

LA NATURALEZA DECISORIA DE LAS CONCLUSIONES DE LOS EXPERTOS EN CIENCIA FORENSE*

Alex Biedermann

Universidad de Lausana
Facultad de Derecho Justicia Criminal y Administración Pública

Silvia Bozza

Universidad Ca'Foscari de Venecia
Departamento de Económicas

Franco Taroni

Universidad de Lausana
Facultad de Derecho Justicia Criminal y Administración Pública

Sumario: 1. Introducción. 2. La respuesta teórica de la decisión bayesiana al “problema” de la individualización. 2.1. Los elementos básicos del problema de la decisión. 2.2. La regla de decisión bayesiana. 3. La elección de una escala para la valoración de las consecuencias. 3.1. El punto de vista de la utilidad. 3.2. Discusión sobre el enfoque de la utilidad. 3.3. El enfoque del coste. 3.4. Discusión del enfoque de costes. 4. Discusión y conclusiones. 4.1. La ley de la palanca de Arquímedes y la individualización teórica de la decisión bayesiana. 4.2. Relaciones de verosimilitud en el marco de la decisión. 5. Conclusiones.

«Si no comprendes un problema desde el punto de vista de la teoría de la decisión bayesiana, no comprendes el problema, y tratar de resolverlo es como disparar a una diana en la oscuridad» [Hermann Chernoff, extraída de una comunicación personal con Martin McIntosh, citada en (Parmigiani e Inoue, 2009: 6)]

«Dadme un punto de apoyo, y moveré la tierra» [sentencia atribuida a Arquímedes (por ejemplo, Chondros, 2010; y Dijksterhuis, Dikshoorn y Knorr, 1987)]¹

* Nota del traductor (J. J. Lucena Molina, Coronel Director de la Escuela de Especialización de la Guardia Civil, Carretera de Andalucía, Km. 25,4, 28341 Valdemoro (Madrid), España): los autores han acordado cambiar el título del artículo original en la traducción al español para facilitar su comprensión. El título original es el siguiente: «The decisionalization of individualization». A lo largo de la traducción, no obstante, se utilizará el término *decisionalización*, una traducción literal del término acuñado por los autores del texto original inglés, y que se relaciona con la intención de éstos de destacar que el concepto de individualización se «decisionaliza», es decir, se define apoyándose en el de decisión en determinados foros profesionales relacionados con la ciencia forense.

1. INTRODUCCIÓN

En ciencia forense y en otras próximas a ella, especialmente en las disciplinas relacionadas con la medicina legal, el debate sobre qué se entiende por «individualización» es uno de los más destacados, aunque también uno de los que plantea mayores retos a la investigación: se trata de reducir una lista de potenciales fuentes —personas u objetos— de un vestigio forense (por ejemplo, una muestra biológica que contiene ADN, una huella latente, un resto humano, etc.) a una única fuente origen del vestigio. Por ejemplo, los especialistas en huellas dactilares individualizan si concluyen en términos tales como: «La huella latente detectada y revelada en la escena del crimen procede del pulgar izquierdo de Mr. A». Los médicos forenses individualizan si concluyen, por ejemplo, diciendo: «Estos restos humanos pertenecen a Mr. B». En la actualidad, continúan los debates sobre cómo debe hacerse exactamente el proceso de singularización de un miembro particular de una población de potenciales fuentes (individualización), y sobre si es verdadera la afirmación de aquellos científicos que defienden que pueden individualizar fiablemente. Las respuestas a estas cuestiones son de gran interés para quienes reciben información de un experto, tales como abogados, jueces y cualesquiera otros actores procesales. Especialmente, les interesa saber cómo pueden justificarse las conclusiones sobre individualización desde el punto de vista lógico, así como cuál es su base racional. Este artículo propone diseccionar y analizar el proceso de individualización utilizando métodos formales de razonamiento extraídos de la teoría de la decisión.

