

MÉS ENLLÀ DE L'EFECTE CSI

CLAUS PER A UNA BONA COMUNICACIÓ DE LA GENÈTICA FORENSE

ÁNGEL CARRACEDO I LOURDES PRIETO

La genètica forense aplega els coneixements genètics necessaris per a resoldre determinats problemes judicials. En les darreres dècades, les noves tècniques han mostrat el potencial de l'ADN com a mètode de reconeixement. Aquests avenços han anat de la mà d'altres millores a l'hora de comunicar el resultat de les proves amb la introducció de l'avaluació estadística. En l'imaginari col·lectiu, nodrit per sèries com *CSI*, les proves forenses es presenten com segures al cent per cent, quan la realitat no és així. No obstant això, l'anàlisi estadística ha permès passar d'una medicina forense artesanal, basada en la intuïció i l'experiència, a una de basada en l'evidència, en les dades i en la quantificació probabilística.

Paraules clau: genètica forense, empremta genètica, criminalística, ADN, polimorfismes genètics.

■ INTRODUCCIÓ

La genètica forense és una especialitat de la genètica i de la medicina legal que inclou un conjunt de coneixements genètics necessaris per a resoldre certs problemes judicials. Les proves més comunament sol·licitades als laboratoris de genètica forense inclouen proves de paternitat, de criminalística biològica (anàlisi de vestigis biològics d'interès criminal com ara taques de sang, esperma, suor o saliva, pèls i cabells, mostres de contacte, etc.), casos d'identificació de cadàvers i restes cadavèriques, així com altres perícies més especialitzades que inclouen ADN no humà (tràfic il·legal d'espècies protegides, frauds alimentaris, etc.).

A Europa hi ha uns tres-cents laboratoris de genètica forense i a Espanya més de cinquanta, encara que només uns pocs estan acreditats amb la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 –que garanteix la competència tècnica i la fiabilitat dels seus resultats– i fan proves d'investigació criminal. En la resta del món hi ha aproximadament vuit-cents laboratoris més, normalment en països desenvolupats econòmicament i socialment. Europa lidera encara el camp en recerca científica però Estats Units, Corea i Austràlia-Nova Zelanda estan tenint un creixement major. La medicina legal, gràcies a l'impuls de la genètica fo-

rense, és l'única àrea del Science Citation Index (SCI) liderada per grups espanyols.¹

Una activitat de creixent importància en la genètica forense són les bases de dades d'ADN amb fins d'identificació criminal. Estan legislades i implantades en tota la Unió Europea, així com en molts països més del món, i representen la introducció de milions de perfils d'ADN per any.

El descobriment en 1985 pel grup d'Alec Jeffreys (Jeffreys, Wilson i Thein, 1985) de l'anomenada empremta genètica (és a dir, l'anàlisi de polimorfismes d'ADN molt variables entre els individus) va significar un canvi radical en les possibilitats del laboratori de genètica forense. Perquè un locus genètic siga polimòrfic, s'assumeix

que l'al·lel (és a dir, la variant) més comú per a aquest locus ha de tenir una freqüència menor del 99 %. Els minisatèl·lits d'ADN són repeticions en tàndem de nucleòtids amb un nombre de repeticions molt variables entre individus, és a dir, altament polimòrfics.

Abans de l'ús de l'ADN, la majoria dels casos d'investigació de la paternitat se solucionaven amb marcadors clàssics com ara grups sanguinis o variants de proteïnes i enzims sanguinis. No obstant això, l'ús de

**«UNA ACTIVITAT
DE CREIXENT IMPORTÀNCIA
EN LA GENÈTICA FORENSE
SÓN LES BASES DE
DADES D'ADN AMB FINS
D'IDENTIFICACIÓ CRIMINAL.»**

