencias, por lo tanto, el usuario común tiene permiso de copiar y distribuir el contenido de los mismos siempre y cuando realice el debido reconocimiento explícito de la autoría y no realice modificaciones en obras derivadas, ni lo utilice para hacer uso comercial.

“Skopein”, “La Justicia en Manos de la Ciencia” y logotipo incritos en registro de Marcas, acta N° 3.323.690 (INPI)





## Microscopio:

Derivado del adjetivo griego *micro* (mikrós), que significa "pequeño", y **SKOPEIN**, que se refiere a "observar", "examinar".

*"Instrumento óptico destinado a observar objetos extremadamente diminutos, haciendo perceptible lo que no lo es a simple vista". - Real Academia Española, 22ª edición (2001)*

## EQUIPO SKOPEIN

### DIRECTORES

Diego A. Alvarez  
Carlos M. Diribarne

### JEFES DE REDACCIÓN

Luciana D. Spano  
Patricio M. Doyle

### AUTORES EN ESTE NÚMERO

*Nehuen Otero*  
*Juan P. Accorinti*  
*Carlos M. Diribarne*  
*Hernán O. López*  
*Lucas Bravo Berruezo*  
*María C. Tranchida*  
*Patricia Pinotti*  
*Diego A. Alvarez*

### DISEÑO DEL SITIO

Diego A. Alvarez

### DISEÑO DE REVISTA

Carlos M. Diribarne  
Fernando Pino

### DISEÑO DE LOGO

Braian W. Diribarne

### POSICIONAMIENTO Y DIFUSIÓN

Diego A. Alvarez  
Patricio M. Doyle

## NOTA EDITORIAL

### **Año nuevo, imagen nueva**

Un nuevo año ha comenzado, y nos pareció motivo suficiente para que, en este número, hagamos cambios en lo que respecta a la imagen y estructura de la revista. Esperamos que disfruten de este nuevo diseño.

### **Staff Científico**

Como habrán visto, la sección "Equipo" de nuestro sitio ha sido modificada pero aún sigue en proceso de construcción. Además del apartado ya agregado de "Index de autores", es de nuestro interés incorporar un Staff Científico, integrado por especialistas de diferentes áreas forenses, que evalúe y analice el material postulado para ser publicado, ante dudas generadas en el equipo editorial, por carecer de los conocimientos específicos del tema en particular. Será bienvenida toda postulación proveniente de profesionales idóneos en áreas específicas que deseen formar parte de este nuevo staff, colaborando con nosotros en el desarrollo de Skopein.

### **Contenidos publicados**

En este número, que no pierde la naturaleza multidisciplinaria que caracteriza a nuestra revista, hemos enfocado su contenido principalmente en la Medicina aplicada a la Criminalística, incluyendo una entrevista a un conocido médico legista, y tratando temas donde la anatomía cumple un rol imprescindible en el esclarecimiento de interrogantes que surgen en la investigación de hechos delictivos.

### **Agradecimientos**

Como siempre, queremos agradecer a todos los que hacen posible la publicación del presente número: a los autores, a aquellos docentes que nos asesoran y ayudan en la redacción de artículos, a quienes difunden y comparten la revista a través de los distintos medios y redes sociales, al Dr. Foyo por permitirnos entrevistarlo, y por supuesto a los lectores, tanto a aquellos que nos siguen desde el comienzo como a los que recién nos descubren.

EQUIPO SKOPEIN

# SKOPEIN



## **Avances tecnológicos al servicio de la Criminalística**

*Por: Nehuen Otero  
Juan P. Accorinti*



## **Entrevista exclusiva a:**

### **ROBERTO FOYO**

*Medico legista y Criminólogo*



## **RUIV: Reconstrucción de la Última Imagen Visual (Parte I)**

*Por: Carlos M. Diribarne*



## **Firma Electrónica Escrita: ¿Es útil para el estudio comparativo?**

*Por: Hernán O. López*



## **Micología Forense**

*Por: Lucas Bravo Berruezo  
María C. Tranchida*



## **Grafología detectora de A.S.I.**

*Por: Patricia Pinotti*



## **Identificación Biométrica de Gemelos**

*Por: Diego Alvarez*



# RUIV

## Reconstrucción de la Última Imagen Visual

PARTE I



**Carlos M. Diribarne\***

*cdiribarne@skopein.org*

### INTRODUCCIÓN

No son pocas las veces que la ciencia ficción actúa prediciendo el avance de la ciencia real. Uno de los casos más conocidos es el de Julio Verne, en “De la Tierra a la Luna” de 1865, por nombrar una de sus obras, cuando describe el primer viaje de personas al satélite terrestre, hace referencia al trayecto de ida y al posterior regreso a la Tierra de tres tripulantes a bordo de una cápsula de aluminio.