Investigadores del ámbito académico y aquellos que practican la ciencia forense y otros campos de conocimiento, como la medicina y el derecho, mantienen divergentes puntos de vista sobre la “individualización”, que es la reducción de un conjunto de potenciales fuentes de un vestigio forense a una única fuente (Champod, 2000). Los puntos

de vista difieren en lo que respecta la definición, el campo de aplicación y la posibilidad práctica de la individualización (Cole, 2014; y 2009: 1,6,7). Como sello distintivo de la última década, el informe del Consejo de Investigación Nacional de los Estados Unidos del año 2009 (NRC, 2009) agitó considerablemente la discusión mostrando un panorama bastante crítico del actual estado de la cuestión en la materia. Provocó diversas reacciones de instituciones, expertos en la práctica forense y estudiosos, inspiró investigación científica y recibió atención en los tribunales, tanto norteamericanos como de otros países (Champod, 2015), pero la situación a día de hoy permanece ambivalente. Mientras que se considera en gran medida como algo incontrovertido que determinados vestigios forenses como las huellas dactilares y las marcas de herramientas pueden tener —dependiendo de sus niveles de calidad— un considerable potencial para ayudar a discriminar entre proposiciones competitivas con respecto a que provengan o no de una fuente común, así como que hay expertos en la práctica forense que son capaces de demostrar una práctica fiable en los juicios en condiciones controladas, la principal batalla en ese terreno permanece en el ámbito conceptual. Esto toca de pasada dos temas fundamentales: en primer lugar, la cuestión del valor probatorio que cabe asignar a una comparación llevada a cabo en un caso concreto, y, en segundo lugar, qué conclusiones particulares pueden justificarse a partir de un razonamiento.

El primero de esos dos temas, el valor de la prueba, no se trata en este artículo. En ciencia forense, el valor de la prueba puede aproximarse, justificadamente, en términos de relaciones de verosimilitudes o, de forma más general, mediante los factores de Bayes, que ofrecen una lógica subyacente unificada (Robertson, 1995; Aitken, Taroni, 2004; Aitken, Roberts, Jackson, 2010; y ENFSI, 2015), aunque pueden tomar diferentes formas y grados de tecnicismo de acuerdo con el dominio de aplicación tales como huellas

dactilares (*v. gr.*, Neumann, Evett, Skerret, 2005), ADN (Bozza *et al.*, 2008) escritura manuscrita (*v. gr.*, Bozza *et al.*, 2008), etc. Este artículo concentra los esfuerzos en el último de los dos temas mencionados —la justificación de las conclusiones—, centrándose en un movimiento reciente en respuesta al informe NAS, ejemplificado en la profesión de la dactiloscopia. Este movimiento gravita en torno a la noción de «decisión», tal y como se menciona en el título del documento «Guía para la Articulación del Proceso de Toma de Decisiones para la Individualización en Exámenes de Crestas dejadas por Fricción»² emitido por el Grupo de Trabajo Científico en Análisis, Estudio y Tecnología de Crestas de Fricción (SWGFAST)³. En la Sección 3.1, este documento reconoce «[...] que ahora se admite que nuestras conclusiones son más apropiadamente expresadas como una decisión, en lugar de una prueba», y en la Sección 10.2.2 se aporta la siguiente definición: «Individualización es la *decisión* tomada por un experto de que existen suficientes características comunes para concluir que dos áreas con impresiones de crestas de fricción se originaron desde una misma fuente» [cursiva de los autores]. Este destacado uso del término decisión contribuye a una más extendida adopción de su utilización como terminología estándar para muchos expertos en práctica forense de las denominadas ramas de la identificación.

Sin embargo, el cambio de dirección de este campo de actividad a un nuevo término, decisión, es objeto de controversia. En uno de los más meticulosos estudios recientes sobre «el cambio a la decisión» en la profesión de la dactiloscopia, Cole (2009)⁴ revela que el término decisión se utiliza como una mera etiqueta sin un cambio fundamental en la comprensión conceptual o en la práctica real. Lo más curioso, en intercambio de ideas con Cole, es que SWGFAST declaró que *no* confía en la teoría de la decisión como se defiende en artículos tales como (Biedermann, Bozza y Taroni, 2008; Biedermann, Garbo-