¹ <http://archive.sciencewatch.com/ana/fea/11julaugFea>



polimorfismes de l'ADN ha simplificat la prova i l'ha feta més barata i segura. Ofereix, a més, majors possibilitats de resolució en casos difícils, com aquells en què el presumpte pare ha mort i cal realitzar la investigació de la paternitat per mitjà de restes cadavèriques o de familiars directes del pare, o en els diagnòstics prenatal de paternitat (en casos de violació, per exemple). Tots aquests casos eren difícilment abordables amb la metodologia anterior al descobriment dels polimorfismes d'ADN repetitiu i particularment del polimorfisme dels microsatèl·lits, que són repeticions en tàndem curtes, de dos a sis parells de bases (encara que en genètica forense no s'usen les de dos o tres parells de bases perquè produeixen artefactes tècnics que compliquen l'anàlisi). Els microsatèl·lits o STR² són menys polimòrfics que els minisatèl·lits, però es prefereixen perquè són susceptibles d'amplificació per PCR (reacció en cadena de la polimerasa en les seues sigles en anglès³), permeten una automatització del procediment i se n'analitzen simultàniament més de vint (seleccionats i validats pels laboratoris forenses). Posseeixen un poder de discriminació enorme i s'ha aconseguit un alt grau d'estandardització tècnica a nivell mundial, la qual cosa ha permès un extens intercanvi de dades, controls de qualitat molt rigorosos i una alta seguretat en les anàlisis.

En identificació de restes òssies la revolució ha estat també important, encara que hi ha casos de notable dificultat per la degradació de l'ADN en les mostres. De vegades cal recórrer a l'anàlisi de l'ADN mitocondrial, que, encara que no és tan variable com el nuclear, posseeix un nombre més gran de còpies, per la qual cosa és més probable trobar-ne un fragment intacte quan l'ADN està molt degradat. No es pot usar, lògicament, en proves de paternitat perquè la seua herència és per via materna, però permet la reconstrucció de llinatges i així va ser utilitzat per primera vegada en la identificació de les restes de la família Romanov, l'últim tsar de Rússia i la seua família, assassinats en la Revolució bolxevic.

Gràcies a l'ADN s'han resolt nombrosos casos de gran importància en tot el món com la identificació de desapareguts en la dictadura argentina. També han estat i són investigats molts desastres de masses i enigmes històrics.

En criminalística biològica la revolució ha estat total, particularment en l'anàlisi de taques d'esperma, de pèls

**«LES TÈCNiques DE
SEQÜENCIACIÓ DE NOVA
GENERACIÓ ESTAN
PRODUINT UNA REVOLUCIÓ»**



Jane Gitschler

El descobriment en 1985 pel grup d'Alec Jeffreys (en la imatge) de l'anomenada empremta genètica (és a dir, l'anàlisi de polimorfismes d'ADN molt variables entre els individus) va representar un canvi radical en les possibilitats del laboratori de genètica forense.

i cabells, saliva, o taques minúscules de sang, atès que, en aquests vestigis, es podia donar molt poca informació sobre la persona a qui pertanyien utilitzant marcadors clàssics. Avui, a partir d'un únic cabell, d'un mínim nombre d'espermatozoides o d'una taca enve-

llida de sang es pot, moltes vegades, aportar dades de gran valor sobre la individualitat d'aquest vestigi, un avenç impensable fa pocs anys.

També és especialment important l'aplicació del polimorfisme de l'ADN en els delictes contra la llibertat sexual, delictes en què, davant de la negativa del presumpte culpable, no solen existir més proves indicatòries que les proporcionades per possibles restes d'esperma en roba i en cavitat vaginal o anal. L'esperma és un vestigi idoni per a l'anàlisi d'ADN i els marcadors clàssics amb prou feines aportaven dades d'utilitat excepte en casos excepcionals.

En el cas de mescles home-dona amb escàs component masculí, ha estat d'enorme importància la in-

² De les sigles en anglès de *Short Tandem Repeats*.

³ *Polymerase Chain Reaction*.



Sergio Moises Pinau Pinau



roducció dels microsatèl·lits de cromosoma Y, ja que, si la quantitat d'ADN masculí és escassa en el total de la mostra, no es podria veure el seu perfil de microsatèl·lits de cromosomes autosòmics per un inconvenient tècnic de la PCR, que és l'amplificació preferencial de la classe més abundant.