En la novela “Ralph 124C 41+” de 1911, escrita por Hugo Gernsback, puede encontrarse menciones de energía solar, controles remotos de televisión, radares, teleconferencias, y muchas más tecnologías que tiempo después se hicieron de uso cotidiano.

De más está decir que otras obras literarias se han visto inmersas en este tipo de género, pero no es necesario remontarnos a novelas de hace más de 100 años para observar el fenómeno. En la serie “Star Trek” de 1966 se presentan muchos ejemplos de este tipo, con el agregado visual que genera la pantalla de televisión. Durante la misma, los personajes utilizaban dispositivos de comunicación personal, muy futuristas para la época, pero que hoy podrían considerarse obsoletos comparado con los actuales

smartphone. Monitores gigantes de pantalla plana, GPS, pendrives, entre otros pueden ser observados en la misma, sin mencionar otro tipo de tecnologías que se encuentran actualmente en desarrollo, como la nanotecnología o el armamento láser.

En la investigación policial, la literatura es extensa pero pocas veces se mezcla con la ciencia ficción. Un caso digno de mención es nuevamente el escritor Julio Verne. En su novela “Los Hermanos Kip” de 1902, se narra la historia naval en la que dos hermanos son acusados del homicidio del capitán de un navío y condenados a trabajos forzados. Sin embargo, un oficial de la embarcación confía en la inocencia de ambos, por lo que continúa buscando pruebas de ello sin resultados positivos. Posteriormente, realizan un estudio de una fotografía ampliada del cadáver del capitán, que se le había tomado el día del homicidio, y algo extraño les llama la atención en los ojos abiertos del difunto. Estudiando esa zona con lentes de aumento, logran observar una imagen grabada en su retina: la imagen de los verdaderos asesinos, dos tripulantes que habían planeado un motín y además plantado las pruebas en contra de los hermanos Kip<sup>1</sup>.

El autor propone entonces la posibilidad de que las retinas de las personas actúen como una especie de película

(\*) Estudiante de Criminalística (IUPFA), fundador de **e-commerce** de insumos periciales

<sup>1</sup> Tello Cristian. <http://www.jverne.net/analiterarios/hermanoskip.htm> [21-9-2013]

fotográfica que permite conservar las últimas imágenes vistas por la víctima de un homicidio, y las utiliza como prueba fundamental para probar la inocencia de los dos condenados, e inculpar a los verdaderos asesinos, en un caso criminal.

Este concepto es observado también en cuentos como "Claire Lenoir" de Auguste Villiers de l'Isle-Adam en 1867. En la novela "Tribulat Bonhomet", del mismo autor en 1887. En la película "Horror Express" en 1972. En la serie inglesa original "Doctor Who", en el episodio "The Ark in Space" de 1975. En las películas "Will Will West" de 1999 de EEUU e "Imago Mortis" italiana de 2009. Y en las series, "Fringe" episodio "The Same Old Story" de EEUU 2008, y en la inglesa "Doctor Who" (version moderna) episodio "The Crimson Horror" en 2013.

Probablemente esta no sea una enumeración taxativa, pero podemos darnos cuenta que desde hace mucho tiempo, se encuentra presente en el imaginario colectivo la idea de que es posible la Reconstrucción de la Última Imagen Visual (RUIV). Y esto no es por mera casualidad, puesto que el concepto ha tocado nuestra realidad y posiblemente se haya aplicado en varios casos de fines del siglo XIX.

