

El ADN, los forenses y Ayotzinapa

Miguel Ángel Cevallos

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM
Presentado por Agustín López Munguía
Instituto de Biotecnología, UNAM
Academia de Ciencias de Morelos

El Dr. Cevallos es un entusiasta divulgador de la Ciencia con contribuciones frecuentes en la revista *¿Como ves?* que edita la DGDC de la UNAM.

El ADN, los forenses y Ayotzinapa

Los 43 normalistas de la Escuela Normal Rural "Raúl Isidro Burgos" en Ayotzinapa no son las únicas personas que han desaparecido en México. En nuestro país, en la última década, hemos perdido el rastro de más de 26,000 personas, según las estimaciones de *Human Right Watch*. La angustia constante que sufren los parientes y amigos de todos ellos no podrá mitigarse hasta que sepamos que ocurrió con cada uno de ellos (figura 1).

Los científicos forenses cuentan hoy con

Presentación

El Doctor Miguel Ángel Cevallos estudió Biología Experimental en la UAM-I y el doctorado en Investigación Biomédica Básica en la UNAM. Actualmente labora como investigador titular de tiempo completo en el Centro de Ciencias Genómicas de la UNAM. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Su intereses de investigación se centran en la genética molecular de bacterias y en su evolución.



Fig.1 Imagen icónica usada para recordar a los 43 normalistas de Ayotzinapa secuestrados.



Fig. 2 Fotografía tomada en 1906 de la Gran Duquesa Anastasia, hija de Nicolas II, último zar ruso, y cuya muerte fue motivo de controversia hasta 2009 en que fue aclarada por la Universidad Médica de Innsbruck mediante análisis de ADN.

una serie de herramientas que les permiten regresarle su nombre y apellido a los restos mortales de las personas que fueron víctimas de accidentes catastróficos, desastres naturales, crímenes de guerra, genocidio, y crímenes arteros, aún décadas después de que murieron. De hecho existen asociaciones de carácter multinacional como la *International Commission on Missing Persons (ICMP)* que se dedican con ahínco a estas tareas. Uno de los grandes triunfos de esta comisión fue identificar cerca de 8,000 personas que se encontraron en una fosa común clandestina en la población de Srebrenica, en Bosnia-Herzegovina. Estas personas fueron víctimas de una matanza sistemática llevada a cabo por las Unidades Armadas de la República de Serbia, durante la guerra en los Balcanes (1995). Hay otras instituciones que hacen un trabajo igualmente importante como la *Fundación de Antropología Forense de Guatemala*, cuyas metas son identificar a los desaparecidos y documentar los asesinatos que sucedieron durante su larguísima guerra civil. Hay grupos similares que están trabajando en identificar a las víctimas que dejó el huracán Katrina, en nueva Orleans o que realizan sus tareas en situaciones políticamente delicadas como aquellos forenses que trabajaron en la identificación de las víctimas del avión de *Malasia Airlines* derribado recientemente en Ucrania. El *Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF)* que apoya a las autoridades mexicanas en el reconocimiento de los cuerpos hallados en diferentes fosas comunes a lo largo de nuestro territorio, se inició como un Organización Civil para investigar los 9000 "desaparecidos" de la dictadura Argentina. Este grupo tiene muchísima experiencia y desde 1984 brinda entrenamiento y asesoría a todos los gobiernos que se lo solicitan. Sin embargo, los restos humanos extensamente quemados que se encontraron cerca de Co-cula exigen un trabajo técnico más especializado y el Gobierno Mexicano decidió contratar los servicios forenses de la *Universidad Médica de Innsbruck*, en Austria,