Fins i tot es pot, avui dia, analitzar ADN a partir del simple contacte amb un objecte, encara que la baixa quantitat d'ADN i la contaminació fan moltes vegades difícil interpretar les troballes.

El potencial de l'ADN com a mitjà d'identificació va fer que ben aviat es proposara aplegar bancs de dades de perfils d'ADN de delinqüents. Així es van implantar a Anglaterra en 1995, seguit d'Irlanda del Nord i Escòcia en 1996. Nova Zelanda també els va posar en marxa en 1996, mentre que els Països Baixos, Eslovàquia i Àustria ho van fer un any després, en 1997. Els Estats Units, Alemanya i Eslovènia, en 1998, van ser els següents i a poc a poc tots els altres països avançats els van anar implantant i van anar desenvolupant una legislació específica. A Espanya estan regulats per la Llei Orgànica 10/2007, de 8 d'octubre,

**«NO ÉS LA FUNCIO
DEL PÈRIT FORENSE
EMETRE UNA OPINIÓ
SOBRE LA CULPABILITAT
O INNOCÈNCIA DEL
SOSPITÓS»**

reguladora de la base de dades policials sobre identificadors obtinguts a partir de l'ADN. També al desembre de 2008 es va aprovar crear la Comissió Nacional per a l'ús forense de l'ADN (Reial Decret 1977/2008, de 28 de novembre).

Cal mencionar que, encara que els microsatèl·lits d'ADN que s'inclouen en bases de dades no proporcionen informació mèdica rellevant en la majoria dels casos, tampoc són completament neutrals i es pot obtenir amb ells dades d'alteracions cromosòmiques, particularment en cromosomes sexuals i algunes malalties infreqüents, per la qual cosa es tracta d'una informació sensible.

Potser l'aplicació més nova de la genètica forense actual és el que es denomina fenotipat forense per ADN (Kayser i De Knijff, 2011), que inclou la determinació de l'origen geogràfic, de les característiques físiques i de l'edat de la persona que ha deixat una mostra biològica amb fins d'investigació policial.

Per determinar l'ancestralitat s'usen uns polimorfismes nucleotídics simples (SNP)⁴ específics denominats marcadors informatius d'avantpassats (AIM)⁵ que tenen diferències molt importants entre poblacions. Aquest tipus de prova la vam fer servir amb èxit per primera vegada en els atemptats de l'11-M de Madrid de 2004 per a predir l'origen geogràfic de perfils no identificats trobats en objectes importants per a la investigació judicial del cas (Phillips et al., 2009). L'eficàcia del mètode és molt alta, fins al punt de poder predir-se amb una elevada probabilitat en la majoria dels casos si una mostra és sud-europea o nord-africana, dues poblacions molt pròximes geogràficament i amb una llarga història compartida.

Els SNP són també importants per a predir característiques físiques d'un individu a partir d'una mostra amb fins d'investigació policial. Així, a partir d'un vestigi biològic, ja es pot dir amb alta probabilitat el color dels ulls i s'han desenvolupat panells de SNP a l'efecte, així com eines matemàtiques per a la predicció.

També un camp emergent és la determinació de l'edat de l'individu que va deixar una mostra biològica per mitjà de marcadors de metilació. Prop d'un 20 % de la variació de metilació en el genoma humà es correlaciona amb l'edat. Amb assajos en un grup selecte de marcadors de metilació ens fem una idea cada vega-



Gràcies a l'ADN s'han resolt nombrosos casos de gran importància en tot el món com la identificació de desapareguts en la dictadura argentina. En la imatge, fotos en memòria dels desapareguts a la Facultat Regional d'Avellaneda de la Universitat Tecnològica Nacional, a Villa Dominico (Argentina).

⁴ De les sigles en anglès de *Single Nucleotide Polymorphisms*.