## EXPERIMENTOS DE RUIVs

En estudios literarios sobre "Los Hermanos Kip" realizados por Marcel Moré y Jean Jules Verne (nieta del autor), se hace mención a que Verne pudo haber tomado la idea de dos fuentes. Una es el cuento "Claire Lenoir", el cual fue encontrado en su biblioteca personal y, como ya se dijo, trata un tema similar. El segundo son experimentos llevados a cabo por científicos de la época, los cuales eran dados a conocer en publicaciones a las que Verne tenía acceso y eran posiblemente leídos por él. Los estudiosos hacen mención a Félix Giraud-Teulon en París, Franz Boll en Roma o Willy Kühne en Heidelberg<sup>1</sup>, realizando experimentos relacionados con RUIV.

Lo cierto de esta explicación, es que sí

se realizaron experimentos en oftalmología años antes a la publicación de la novela. En 1876 fue descrita la purpura retiniana por Franz Boll (1849-1879, fisiólogo e histólogo alemán). Hoy este compuesto es conocido como rodopsina, y es un pigmento orgánico sensible a la luz, presente en los bastones de la retina, del cual se sabía en esa época que en presencia de iluminación perdía su color púrpura.

En 1881, Wilhelm Friedrich Kühne (1837-1900) fisiólogo alemán y conocido por acuñar el término de "enzima", realizó experimentos más específicos de RUIV. Utilizó conejos a los cuales mantenía en total oscuridad durante varios días para que sus retinas absorbieran la rodopsina. Luego los hacía observar imágenes fijas durante tres minutos, y pasado ese lapso de tiempo, se sacrificaba al animal, extrayendo sus ojos inmediatamente y colocándolos en una solución de alumbre. Al día siguiente podían observarse las imágenes grabadas.

La conclusión del experimento fue que las imágenes brillantes y de alto contraste permanecen en la retina durante veinticinco minutos después de producida la muerte. Además, intuyó que esto podría pasar también con humanos, lo cual fue puesto a prueba durante la ejecución a muerte por guillotina de un criminal de la época. El fisiólogo extrajo los ojos luego de producida la condena, y realizó observaciones en las retinas. Las fuentes discrepan acerca del resultado: algunas niegan que lo tuviera y otras atribuyen la reconstrucción de una imagen sin significado. En cualquiera de los dos casos, el experimento fracasó. Pueden encontrarse menciones anteriores de RUIV, pero Kühne fue el primero que experimentó con humanos y quien nombró a su técnica "optografía", como se la conoce hoy en día.

Si al leer esto la idea parece llamativa, es comprensible que para los contemporáneos de Kühne también, y por eso comenzó a divulgarse entre la sociedad, siendo probada en casos policiales entre los que incluso se llega a mencionar a dos víctimas de Jack el Destripador. Pero en ninguno se obtuvieron

resultados positivos. Incluso la única condena mencionada que se logró, fue en 1924, cuando un comerciante alemán terminó por confesar su crimen al enterarse de que se habían presentado RUIVs como prueba.

Por los resultados de la práctica, la técnica fue olvidada y descartada en la mayoría de los procedimientos policiales, pero se mantuvo latente hasta que, casi un siglo después de los experimentos de Kühne, las fuerzas policiales le pidieron a otro científico poner a prueba la técnica de la optografía con el fin de evaluar su utilidad. Fue en 1975 a Evangelos Alexandridis, fisiólogo, a quien se le encomendó esta tarea. Realizó experimentos similares a los de Kühne, también con conejos, de los que pudo obtener fotografías en las que puede observarse diferentes imágenes grabadas en las retinas. (ver fig. 1)

La conclusión a la que llegó fue que la retina capta la última imagen antes de morir, pero, para que esto sea posible, es necesario que permanezcan fijos observando un objeto detenido durante un período largo de tiempo, y que exista abundante iluminación. Con este razonamiento logró explicar los casos exitosos de laboratorio y también los fracasos en la práctica, ya que sería muy difícil que las tres condiciones se den en un caso real. Además, hizo la observación de que nunca podrían obtenerse imágenes nítidas del rostro de un asesino, por lo que descartó su aplicación forense.