cuyo prestigio se arraiga en la ayuda que han prestado para resolver, literalmente, miles de crímenes y en su participación exitosa en la identificación de muchas de las víctimas del Tsunami del 2004. Su trabajo alcanzó fama internacional cuando en 2009 pudieron identificar los restos de dos de los hijos de Nicolás II, último Zar de Rusia. Hasta ese entonces no solo no se tenía evidencia contundente sobre el sitio en el que habían sido enterrados, sino que se especulaban que podrían estar vivos (figura 2). Estas investigaciones se publicaron en la revista científica *Plos One*, sacudiendo a la opinión pública internacional. No se puede entender la necesidad de los servicios de estos expertos si no se contemplan las dificultades que enfrentan durante su trabajo: en el momento que ocurre la muerte de una persona, sus órganos y todas las células que los conforman, empiezan a descomponerse, entre otras causas, por la acción de los microorganismos que habitan dentro del cuerpo y de los que se encuentran en el medio ambiente que rodea al cadáver. En la misma medida que ocurre esta descomposición, se degrada el material genético (el ácido desoxirribonucleico o ADN) que se encuentra en cada una de las células. Sin embargo, en el interior de los huesos largos, como el fémur, y en las piezas dentales, la degradación es muchísimo más lenta. Así es que si un cadáver se encuentra en un ambiente físico benigno, se pueden aislar diminutas cantidades de material genético de los restos que queden del cuerpo, aún siglos después de la muerte del individuo. Tanto así, que se ha podido aislar y caracterizar el material genético de los huesos de hombres de Neanderthal que vivieron hace 38 000 años.

Una condición esencial para que se pueda utilizar el ADN para identificar a una persona a partir de su cadáver, es que debemos contar con muestras de material genético de alguno de sus padres o de sus parientes cercanos. Para el caso de los 43 normalistas de Ayotzinapa, obviamente los forenses ya cuentan con una base de datos con

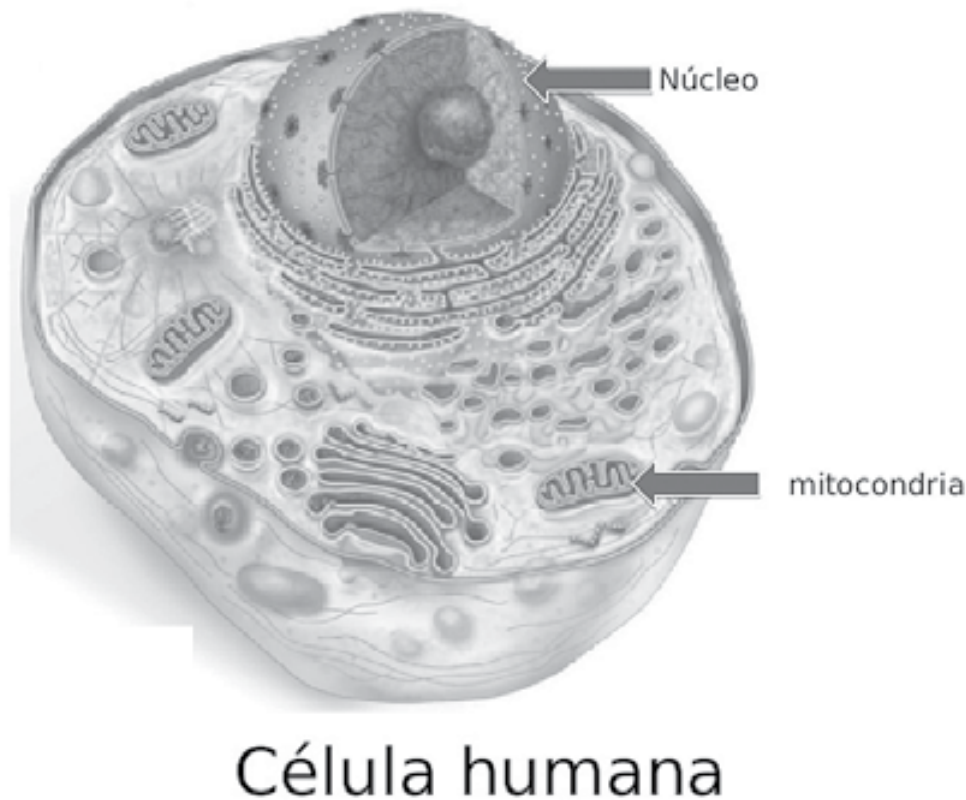
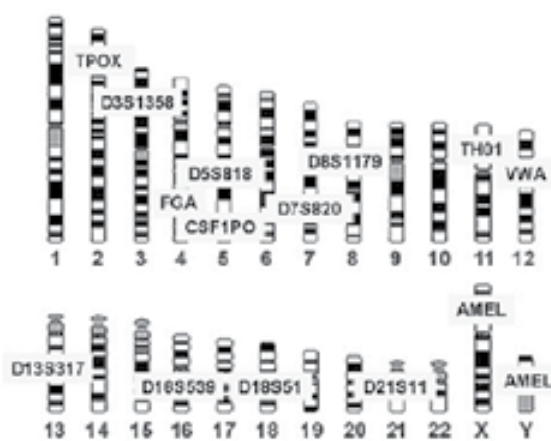