⁵ De les sigles en anglès d'*Ancestry Informative Markers*.



da més aproximada de l'edat de l'individu (l'error mitjà és de menys de tres anys).

S'està progressant molt igualment en l'anàlisi de l'origen del fluid biològic detectat (és a dir, si és semen, esperma, saliva, sang menstrual, etc.) mitjançant l'anàlisi de microARN o expressió d'ARN misatger (mARN), el que és rellevant per a molts casos criminals.

Les tècniques de seqüenciació de nova generació també estan produint una revolució, ja que permeten fer l'anàlisi simultània de microsatèl·lits, SNP per a identificació, AIM i anàlisi de marcadors de característiques físiques i obren noves possibilitats per a l'anàlisi d'ADN no humà (metagenòmica, anàlisi de sòls, de pol·len, tràfic il·legal d'espècies protegides, etc.). Fins i tot s'ha aconseguit, mitjançant l'anàlisi massiva de genomes complets, diferenciar bessons univitel·lins, un dels reptes tradicionals en el camp forense.

Finalment cal indicar que aquest és un camp en què l'estandardització i el control de qualitat és molt important, la qual cosa s'ha vist facilitada per l'organització de la gran majoria dels pèrits en el si de la Societat Internacional de Genètica Forense i els seus grups de treball. Un d'aquests, el Grup de Parla Espanyola i Portuguesa, és el que organitza el millor control de qualitat (*proficiency testing*) existent.

■ LA COMUNICACIÓ DEL VALOR DE LA PROVA

Segurament l'avenç més important en la història de les ciències forenses ha estat la introducció de la valoració estadística de la prova en els informes forenses. Aquesta ha significat el pas d'una medicina forense artesanal basada en la intuïció i experiència, que aplica models heurístics i que dona un valor absolut a l'opinió del pèrit, a una medicina forense basada en l'evidència, en la qual l'opinió es fonamenta en dades, en el raonament i en la qual la incertesa de l'opinió es quantifica de manera probabilística. Es tracta precisament de la diferència entre una evidència científica i l'opinió d'un expert.

La genètica forense va ser pionera en la quantificació del valor de la prova mitjançant probabilitats. Quan s'analitzen polimorfismes genètics en taques biològiques i es tracta de veure si corresponen a un individu, l'ADN del qual també és analitzat, cal calcular la probabilitat i aquesta s'ofereix al jutge de manera que pugui combinar la informació obtinguda en la prova d'ADN amb altres informacions no genètiques obtingudes du-

«FINS I TOT S'HA ACONSEGUIT, MITJANÇANT L'ANÀLISI MASSIVA DE GENOMES COMPLETS, DIFERENCIAR BESSONS UNIVITEL·LINS, UN DELS REPTES TRADICIONALS EN EL CAMP FORENSE»



Un dels problemes més importants en medicina forense és l'anomenat «efecte CSI». Moltes de les proves forenses es presenten en les sèries de televisió com infal·libles, segures al cent per cent i que no deixen marge de dubte, quan la realitat és molt distinta: les proves forenses tenen un grau variable de validesa científica. En la imatge, una fotografia promocional de la sèrie.

rant la investigació. I això és possible valorant la prova des d'un punt de vista bayesià.

Així, el pèrit forense pot avaluar els resultats de la seua anàlisi des de dos punts de vista contraris i mútuament excloents (des de la perspectiva de l'acusació i des de la de la defensa), per mitjà d'un quocient anomenat raó de versemblança o LR.⁶ Per exemple:

H_a (hipòtesi de l'acusació) = el vestigi trobat en l'escena del crim pertany a l'acusat.

H_d (hipòtesi de la defensa) = el vestigi trobat en l'escena del crim NO pertany a l'acusat.