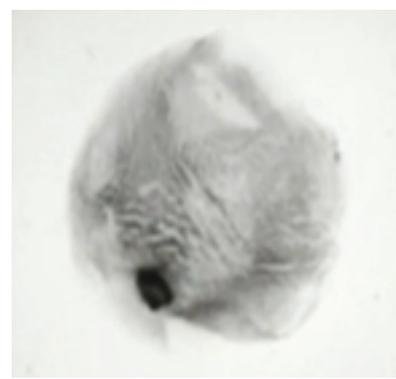
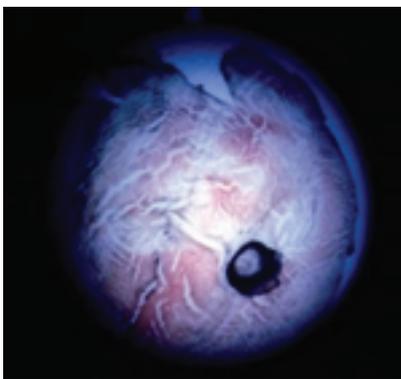


Fig. 1) Izquierda: Numero 75 grabado en el sector superior izquierdo de la retina, oscuro sobre un fondo más claro. Derecha: Diseño de cuatro cuadrados alineados.

Tales conclusiones parecen haber quitado el interés en el desarrollo de técnicas de RUIV, puesto que este es el último experimento que surgió durante la investigación de antecedentes, despidiéndose la optografía del mundo científico, permaneciendo en la literatura mencionada y como arte de la mano de Derek Ogbourne, quien creó un museo temático en 2007<sup>2</sup>.

Los experimentos de Kühne sugieren una manera de realizar RUIVs en base a los conocimientos e instrumental disponibles en su época y, aunque los de Alexandridis son más actuales, la mayoría de los avances en los conocimientos de muchas áreas se produjeron en las últimas décadas, por lo que cabe la posibilidad de encontrar nuevos métodos para lograr el objetivo. Para esto es necesario comprender en principio dos conceptos: el proceso visual y el proceso de muerte, para poder tratar de idear nuevos métodos o mejorar los anteriores.

## PROCESO VISUAL Y PROCESO DE MUERTE

Para poder desarrollar nuevas técnicas es necesario tener un conocimiento basto acerca del funcionamiento del proceso visual, y además poder llegar a entender como reaccionaran los componentes celulares luego de la muerte del individuo. Al unir estos dos conceptos se podrá tomar conciencia de cuáles son las posibilidades de tener éxito.

<sup>2</sup> <http://www.museumofoptography.net> [13-10-2013]

El proceso de visión puede ser entendido como un conjunto de etapas en la que información atraviesa tres estados. En la primera etapa, denominada “lumínica”, la información se encuentra en forma de fotón. Ésta se extiende desde la fuente de luz (directa o reflejada), pasando por el aire, atravesando las lentes naturales del ojo, como lo son la córnea, la cámara anterior, el cristalino y el humor vítreo, las cuales modifican su trayectoria por la refracción que ellas producen para enfocar la imagen en la retina, y también por el iris y la pupila que se encargan de aumentar o disminuir la cantidad de luz que llega hasta dicha membrana.

La segunda etapa, denominada “de fototransducción”, se desarrolla íntegramente dentro de los conos y bastones de la retina. Abarca desde el momento en el que la luz afecta al fotorreceptor rodopsina-componente clave del proceso- hasta que se genera una señal electroquímica en consecuencia, la cual es transmitida por conexiones sinápticas a neuronas que también están presentes en la retina.

En la tercera etapa, de “señales electroquímicas”, la información proveniente de los fotorreceptores es fragmentada por diferentes tipos de neuronas, como las bipolares presentes en la retina<sup>3</sup>. Y conforme avanza hacia la corteza cerebral, la señal se divide según características tales como forma, color, profundidad, y es procesada en distintos lugares de la misma. Además de esto, para poder ser interpretada tiene que compararse con datos presentes en la memoria.

De estos últimos tres párrafos pueden escribirse libros completos, y reiterando, la información que hoy tenemos disponible es infinitamente mayor a la que poseía Kühne y muy superior a la de Alexandridis. Sin embargo, del total proceso visual, acertaron en estudiar la retina, puesto que es la que tiene mayores probabilidades de poder

almacenar información una vez producida la muerte.

En el caso de la etapa lumínica, el paso de la luz por los lentes naturales no los afecta de ninguna manera. Si tomamos en cuenta la tercera etapa, la señal se fragmenta, e incluso pudiendo diferenciar datos, rearmar una imagen resultaría en un muy difícil rompecabezas.