lino y Taroni, 2013), a pesar de referenciar esas publicaciones. Mientras que esto puede considerarse como una elección deliberada abierta a cualquier discusión sobre el tema, vale la pena mencionar que tal elección no tiene efecto alguno sobre la validez de la teoría de la decisión por sí misma, particularmente sobre su lógica. Igualmente, no va en detrimento del interés que uno pueda tener en comparar las prácticas actuales de la profesión con las prescripciones que derivan de la teoría de la decisión (bayesiana). El centro de tales prescripciones sobre cómo actuar ante la incertidumbre representa una aproximación analítica a la noción de decisión que tiene que distinguirse del uso descriptivo de la noción mediante el comportamiento observable (decisión) de las personas, sea intuitivo o no. En este artículo nos concentraremos en el enfoque analítico y normativo de la noción de decisión y argumentaremos que esta orientación puede promover un progreso en la comprensión fundamental de temas de ciencia forense nucleares (*v. gr.*, Taroni *et al.*, 2010), lo que nos conducirá a lo que hemos propuesto llamar «*decisionalización*» (de la individualización).

Además de la extrema posición de aquellos que no respaldan la teoría de la decisión, hay otros que son sensibles a la lógica de la teoría, pero que aún se abstienen de aplicar ese enfoque argumentando que no «saben» qué números deben usar en las diversas expresiones formuladas ni qué significan realmente esos números. En la teoría de la decisión bayesiana, los números se refieren a probabilidades o utilidades⁵ (o, alternativamente, a costes). Mientras que el significado de las probabilidades en la ciencia forense está bien establecido, en particular la interpretación del tipo de creencia subjetivista (Biedermann *et al.*, 2010; Lindley, 1991; Taroni, Aitken y Garbolino, 2001), la noción de utilidad es más reciente y no tan bien conocida (Taroni, Bozza, Aitken, 2005; y Taroni *et alia*, 2014).

De este modo, en el actual estado de la cuestión hay espacio para el estudio y discu-

sión de los elementos constituyentes de la teoría de la decisión bayesiana —especialmente, la componente utilidad— desde el punto de vista de la ciencia forense, que es el principal objetivo de este artículo. La Sección 2 recuerda los principales elementos de la teoría de la decisión bayesiana clásica, aplicados al «problema» de la individualización, y la Sección 3 se centrará en la elección de la escala de la utilidad y la derivación subsiguiente de la función de utilidad. A estas alturas, el artículo buscará justificar el punto de vista de que los números asignados a las utilidades *no* son indefinibles y, por tanto, arbitrarios, como defienden algunas críticas, sino que se les puede dar una clara significación. Aún más importante, enfatizaremos que esta interpretación puede incluir destacados elementos de la tarea de la individualización esbozados al principio, que representa un sólido argumento a favor de la relevancia de la teoría de la decisión bayesiana para la realización de inferencias y toma de decisiones en la ciencia forense. También subrayaremos que una atenta mirada a la formulación teórica de la decisión de la individualización, bajo modestas y razonables asunciones, reduce el número de valoraciones que requieran la atención del analista. La Sección 4 presentará una discusión general sobre los análisis precedentes y convergerá hacia conclusiones destacadas en trabajos previos, en particular la importancia de comprender el carácter normativo de la teoría⁶. La discusión en la Sección 4 también subrayará el papel natural de las expresiones tradicionales del valor de la prueba, en concreto las relaciones de verosimilitud en el marco de la decisión y la viabilidad de ilustrar la lógica de la teoría de la decisión bayesiana a través de aportaciones fundamentales en otros campos, tales como la física, que puede retrotraerse a Arquímedes en la Grecia antigua. Los lectores bien informados sobre la teoría de la decisión pueden prescindir de la lectura de la Sección 2, pero deben tener en cuenta la notación allí introducida resumidamente. En la Sección 5 se presentan las conclusiones.

2. LA RESPUESTA TEÓRICA DE LA DECISIÓN BAYESIANA AL «PROBLEMA» DE LA INDIVIDUALIZACIÓN

2.1. LOS ELEMENTOS BÁSICOS DEL PROBLEMA DE LA DECISIÓN

En la teoría de la decisión bayesiana, los componentes básicos de un problema de decisión se formalizan en términos de tres elementos. Consideremos estos elementos en el contexto de una individualización forense, tal y como fue definida al principio de este artículo (Sección 1). En concreto, supongamos que disponemos de vestigios de traza recogidos en una escena del crimen, en concreto una impresión latente de una huella dactilar y una impresión de referencia procedente de un individuo (el sospechoso) al que se considera fuente potencial de la huella dactilar. Después de los exámenes comparativos entre la huella dactilar y las impresiones dactilares tomadas al sospechoso en condiciones controladas, la individualización —nuestro problema de decisión— puede suscitarse como asunto de interés⁷.