L'LR mesura la probabilitat d'haver obtingut els resultats de l'anàlisi genètica de l'evidència i de la mostra de l'acusat sota les dues hipòtesis mencionades. En altres paraules, mesura quantes vegades és més probable haver obtingut els resultats genètics si suposem que l'acusat va deixar el vestigi en comparació al supòsit que un altre individu deixara el vestigi en l'escena del delict. I es formula de la manera següent:

⁶ De les sigles en anglès de *Likelihood Ratio*.



$$LR = \frac{P(E/Ha)}{P(E/Hd)} = \frac{\text{Probabilitat de l'evidència suposant que el vestigi és de l'acusat.}}{\text{Probabilitat de l'evidència suposant que el vestigi NO és de l'acusat}}$$

essent E = evidència (el resultat genètic en la mostra trobada en l'escena i en la mostra de l'acusat) i P = probabilitat.

Un LR de 200 significa que és 200 vegades més probable trobar el perfil genètic trobat en el vestigi de l'escena si suposem que el va deixar l'acusat (Ha) que si suposem que el va deixar una altra persona (Hd). En molts casos, els LR obtinguts amb la prova genètica seran aclaparadors (LR de l'ordre de milions, és a dir, molt a favor de la hipòtesi del fiscal), però això no és sempre així, perquè hi ha vegades en què no s'aconsegueixen bons resultats en l'anàlisi de l'evidència biològica (pel mal estat de conservació de l'ADN o per la poca quantitat que contenen).



L'ADN forense és una prova científicament vàlida, però la informació que proporciona varia d'un cas a un altre i per això és tan important la comunicació del valor de la prova en termes de probabilitat.

**«LA VALORACIÓ ESTADÍSTICA
DE LA PROVA EN ELS INFORMES
HA SIGNIFICAT EL PAS D'UNA MEDICINA
FORENSE BASADA EN LA INTUÏCIÓ
I EXPERIÈNCIA A UNA DE BASADA
EN L'EVIDÈNCIA»**

Aquesta manera d'avaluar la prova permet al jurista combinar els resultats de l'anàlisi genètica amb altres resultats no genètics obtinguts després de la investigació del fet delictiu. És a dir, multiplicant el valor obtingut en l'LR pel valor de la prova no genètica (anomenada probabilitat *a priori*). El resultat d'aquesta multiplicació és el que anomenem probabilitat *a posteriori* (és a dir, la probabilitat de la «culpabilitat» segons l'evidència, que és el que el jutge vol saber). La seua formulació és:

$$Pa_{posteriori} = Pa_{priori} \times LR$$

Per a calcular la probabilitat *a priori*, el jutge ha de valorar tota la informació de la investigació en forma d'aposta. El jutge té una idea de la «culpabilitat» o «no culpabilitat» de l'acusat abans de realitzar la prova genètica per mitjà de l'avaluació d'altres indicis (testimonis que ho van poder identificar en l'escena, absència de coartada, etc.). Aquesta informació es pot plasmar

«NO ES LA FUNCIÓ DEL PÈRIT GENETISTA EMETRE UNA OPINIÓ SOBRE LA CULPABILITAT (O INNOCÈNCIA) DEL SOSPITÓS»

en forma numèrica (per exemple, 1.000 a 1 a favor de la innocència si el jutge considera que l'acusat és innocent amb moltes possibilitats). El jutge pot integrar tota la informació simplement fent una multiplicació de la seua probabilitat *a priori* per l'LR, amb què s'obté la probabilitat *a posteriori* de culpabilitat.

Així, per exemple, si el jutge té proves no genètiques que incriminen l'acusat (per exemple 1.000 a 1 a favor de la culpabilitat) i a més s'analitza un rastre de sang trobat en la seua roba que coincideix amb el perfil genètic de la víctima (per exemple, amb un LR = 1 milió), la probabilitat *a posteriori* de culpabilitat es veu molt incrementada per l'LR, és a dir, per la prova científica (1.000 vegades 1 milió).