La etapa de fototransducción, en cambio, es la candidata perfecta: la retina es una membrana plana, y sobre ella pueden trazarse ejes cartesianos, y teniendo los dos ojos, es posible relacionar puntos de las mismas con puntos exactos en el espacio, como de hecho lo hacemos habitualmente con la percepción de la profundidad. Además durante el proceso de visión se producen cambios intracelulares en los fotorreceptores, que podrían llevar a una evolución diferencial entre los sensores activados de los inactivos durante su proceso de muerte y posterior descomposición.

La conversión de luz en señales electroquímicas comienza cuando ésta interactúa con los pigmentos visuales situados en el segmento externo de los bastones y conos<sup>4</sup>, al incidir un fotón en una molécula de rodopsina que se encuentra en la membrana de los bastones. Los conos por su parte, poseen tres fotorreceptores diferentes, uno para cada color, pero que básicamente funcionan de la misma manera. La rodopsina está compuesta por dos fracciones, una proteica de gran tamaño denominada opsina, y una prostética llamada 11-cis retinal, de apenas unos cuantos carbonos, derivada de la vitamina A, ambas unidas entre sí por covalencia.

La única acción que provoca la luz es cambiar la configuración espacial de la parte prostética, como se lo puede ver en la fig. 2, de la conformación 11-cis, se isomeriza a todo-trans. Este pequeño cambio en el carbono 11 del compuesto, afecta a la disposición espacial que posee la parte

<sup>3</sup> Urtuvia Vicario, César. Artículo: “Fisiología de la retina I, el mensaje visual en la primera sinapsis”. Revista Ver y Oír. Junio 2004

<sup>4</sup> Conti, Fiorenzo. “Fisiología Médica”, Editorial McGraw-Hill, 2010 pág. 387

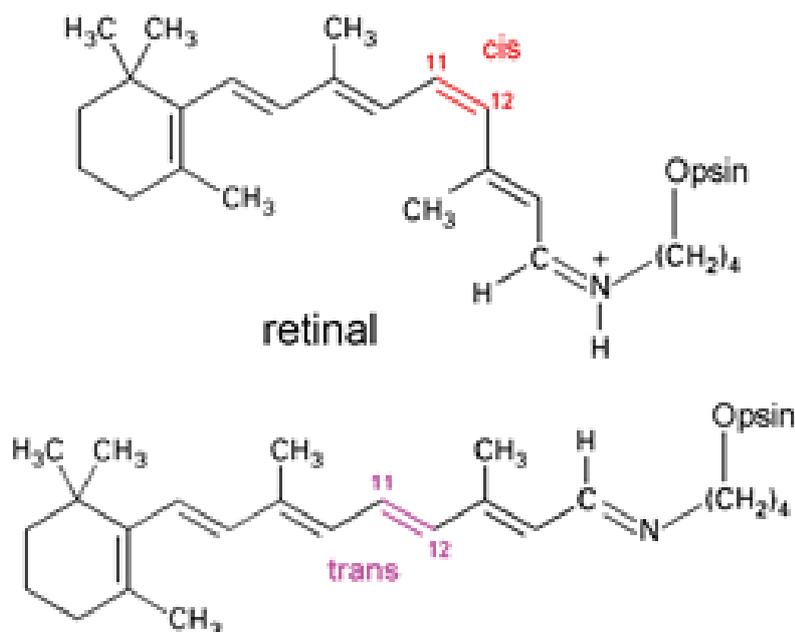


Fig 2. Conformaciones isoméricas del retinal. Arriba: Conformación 11-cis en oscuridad. Abajo: Conformación todo-trans en presencia de iluminación.

proteica, y al perder los enlaces de covalencia, empiezan a separarse gradualmente, hasta que antes de su división total, se convierten en metarrodopsina II, también conocida como rodopsina activa.

Este compuesto formado es el primer eslabón de un proceso interno celular al cual se lo conoce como “cascada de eventos”, aunque una reacción en cadena sería más descriptiva. La metarrodopsina II provoca la activación de otra proteína presente en el citoplasma llamada transducina, la cual hace funcionar a la enzima fosfodiesterasa de GMP<sup>5</sup> cíclico, que al variar el formato del compuesto de forma de ciclo a forma lineal, termina por cerrar canales de sodio, que funcionan en presencia del anillo. Una vez que se cierran los canales, dejan de ingresar a la célula iones cargados positivamente, principalmente el Na<sup>+</sup> y en menor cantidad el Ca<sup>++</sup> que usa el mismo canal, y el bastón o cono se hiperpolariza. Como respuesta a esta variación eléctrica, el fotorreceptor deja de liberar glutamato por sus terminales sinápticas, a neuronas a las cuales se encuentran unidas.