El primer elemento teórico de la decisión lo constituyen las decisiones posibles d_i , que define el espacio de decisiones. Para mantener la discusión en un nivel técnico moderado, permitamos únicamente dos decisiones, d_1 , que significa «individualizar», y d_2 , que significa «no individualizar». Para un desarrollo de la decisión «no individualizar» dividida entre «exclusión» e «inconclusión», *vid.*, por ejemplo, Biedermann, Bozza y Taroni (2013) y Taroni *et al.*, (2010). Nótese que la simple negación de la primera decisión es raramente un enfoque conciso porque, generalmente, *existen* alternativas explícitas disponibles y sus respectivos méritos deben ser apreciados (Lindley, 1985). Dicho de otro modo, la alternativa debe especificar qué hace si no individualiza.

Cuando se tiene que hacer una elección, no conocemos, ordinariamente, el estado de naturaleza que realmente existe. Un segundo

elemento, por eso mismo, es la lista de sucesos inciertos, denominados también estados de naturaleza, que se representan mediante la letra q . Resulta claro que, en un escenario de individualización, los estados de naturaleza que son inciertos para quien decide⁸ son los que se formulan más ordinariamente en términos de las proposiciones «la persona de interés es la fuente del vestigio del crimen (o traza)» (q_1) y «una persona desconocida es su fuente» (q_2). El par $\{q_1, q_2\}$ forma el conjunto de estados de naturaleza que representamos mediante la letra Q . Si tomamos la decisión d_i a la luz del estado de naturaleza q_j , se produce la consecuencia C_{ij} . El conjunto de todas las consecuencias se representa por C , por brevedad. Se trata del tercer elemento del problema de la decisión. Utilizando esta notación, C_{11} es la consecuencia de una individualización (d_1) cuando el sospechoso es verdaderamente la fuente de la impresión latente de la huella dactilar (q_1) y C_{12} es la consecuencia de la misma decisión cuando el sospechoso *no* es la fuente (q_2). Así, C_{11} y C_{12} representan una individualización correcta y otra falsa, respectivamente. De modo análogo, C_{21} y C_{22} representan, respectivamente un descarte falso de individualización y una correcta no individualización⁹. Obsérvese también que solo son inciertos los estados de naturaleza, mientras que las consecuencias no lo son: la combinación de un estado de naturaleza con una particular acción conduce a una consecuencia que —en nuestro caso— es segura.

Claramente, si el actual estado de naturaleza fuera conocido con certeza, es decir, si se conociera que el sospechoso es o no la fuente del vestigio del crimen, no habría problema de decisión alguno. Podríamos directamente elegir la decisión de individualización (d_1) si el sospechoso es la fuente del vestigio del crimen, y elegir la no individualización (d_2) en otro caso. En ambos supuestos habríamos obtenido conclusiones correctas. Cuando no se conoce cuál es el estado de naturaleza actualmente existente, no parece obvio que pueda

tomarse una decisión de un plumazo. Sin embargo, es obvio el interés por tomar una decisión óptima, dados los elementos del problema de la decisión mencionados más arriba. Lo que se necesita, de este modo, son criterios de decisión (Sección 2.2.) que incorporen la valoración de tanto la deseabilidad (no deseabilidad) de posibles consecuencias, como la incertidumbre sobre cuál es el estado de naturaleza realmente existente, al objeto de comparar las ventajas de las decisiones disponibles y evitar procedimientos incoherentes.