Per contra, si s'està analitzant un filtre de cigarret trobat en l'escena (habitatge de la víctima), el perfil genètic de la qual és complet i coincideix amb el perfil de l'acusat, però el jutge sap que aquesta evidència pot haver aparegut en l'escena sense que això implique culpabilitat (per exemple, perquè víctima i sospitós conviuen i no es disposa d'una altra informació), la seua probabilitat *a priori* ha de ser baixa. I, per tant, la probabilitat *a posteriori* es veuria menys incrementada per la prova científica a pesar de l'elevat LR. En el cas extrem, si el jutge estiguera segur que l'acusat és



innocent, la probabilitat *a posteriori* seria 0 a pesar de comptar amb un LR de milions.

En aquests exemples es veu clar que és el jutge el que ha de valorar l'evidència en conjunt i amb l'aproximació bayesiana s'evita que el pèrit faci les funcions de jutge. El pèrit genetista no disposa de la informació no genètica que el jutge coneix i no és la seua funció d'expert emetre una opinió sobre la culpabilitat o innocència del sospitós. La valoració que realitza de la prova genètica mitjançant l'LR és asèptica, i això garanteix que no estiga influïda per opinions o informacions que puguin arribar-li per altres mitjans (per exemple, premsa o televisió).

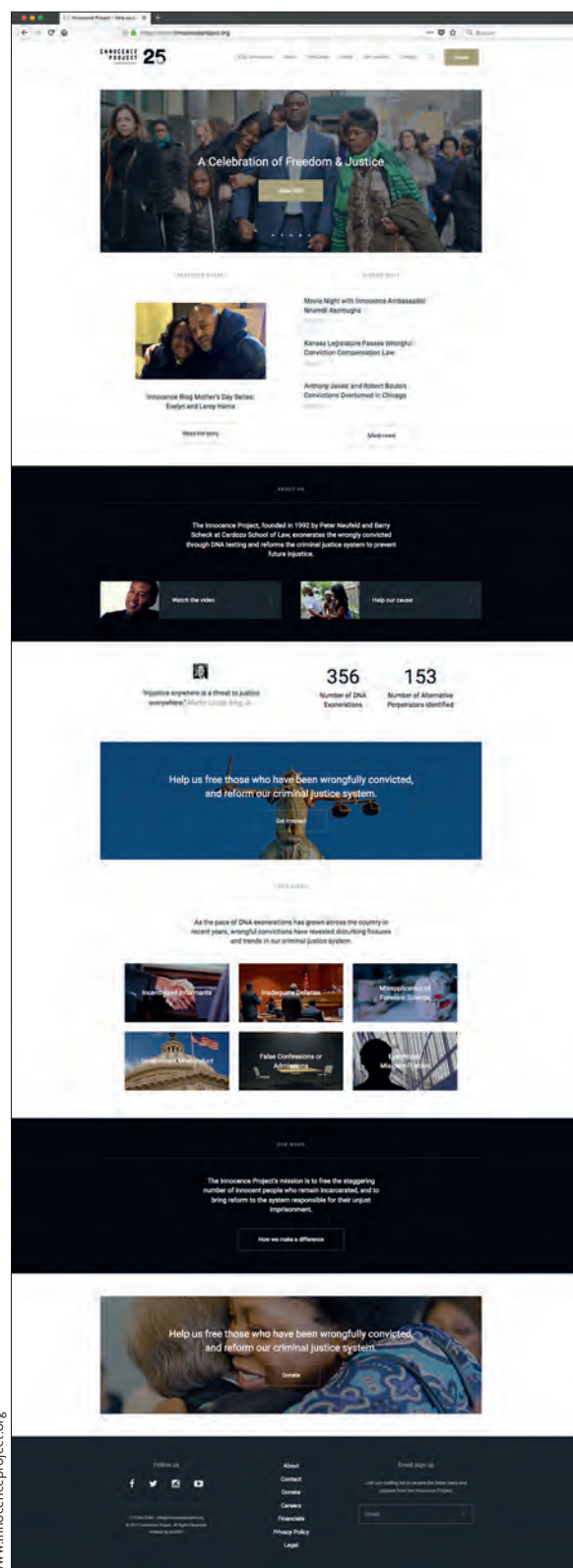
A pesar dels avantatges que té la valoració de la prova des del punt de vista bayesià, aquesta valoració no està exempta d'errors i malinterpretacions. Un dels més comuns és confondre l'LR amb la probabilitat *a posteriori*. Per exemple, una forma correcta d'expressar amb paraules un LR = 1.000 seria: «És mil vegades més probable evidenciar aquest perfil genètic (el resultat de les anàlisis) en la mostra de l'escena si el perfil