Fig. 3 Diagrama de una célula humana mostrando el núcleo y las mitocondrias, en las que se encuentra ADN.

Localización de los 13 marcadores genéticos del sistema CODIS



Las siglas corresponden al nombre y la posición en los cromosomas de los 13 marcadores genéticos del sistema CODIS más dos que se usan para determinar el sexo (AMEL).

Fig. 4 Localización de los 13 marcadores genéticos del sistema CODIS. Las siglas corresponden a su nombre y posición. Se muestran también los sitios (AMEL) usados para determinar el sexo.

las características del material genético de los padres, de los hermanos y de otros parientes cercanos.

Un segundo problema que siempre hay que enfrentar cuando un cuerpo se empieza a descomponer, es que en él proliferan bacterias que también tienen su propio ADN y se dificulta en cierta medida el aislar el ADN de origen humano. Para complicar las cosas, el ADN de los restos cadavéricos también puede "contaminarse" con el ADN de todo ser humano que haya tenido contacto con el cuerpo, incluidos los policías que encontraron los dichos restos o incluso el de los mismos médicos forenses que participan en el proceso de identificación. Por ello, la extracción de ADN se debe hacer en laboratorios altamente especializados.

Por lo antes expuesto, los médicos forenses suelen elegir el interior de los huesos

largos o de las piezas dentales para aislar el ADN que van a usar en el proceso de identificación. El exterior de esos restos debe estar, de todos modos, perfectamente limpio y estéril para evitar, en lo posible, la contaminación con otras fuentes de ADN. Una vez que se ha extraído la pulpa del material dentario o del interior de los huesos, se pulveriza y el ADN se extrae, siguiendo una serie de protocolos de laboratorio que en general son bastante simples. Sin embargo, una nueva complicación puede surgir durante la purificación del ADN si está degradado, aunque existen ya las técnicas adecuadas para rescatar cantidades minúsculas de este material.

El material genético en los humanos está organizado en 23 pares de cromosomas. Un cromosoma de cada par viene de la madre y el otro del padre. Los cromosomas están resguardados en los núcleos

de cada una de nuestras células. Cada cromosoma se compone por una enorme molécula de ADN que puede llegar a tener hasta un metro de longitud. No obstante, también contamos con una pequeñísima pero muy importante pieza de material genético que se encuentra en las mitocondrias de nuestras células (figura 3). Cada célula tiene un núcleo pero tiene además cientos de mitocondrias. Esto quiere decir que el ADN de la mitocondria puede llegar a contribuir con el 10% del total del ADN que se puede aislar de un tejido. Además, este ADN se descompone más lentamente que el de los cromosomas, característica deseable cuando se quiere analizar muestras muy viejas o muy estropeadas.