2.2. LA REGLA DE DECISIÓN BAYESIANA

El enfoque teórico de la decisión bayesiana al problema de la decisión se fundamenta en dos conceptos adicionales, además de los elementos presentados en la sección anterior. El primero es una medida de la incertidumbre sobre los estados de naturaleza, que viene dada por la probabilidad. En la presente discusión, los estados de naturaleza q son discretos; por lo tanto, se aplica una función de masa de probabilidad, $\Pr(q|I)$, en la que I representa la información disponible en el momento en el que se tiene que tomar la decisión. El segundo concepto es una medida de la deseabilidad de las consecuencias. Esta medida toma la forma de la llamada *función de utilidad*, que se representa por $U(\cdot)$. Con la función de utilidad, asignamos valores de utilidad a cada consecuencia dentro de una escala numérica. Cuando existe incertidumbre sobre los estados de naturaleza, para cada decisión es posible multiplicar la deseabilidad de cada consecuencia por la probabilidad de obtener esa consecuencia, que viene dada por la probabilidad del estado de naturaleza de interés, y luego hacer la suma de esos productos. El resultado se conoce como *utilidad esperada* (EU) de la decisión.

Por ejemplo, la utilidad esperada de la decisión de individualizar (d_1) es igual a la utilidad de una correcta individualización $U(C_{11})$ multiplicada por $\Pr(q_1|I)$, la probabilidad de

que el sospechoso verdaderamente sea la fuente, más la utilidad de una falsa identificación

$$EU(d_1) = U(C_{11}) \Pr(q_1|I) + U(C_{12}) \Pr(q_2|I). \quad (1)$$

La utilidad esperada de la acción alternativa, la que no individualiza al sospecho-

$$EU(d_2) = U(C_{21}) \Pr(q_1|I) + U(C_{22}) \Pr(q_2|I), \quad (2)$$

en ella, $U(C_{21})$ y $U(C_{22})$ son, respectivamente, las utilidades de un falso descarte en la individualización y una correcta no individualización (Tabla 1). Las dos últimas utilidades se ponderan, como en $EU(d_1)$, por las probabilidades $\Pr(q_1|I)$ y $\Pr(q_2|I)$, que el sospechoso sea o no la fuente del vestigio.

Las ecuaciones (1) y (2) cuantifican el valor total que podemos esperar obtener como consecuencia de tomar una u otra de las decisiones disponibles. Esas utilidades esperadas caracterizan las decisiones disponibles y nos permiten compararlas y formular una regla de decisión: tomar la decisión con *la máxima utilidad esperada*. De este modo, si no conocemos qué estado de naturaleza es el realmente existente y, por tanto, no es trivial decir qué decisión tomar para obtener la mejor consecuencia, la forma más razonable de proceder es elegir la decisión que tenga la utilidad esperada más alta. Este es el criterio general conocido como de *utilidad esperada máxima* (MEU), por el

$U(C_{12})$, multiplicada por la probabilidad de que el sospechoso no sea la fuente del vestigio, $\Pr(q_2|I)$:

so, se obtiene mediante el mismo procedimiento:

cual seleccionamos la acción que tenga la utilidad esperada más alta (por ejemplo, Lindley, 1985).

Las probabilidades $\Pr(q_1|I)$ y $\Pr(q_2|I)$ representan las creencias personales de quien ha de tomar la decisión sobre los estados de naturaleza, dada toda la información disponible, en el momento en el que la decisión ha de tomarse. Estas asignaciones de probabilidades son las mismas para las ecuaciones (1) y (2), y cualquier cambio¹⁰ en sus magnitudes puede afectar a las utilidades esperadas de las decisiones. Por consiguiente, son una fuente que impacta sobre la decisión que tenga la máxima utilidad esperada. La segunda influencia obvia proviene de las utilidades: son términos *distintos* en las ecuaciones (1) y (2). Para garantizar un uso informado y coherente de la regla de decisión bayesiana, la cuestión sobre cómo entender estos términos de utilidad y asignarles valores representa un relevante tema de investigación.

TABLA 1

Una matriz de decisión que usa utilidades en la que d_1 y d_2 significan, respectivamente, las decisiones de individualizar o no a un sospechoso. Los estados de naturaleza q_1 y q_2 son, respectivamente, el sospechoso es la fuente del vestigio del crimen y el sospechoso no es la fuente del vestigio del crimen. La notación $U(C_{ij})$ con $i, j = \{1, 2\}$, respectivamente, representa la utilidad de la consecuencia C_{ij} cuando se toma la decisión d_i y existe el estado de naturaleza q_j .