«ELS PÈRITS ESTEM FENT ESFORÇOS PER A MILLORAR LA COMUNICACIÓ I FER-LA MÉS JUSTA I MENYS PROPENSA A ERRORS D'INTERPRETACIÓ»

procedeix de l'acusat que si és procedent d'una altra persona a l'atzar de la població espanyola.» No obstant això, a vegades l'LR es tradueix en paraules de manera errònia. Per exemple: «És mil vegades més probable que aquest perfil procedisca de l'acusat en comparació amb què procedisca d'una altra persona a l'atzar de la població espanyola.»

En l'exemple correcte estem valorant l'evidència (el perfil genètic que s'hi ha trobat) suposant dues hipòtesis (que procedisca o no de l'acusat). En termes matemàtics es tradueix en $P(E/Ha) / P(E/Hd)$, justament la definició d'LR. No obstant això, en l'exemple incorrecte estem parlant de les probabilitats de les hipòtesis (el perfil procedeix de l'acusat o no) sense tenir en compte l'evidència; és a dir, estem realment definint una cosa molt distinta. En termes matemàtics seria $P(Ha) / P(Hd)$, la qual cosa no defineix l'LR.

Intuitivament és molt fàcil confondre la pregunta que es fa el jutge amb la del pèrit. El jutge es pregunta quina és la probabilitat de culpabilitat donat el resultat de la prova de l'ADN, i el pèrit la probabilitat que la prova d'ADN haja donat un resultat concret perquè pertanyi a l'acusat respecte que no pertanyi a aquest. Con-



La iniciativa Innocence Project ha permès, mitjançant la utilització de modernes proves d'ADN, exonerar ja més de tres-centes persones falsament acusades de delictes.



fondre-ho o transmetre-ho incorrectament es denomina *condicional transposat* i és una de les causes d'error més grans en la interpretació (Carracedo i Prieto, 2014; Evett, 1995).

Els pèrits, mitjançant diverses iniciatives, estem fent esforços per a millorar la comunicació i fer-la més justa i menys propensa a errors d'interpretació, però seria necessari un esforç semblant per part del món judicial. En la formació de jutges i fiscals hauria de figurar la interpretació i valoració de les proves forenses i, en particular, de l'ADN forense.

■ LA MEDICINA FORENSE I ELS MITJANS DE COMUNICACIÓ

Un dels problemes més importants en medicina forense és l'anomenat «efecte CSI». Moltes de les proves forenses es presenten en les sèries de televisió com infal·libles, segures al cent per cent i que no deixen marge de dubte, quan la realitat és molt distinta: les proves forenses tenen un grau variable de validesa científica, com va posar de manifest l'informe *PCAST* (President's Council of Advisors on Science and Technology) publicat en 2016 per l'Oficina Executiva del President dels Estats Units (The International Association for Identification, 2018). L'ADN forense és una prova científicament vàlida, però la informació que proporciona varia d'un cas a un altre i per això és tan important la comunicació del valor de la prova en termes de probabilitat.

Des del consorci EUROFORGEN (2017) s'ha promogut la guia *Making sense of forensic science* ("Entenent la ciència forense") per a explicar tot el que fa a les possibilitats de l'ADN forense així com les seues limitacions i amb exemples concrets que expliquen que una mala interpretació pot donar lloc a errors, dels quals ni pèrits ni tribunals estem exempts.

La iniciativa Innocence Project⁷ ha permès, mitjançant la utilització de modernes proves d'ADN, exonerar ja més de tres-centes persones falsament acusades. Els errors en la identificació per testimonis és la causa més important d'errors, però la perícia forense erròniament interpretada no és una causa menor.