Este proceso cualitativamente descrito se profundiza al agregarle números. Un solo fotón inicial, que afecte a una sola molécula de rodopsina, provoca la activación

de 700 transducinas, y cada una de estas activa 1000 fosfodiesterasas, las cuales, cada una, convierten a 1400 GMPc en lineal<sup>6</sup>. Y si a esto le agregamos que cada bastón tiene mil millones de moléculas de rodopsina y que en lo cotidiano la luz no viaja sólo con un fotón, las diferencias internas de un fotorreceptor activo de uno inactivo pueden llegar a ser muy grandes.

El proceso no termina allí: la metarrodopsina II continúa separándose hasta que sus fracciones quedan totalmente independientes, aquí comienza el proceso de regeneración de rodopsina; la opsina o parte proteica se fosforila e inactiva permaneciendo en la membrana, y el retinal con forma todo-trans (lineal), sale del cono y se deposita en el epitelio pigmentario, un reservorio de vitamina A, donde se vuelve a “doblar” para unirse más tarde a una opsina y formar una nueva rodopsina.

El segundo concepto clave en la obtención de RUIVs, es entender qué es lo que ocurre a microescala durante la muerte de un individuo, y poder, en principio, determinar las diferencias de cómo evolucionará un fotorreceptor activo de uno inactivo durante el período postmortem.

En oposición a lo que pueda llegar a

<sup>5</sup> GMP : Guanosín Monofosfato, molécula implicada en transducción de señales celulares.

<sup>6</sup> Isea, Luis Alberto. <http://www.youtube.com/watch?v=tvTb8gBbqVI> [22-11-2013]

<sup>7</sup> Patitó, José Ángel. “Manual de Medicina Legal” Editorial AKADIA, 2012, pag. 65

pensarse, la muerte es un proceso, no es un momento o un instante<sup>7</sup>. Para poder entender esto, primero tenemos que tomar conciencia de que nuestro organismo está compuesto de millones de organismos más pequeños que también están vivos, y, en ningún caso, el ser y sus células mueren todas al mismo tiempo. Incluso hay células individuales que pueden vivir semanas y hasta reproducirse después del deceso del sujeto.

Podemos definir a la muerte (a todo nivel) como “la pérdida irreversible de organización o funciones vitales” de un organismo. La muerte de los individuos complejos es llamada somática y en el caso humano actualmente se la relaciona con la pérdida de las funciones cardíacas, respiratorias y neuronales (aunque este concepto ha variado a lo largo de la historia y nada indica que no lo vaya a volver a hacer) y culmina con la pérdida de las funciones biológicas básicas, psíquicas y sociales<sup>8</sup>. La muerte de las células se conoce con su nombre explícito, “muerte celular”, y se relaciona con insuficiencia bioquímica, depleción energética y otros mecanismos culminando en la destrucción de membrana y ADN<sup>9</sup>; igual que la anterior, el concepto ha variado a lo largo del tiempo y el conocimiento de los pasos avanza con la tecnología.

No hay una regla de relación entre los dos tipos de muerte. La celular no necesariamente implica la somática, de hecho, incluso antes del nacimiento gran cantidad de células de nuestro organismo ya han perecido para darnos la forma que nos caracteriza; como tampoco una muerte somática implica necesariamente la celular, por ejemplo millones de células sobreviven a la muerte de un individuo, cuando producida la misma son trasplantadas a otro ser en el cual pueden mantener sus funciones vitales.

Sin embargo, la mayoría de las muertes de interés en criminalística tienen una relación lógica entre la somática y la celular. Sin importar cuál sea la causa por la cual se producen muchas muertes violentas

(disparos por armas de fuego, heridas por armas cortantes, punzantes, contusas, mixtas, asfixias, etc), la muerte de los conos y bastones de la retina, así como de la mayoría de las células del cuerpo, se produce por agotarse el oxígeno a nivel tisular.