Decisiones	Estados de naturaleza: el sospechoso es la fuente (q_1)	... no es la fuente (q_2)
	Individualizar (d_1)		$U(C_{11})$
No individualizar (d_2)		$U(C_{21})$	$U(C_{22})$

3. LA ELECCIÓN DE UNA ESCALA PARA LA VALORACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

3.1. EL PUNTO DE VISTA DE LA UTILIDAD

La Tabla 1 resume los principales componentes del escenario de la individualización en términos teóricos sobre la decisión. Para poner en funcionamiento las ecuaciones (1) y (2), es decir, para encontrar la decisión de máxima utilidad esperada, el analista de la decisión debe, de algún modo, expresar la deseabilidad de las diversas consecuencias C_{ij} . En la Tabla 1, la deseabilidad (o preferencia) se expresa, más formalmente, en términos de utilidades $U(C_{ij})$. Un concepto relacionado es el de «coste», considerado más adelante en la Sección 3.3. Vale la pena mencionar que la teoría de la decisión simplemente afirma que las utilidades son parte de la formulación del problema y cómo las utilidades se conectan con los demás elementos de la formulación teórica de la decisión, pero no dice nada sobre cómo deben realizarse las asignaciones numéricas a las utilidades. Esto parece ser un importante factor perturbador para la aplicación de la teoría de la decisión en la ciencia forense. Más adelante, presentamos algunas consideraciones que ayudan a substanciar las asignaciones a las utilidades a la medida de la situación a la que se enfrenta el analista de la decisión forense.

Siguiendo con un enfoque que va de lo general a lo particular, no es preciso empezar fijando valores particulares. De hecho, existe la opinión común entre los que practican la ciencia forense de que las utilidades no pueden asignarse en principio, de forma que parece relevante preguntarse: «¿No podemos decir realmente *nada* sobre las consecuencias C_{ij} ?». Esto parece un punto de vista restrictivo porque parece razonable esperar que la gente pueda tener, al menos, un orden entre las distintas consecuencias. Es decir, podría ser posible designar al menos una de las

consecuencias como la más favorable y otra como la menos favorable. Claramente, en un escenario de decisión sobre una individualización, las consecuencias correctas C_{11} (se individualiza si el sospechoso es la fuente de la traza) y C_{22} (no se individualiza si el sospechoso no es la fuente de la traza) son las mejores consecuencias. Inversamente, nadie querría que un sospechoso fuera erróneamente asociado con la traza; por consiguiente, C_{12} , una falsa individualización, es la peor consecuencia. Estas consideraciones nos conducen a una sola consecuencia intermedia, C_{21} , el falso descarte de individualización. De este modo, una pregunta que podemos hacernos es cómo situar esta consecuencia con respecto a la mejor y a la peor de las consecuencias, respectivamente.

Volviendo ahora a la cuestión de los números, comencemos considerando cómo asignar números para la mejor y la peor de las consecuencias, respectivamente, es decir, la fijación del máximo y el mínimo de la escala de preferencias. Para tratar esta cuestión, podemos invocar una propiedad del procedimiento de medida de utilidades subjetivas desarrollado por Ramsey (1990) y von Neumann y Morgenstern (1953): sus funciones de utilidad son únicas, incluyendo sus transformaciones lineales. Esto significa que si $U(\cdot)$ es una función de utilidad, entonces $aU(\cdot) + b$ es otra función de utilidad que mantiene el mismo orden que $U(\cdot)$; únicamente cambia el origen de la medida de utilidad (*u. gr.*, Bernardo y Smith, 2000). Desde un punto de vista práctico, esto significa que el máximo y el mínimo de la escala de utilidad pueden fijarse en uno y en cero, respectivamente. Más formalmente, $U(C_{11}) = U(C_{22}) = 1$ y $U(C_{12}) = 0$. Por consiguiente, podemos ver que todas las celdillas en la matriz de decisión (Tabla 1), salvo una, están ya asignadas a través del único esfuerzo por especificar un orden cualitativo de preferencia entre las consecuencias y elegir los puntos de inicio y término de la escala de preferencia. Esto último es considerablemente facilitado por la propiedad matemática de una función de ser

invariante ante transformaciones lineales. Lo primero —el orden cualitativo— debe ser, en

gran medida, incontrovertido y acordado intersubjetivamente.