Las moléculas de ADN están compuestas de cuatro bloques estructurales que los químicos han llamado Adenina (A), Timina (T); Guanina (G) y Citosina (C) y que para muchos fines se identifican únicamente por su letra. El orden en que se encuentran estos bloques determinan no solo nuestro aspecto físico sino también como funcionan las células de nuestro cuerpo. Aunque la diversidad de los rasgos físicos de las personas sea enorme, la verdad es que genéticamente somos muy parecidos. Si tomamos dos personas al azar su ADN será 99.9% idéntico. Así es que las diferencias en apariencia y en fisiología entre dos individuos están en ese 0.1% restante. Estas diferencias están repartidas a lo largo de los cromosomas y el 50% de ellas estarán en los cromosomas que vienen de nuestra madre y que compartimos con ella, y la otra mitad, en los cromosomas que heredamos de nuestro padre. Los científicos forenses han ideado un sistema para obtener un perfil genético de las personas que se centra en ciertas regiones de los cromosomas que contienen lo que llaman *tandas de secuencias cortas repetidas* (STR). Estas secuencias las podemos imaginar como los carros de un ferrocarril, en donde cada carro representa la secuencia de bases que se repite. Digamos que un típico caso de un STR sería: GATTC-GATTC-GATTC-GATTC donde la secuencia de bases GATTC se repite 4 veces seguidas. Lo interesante de ellas es que el número de repeticiones en un cromosoma dado cambia de persona a persona. Así es que un individuo podría tener en un cromosoma materno 4 de estas repeticiones y 9 en el cromosoma paterno equivalente y otra persona 6 de estas repeticiones en un de esos cromosomas y 3 en el otro. Los forenses de la mayor parte del mundo se han puesto de acuerdo y han elegido 13 de estas secuencias STR como *marcadores genéticos* para construir un perfil o huella genética, dentro de un esquema que se conoce como CODIS (figura 4) y que se ha hecho famoso en series de televisión

como CSI. La posibilidad de que dos personas elegidas al azar tengan iguales estos 13 marcadores, es extremadamente remota, a menos que sean parientes en línea directa, y es por lo cual ello que los forenses de muchos países los utilizan en sus investigaciones policíacas.

Los científicos han ideado sistemas para contar el número de repeticiones de los 13 marcadores de CODIS. Así, se obtienen 26 cuentas en total: 13 de los cromosomas paternos otro tanto de los maternos. Con estas números podemos construir una huella genética de una persona y compararla con la de otras.

Los forenses argentinos cuentan con una base de datos que contiene las huellas genéticas de todos los padres y las madres de los normalistas, así que cada vez que determinan el perfil genético de un resto humano, lo contrastan con esa base de datos. Si ese resto humano comparte 13 marcadores con una madre y 13 marcadores con los de un padre, ese resto humano con toda certeza es el de un hijo de esa pareja.

Los restos que encontraron en Cocula son un reto aparte. Lo poco que queda está casi completamente calcinado y es todo un triunfo que los forenses de Innsbruck hayan encontrado un fragmento de hueso con la suficiente integridad para hacer su trabajo y que el 7 de diciembre pudieran afirmar que ese resto humano perteneció a Alexander Mora Venancio, uno de los normalistas desaparecidos.

La estrategia que están usando los forenses de Innsbruck es analizar el ADN mitocondrial de esos maltrechos restos, en vez de centrarse solamente en los 13 marcadores genéticos que comúnmente se utilizan. El ADN mitocondrial tiene muchos menos cambios que el ADN de los cromosomas y por ello es menos útil para hacer buenos perfiles genéticos. Los cambios que ocurren normalmente en esta molécula se acumulan en una pequeña región del ADN mitocondrial que se llama el *D-loop*. Las mitocondrias las heredamos solo de nuestras madres ya que todas las mitocondrias de cada una de nuestras células provienen de aquellas que estaban en el óvulo que nos dio origen. El espermatozoide, en contraste, no cede al óvulo fecundado ninguna de las suyas. El ADN mitocondrial, que esperamos los forenses puedan analizar, permitirá afirmar si alguno de los restos pertenece a un hijo, de una de las madres de los normalistas de Ayotiztlan.

En los últimos 2 meses se han encontrado en fosas clandestinas otros restos humanos que no tienen nombre y que se suman a los 26,000 desaparecidos de la última década. Esta investigación no debiera limitarse a averiguar si los restos que se han encontrado pertenecen o no a los normalistas. El gobierno y la sociedad civil deberían no solo listar las personas que han desaparecido, sino también generar una base de datos con los perfiles genéticos de todos los padres, las madres y los parientes cercanos de los desaparecidos para que algún día esas familias sepan con certidumbre que ocurrió con sus seres amados, y que se haga justicia.