La clau, com en tantes altres coses, està en l'educació. Educació de les persones del món del dret, especialment jutges i fiscals, i de la població en general, que li permeta analitzar críticament les notícies. En relació

amb aquestes, els mitjans de comunicació haurien de comprometre's no sols a informar sinó a contribuir a l'educació mitjançant la divulgació, particularment en un camp com aquest tan propens al sensacionalisme. L'adopció d'uns estàndards ètics estrictes per part dels mitjans responsables en la divulgació d'aquest tipus de notícies seria també convenient, de manera que, respectant la llibertat d'informació, també respecten la independència dels jutges i pèrits així com els principis generals del dret. ☺

REFERÈNCIES

- Carracedo, A. & Prieto, L. (2014). Valoración de la prueba genética. En M. Casado, & M. Guillén (Eds.), *ADN forense: Problemas éticos y jurídicos* (pp. 145–156). Barcelona: Observatori de Bioètica i Dret, Universitat de Barcelona.
- EUROFORGEN. (2017). *Making sense of forensic genetics*. Londres: Sense about Science. EUROFORGEN. Consultat en <http://senseaboutscience.org/wp-content/uploads/2017/01/making-sense-of-forensic-genetics.pdf>
- Evett, I. W. (1995). Avoiding the transposed conditional. *Science and Justice*, 35(2), 127–131. doi: 10.1016/S1355-0306(95)72645-4
- Jeffreys, A. J., Wilson, V., & Thein, S. L. (1985). Hypervariable minisatellite regions in human DNA. *Nature*, 314, 67–73. doi: 10.1038/314067a0
- Kayser, M., & De Knijff, P. (2011). Improving human forensics through advances in genetics, genomics and molecular biology. *Nature Reviews Genetics*, 12(3), 179–192. doi: 10.1038/nrg2952
- Ley Orgánica 10/2007, de 8 de octubre, reguladora de la base de datos policial sobre identificadores obtenidos a partir del ADN. (2007). Consultat en <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-17634>
- Phillips, C., Prieto, L., Fondevila, M., Salas, A., Gómez-Tato, A., Álvarez-Dios, J., ... Lareu, M. V. (2009). Ancestry analysis in the 11-M Madrid bomb attack investigation. *PLOS One*, 4(8), e6583. doi: 10.1371/journal.pone.0006583
- Real Decreto 1977/2008, de 28 de noviembre, por el que se regula la composición y funciones de la Comisión Nacional para el uso forense del ADN. (2008). Consultat en <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-19992>
- The International Association for Identification. (2018). *PCAST report – Forensic science in criminal courts: Ensuring scientific validity of feature-comparison methods*. Consultat en https://www.theiai.org/president/201609_PCAST_Forensic_Science_Report_FINAL.pdf
- Ángel Carracedo. Catedràtic de Medicina Legal de la Universitat de Santiago de Compostel·la (Espanya). Director de l'Institut de Medicina Legal de la Universitat de Santiago de Compostel·la de 1994 a 2012. Actualment coordina el Grupo de Medicina Xenómica i dirigeix el Centre Nacional de Genotipatge. És cap de grup d'investigació en el Centre d'Investigació Biomèdica en Xarxa de Malalties Rares (CIBERER). Ha rebut nombrosos guardons, com ara el Premi Jaume I d'Investigació Mèdica i el Premi Nacional de Genètica. És doctor *honoris causa* per diverses universitats. ✉ angel.carracedo@usc.es
- Lourdes Prieto. Doctora en Biologia. Investigadora adscrita a l'Institut de Ciències Forenses de la Universitat de Santiago de Compostel·la (Espanya). Vicepresidenta del GHEP-ISFG (Grup de Parla Espanyola i Portuguesa de la Societat Internacional de Genètica Forense). Compta amb una gran experiència en genètica forense i ha intervingut en nombroses accions humanitàries internacionals d'identificació.

⁷ www.innocenceproject.org