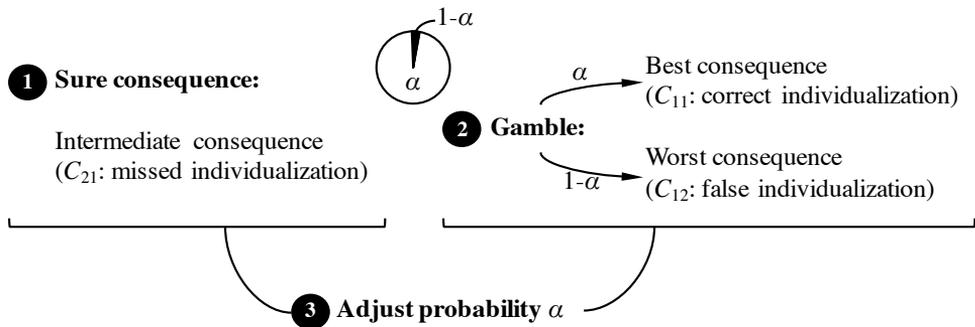


FIGURA 1

Ilustración del procedimiento de obtención de la utilidad subjetiva en tres pasos: (1) la consecuencia segura de la que quiere obtenerse una utilidad; (2) un juego en el que la mejor y peor consecuencia se obtienen, respectivamente, con probabilidades α y $(1 - \alpha)$; (3) ajuste de la probabilidad α en un punto tal que seamos indiferentes entre la consecuencia segura y el juego.

Para asignar un valor a $U(C_{21})$, la consecuencia intermedia restante, el procedimiento para la medida de utilidad subjetiva consiste en lo que se describe seguidamente (Fig. 1). Empezamos considerando la consecuencia intermedia, un falso descarte de individualización (C_{21}), comparándola con el juego en el que la mejor consecuencia (por ejemplo, C_{11} , una correcta individualización) se obtiene con probabilidad α y la peor consecuencia (C_{12} , una falsa individualización) se obtiene con probabilidad $1 - \alpha$. Para hacer esta probabilidad α explícita, podemos considerar, por ejemplo, la llamada «rueda de la probabilidad» [ejemplo, 30] tal y como se muestra en la Figura

1, en la que la apertura de un puntero puede parar en cualquiera de los dos sectores que se corresponden con la relación α : $(1 - \alpha)$. Un procedimiento común alternativo para medir α consiste en imaginar que sacamos una bola de una urna en la que las bolas tienen dos colores (por ejemplo, rojo y blanco) (*v. gr.*, Lindley, 2014), y el hecho de que saquemos una bola coloreada depende de la proporción de bolas rojas, que viene a hacerse igual a α . Haciendo esto, el último paso del procedimiento consiste en encontrar la probabilidad α que nos haga indiferentes entre la consecuencia segura C_{21} y el juego, es decir:

$$C_{21} - \alpha C_{11} + (1 - \alpha)C_{12}. \quad (3)$$

Cuando la relación (3) se satisface, puede probarse que la utilidad C_{21} puede derivarse de acuerdo con Groot (1970):

$$U(C_{21}) = \alpha U(C_{11}) + (1 - \alpha) U(C_{12}). \quad (4)$$

Sin embargo, como la mejor consecuencia C_{11} tiene utilidad uno y la peor consecuencia

C_{12} tiene utilidad cero, inmediatamente obtenemos que $U(C_{12}) = \alpha$. De esta forma, de

acuerdo con este esquema, la medida numérica de la deseabilidad de una consecuencia intermedia C_{21} es igual a la probabilidad a de que podamos obtener la mejor consecuencia (por ejemplo, una correcta individualización) o, inversamente, la probabilidad $(1 - a)$ de que obtengamos la peor consecuencia (es decir, una falsa individualización).