Las etapas de la muerte somática son tres: agonía, muerte clínica y muerte biológica. La primera fase es una etapa reversible de duración variable, que va desde prolongada en enfermedades, hasta de pocos segundos o incluso inexistente en las violentas. La segunda etapa es un corto período de escasos minutos que se caracteriza por el cese de la actividad cardíaca y respiratoria principalmente; y será irreversible dependiendo del daño que la falta de oxígeno genere en el sistema nervioso central. La última etapa es la muerte biológica o muerte propiamente dicha, ya que en esta fase es cuando se produce la irreversibilidad del proceso<sup>8</sup>.

Producida la muerte somática, cada tejido del organismo muere en diferentes lapsos de tiempo, que dependen de la “resistencia” a la falta de oxígeno de cada tipo de célula o, también podríamos decir, tiene que ver con el tiempo que cada tejido tarda en gastar el oxígeno almacenado. Las neuronas, con una de las actividades más dinámicas, duran entre 4 y 10 minutos, los riñones unos 45 minutos, las células cardíacas pueden demorar horas, y, en algunos casos, las células epiteliales que producen el pelo y las uñas continúan reproduciéndose postmortem.

Los fotorreceptores son similares a las neuronas, y su actividad es una de las más dinámicas del organismo, por lo que podríamos pensar que agotarían rápidamente su oxígeno/energía, haciendo que la posible información que contengan sea cercana a la muerte somática o a unos pocos minutos posteriores a la etapa de muerte biológica.

En la actualidad se ha llegado al consenso de englobar a la muerte celular en

<sup>8</sup> Ibargoyen, Guillermo Siro. *Material didáctico compilado y editado por autor, Cátedra de Patología General, Anatomía y Fisiología Patológicas. Fac. Cs. Veterinarias, U.N. Rosario 2004*

<sup>9</sup> Jaramillo-Magaña, Jose J. Artículo: “Muerte Clínica, Muerte Somática y Muerte Encefálica” *Revista Mex Anest 1993*

dos grandes grupos, y estos son la apoptosis y la necrosis<sup>10</sup>. El primero es un proceso que se encuentra programado en el ADN, en el cual ante un estímulo que puede ser tanto interno como externo, comienzan a producirse proteínas que gastan ATP<sup>11</sup> en el proceso, provoca la degradación ordenada del ADN y culmina con la división de lo que era la célula en cápsulas que contienen los restos de citoplasma que luego son fagocitadas por glóbulos blancos.

En el segundo grupo, los procesos de degradación celular son provocados por violencia o catástrofe. La necrosis tiene grandes diferencias con la apoptosis, entre ellas no requiere de ATP para desarrollarse, y siendo la falta de oxígeno la causa que nos interesa es lógico pensar que los conos y bastones morirán por este proceso. Durante la misma se produce la pérdida del control de la osmosis, el ADN es fraccionado de manera aleatoria, y por último, la membrana celular termina por romperse, liberando el contenido intracelular al medio lo que induce a la necrosis a células vecinas.

De la misma manera que ocurre con los seres complejos, la muerte celular tiene diferentes etapas. Durante la detención del flujo sanguíneo, la célula deja de recibir oxígeno y sus desechos comienzan a acumularse, la misma reacciona con un periodo agónico en el cual comienza a obtener ATP por vía glucolítica, que provoca la acidificación del citoplasma y la energía obtenida no es suficiente para sus requerimientos. Si el flujo de oxígeno vuelve, la célula tiene posibilidades de mantener su vitalidad, pero si continúa faltando, altera la permeabilidad de las membranas, el  $K^+$  sale al medio intercelular, el  $Na^+$  y el agua comienzan a ingresar, se afectan las funciones hormonales, luego aumenta desmesuradamente el  $Ca^{++}$  intracelular, lo que activa fosfolipasas que actúan sobre la membrana. Finalmente se llega a la etapa irreversible donde el ADN es alterado y fraccionado aleatoriamente, con la posterior destrucción de las membranas y liberación de componentes internos al medio.

Como se puede observar, la muerte celular provoca, por falta de ATP, que las bombas de  $Na^+$  y  $Ca^{++}$  dejen de funcionar, lo que en los bastones iluminados ya se había producido por falta de GMPc. Otra diferencia que sería posible de observar es el mismo GMPc, el cual por su conformación diferente a la lineal, podría descomponerse a diferente velocidad que el GMP lineal. Además podría mantenerse la presencia de opsina o rodopsina en las membranas, la acumulación de todo-trans retinal en el epitelio pigmentario, o incluso la presencia o no de glutamato en las uniones sinápticas, ya que las iluminadas no lo liberan.

Luego de entender de qué manera podrían relacionarse ambos procesos, tendríamos que estudiar qué posibilidad existe de determinar la actividad de un organismo previa a la muerte, en base a diferencias de características postmortem. Un ejemplo de esto es descrito teóricamente en la tanatología: la rigidez cadavérica es un efecto de endurecimiento de los músculos que se produce por reacciones internas de células musculares. El tiempo en el que aparezca luego de la muerte puede variar en función de varios factores, entre ellos la actividad previa del músculo, debido a esto, podría diferenciarse si una persona estuvo corriendo o se mantuvo quieta antes de morir. Llevando este concepto a la escala micro, las células de la retina podrían comportarse de alguna manera similar, variando alguna de sus características postmortem en función de la actividad previa, si se encontraban iluminadas (activas) o no iluminadas (en reposo).

Otro concepto obtenido a través de la tanatología es la pérdida de información que el cuerpo contiene, producto de la descomposición del cadáver. Un ejemplo claro de esto es lo dificultoso que puede resultar en un ahorcado determinar si fue suicidio u homicidio, por la pérdida de características propias de cada caso, en un estado avanzado de descomposición como lo es el colicuativo. Teniendo en cuenta esto, no

<sup>10</sup> Jordán, Joaquín. Artículo: "Apoptosis: muerte celular programada", Revista OFFARM. Junio 2003

<sup>11</sup> ATP: Adenosín Trifosfato, nucleótido que interviene en la obtención y transmisión de energía celular

sería posible esperar que alguna información permanezca indefinidamente en la retina, interrogante que sería de mucho interés determinar.

## ESTIMACIONES FINALES

Los datos e hipótesis aquí volcadas forman parte de la investigación de tesina llevada a cabo por el autor de este artículo para ser presentada ante IUPFA. La misma se encuentra finalizando la fase de recopilación de información, y próximamente se llevarán a cabo experimentos para determinar algunos de los interrogantes surgidos, entre los que se intentará determinar diferentes características de los fotorreceptores que perecieron iluminados y en oscuridad. De existir esta diferencia, se procederá a evaluar el tiempo necesario de exposición y el tiempo en el cual podrán permanecer diferenciables, y cuyos resultados se darán a conocer por este mismo medio.

Además de los conocimientos más elaborados que tenemos hoy sobre el funcionamiento del sistema visual, de mecanismos intracelulares y de los procesos de muerte, también tenemos al alcance, instrumental muy por encima de los utilizados por los científicos que se dedicaron a estudiar este problema. Gracias a esto, no sólo es posible estudiar la diferencia de color entre las células iluminadas y las no iluminadas al momento de la muerte, sino que se puede indagar en muchas otras características, como el contenido intracelular de calcio.

Compartiendo el pensamiento de Alexandridis, no sería posible que pueda obtenerse una imagen nítida del asesino. Sin embargo, esto no es suficiente como para descartar la aplicación forense. Las pruebas son importantes dependiendo del caso, y si pudiésemos determinar en un "suicida" encontrado en una habitación oscura, a través del estudio de su retina, que sus conos y bastones presentan características de haber muerto iluminados, sería un indicio para replantearse el suicidio. Y en el caso opuesto, que en un futuro la técnica permita observar un rostro nítido, esto no significaría

necesariamente que el mismo sea del verdugo, sino simplemente el último rostro o fotografía de un rostro observada por la víctima.

## BIBLIOGRAFÍA:

Urtuvia Vicario, César. Artículo: "Fisiología de la retina I, el mensaje visual en la primera sinapsis". Revista Ver y Oír. Junio 2004

Conti, Fiorenzo. "Fisiología Medica", Editorial McGraw-Hill, 2010

Patitó, José Ángel. "Manual de Medicina Legal" Editorial AKADIA, 2012

Jordán, Joaquín. Artículo: "Apoptosis: muerte celular programada", Revista OFFARM. Junio 2003