3.2. DISCUSIÓN SOBRE EL ENFOQUE DE LA UTILIDAD

El punto de vista de la utilidad presentado en la sección anterior incluye la probabilidad que podemos asignar a una falsa individualización $(1 - a)$. Se trata de una probabilidad personal definida como parte del procedimiento para obtener la utilidad. Es importante subrayar que es conceptualmente diferente —y no debe ser confundida— de la probabilidad que asignamos a la proposición de que el sospechoso sea la fuente del vestigio de traza, representada por $P(q_1|I)$ en la Sección 2.2.

Podría considerarse objetable medir la deseabilidad de un falso descarte de individualización (es decir, la consecuencia intermedia C_{21}) en términos de probabilidad para obtener la mejor consecuencia (correcta individualización) y, a la inversa, mediante la expresión y aceptación de una probabilidad de una falsa identificación. Concretamente, podría argumentarse que en principio es inaceptable mantener tal probabilidad, y que, como consecuencia, querríamos que $a = 1$. Es decir, tendríamos que ser indiferentes entre la consecuencia segura C_{21} y el juego imaginario solo si este *no* condujera a una falsa identificación, una situación en la cual $(1 - a) = 0$. Sin embargo, consideremos qué ocurre si asignamos $U(C_{21}) = a = 1$. La utilidad esperada de la decisión d_2 , que no individualiza al sospechoso, sería uno (ecuación (2)), cualquiera que fuera

$P(q_1|I)$. Por consiguiente, siempre sería más grande que la utilidad esperada de la decisión d_1 , dada por $EU(d_1) = P(q_1|I)$ (ecuación (1)). Pero si siempre ocurre que $EU(d_2) > EU(d_1)$, entonces esto significa que *siempre* decidiremos d_2 , es decir, que no individualiza. Sin embargo, los que en la práctica toman decisiones, individualizan. Por tanto, su utilidad $U(C_{21})$ de un falso descarte de individualización existe y es claramente menor que uno, de modo que es su probabilidad a la que hace aceptable para ellos el juego imaginario¹¹.

Presumiblemente, la utilidad $U(C_{21}) = a$ tome un valor que sea más próximo al límite superior de la escala de utilidad 0-1 que al límite inferior. Esto se deduce partiendo de que la probabilidad $(1 - a)$ para la peor consecuencia (una falsa individualización), en el juego imaginario, ha de ser claramente baja. Cuán baja debe ser es un juicio que cae en la esfera del que ha de tomar la decisión individualmente. Esta conclusión quizá parezca insatisfactoria para el que toma la decisión práctica de una asignación explícita con el fin de determinar la decisión con la utilidad esperada máxima (ecuaciones (1) y (2)). Una forma de aproximarse a esta dificultad conceptual consiste en relacionar $U(C_{21}) = a$ con las creencias del que ha de tomar la decisión sobre las proposiciones objetivo q_1 y q_2 . Por ejemplo, quien ha de decidir quizá se pregunte:

Dado mi actual estado de creencia sobre la verdad o no de q_1 , ¿cuál debe ser mi utilidad de un falso descarte de individualización $U(C_{21})$, para que una individualización (decisión d_1) esté garantizada en términos teóricos de decisión (es decir, el principio de utilidad esperada máxima)?

Más formalmente, necesitamos informarnos sobre los valores de $U(C_{ij})$ tales que hagan que $EU(d_1) > EU(d_2)$, es decir:

$$U(C_{11}) Pr(q_1|I) + U(C_{12}) Pr(q_2|I) > U(C_{21}) Pr(q_1|I) + U(C_{22}) Pr(q_2|I). \quad (5)$$

Reordenando términos, obtenemos:

$$\frac{\Pr(\theta_2|I)}{\Pr(\theta_1|I)} < \frac{U(C_{11}) - U(C_{21})}{U(C_{22}) - U(C_{12})} \quad (6)$$

Obsérvese que para cualquier escala 0-1 para la función de utilidad que se elija, las utilidades para la mejor y la peor consecuencia

(C_{11} y C_{12}) se asignan, respectivamente, como uno y cero (ver también la Sección 3.1.), y la ecuación (6) se reduce a:

$$\frac{\Pr(\theta_2|I)}{\Pr(\theta_1|I)} < 1 - U(C_{21}) = 1 - a \quad (7)$$

Este resultado revela dos cosas. Primero, si la apuesta contra q_1 es mayor que uno, es decir, $\Pr(q_2|I) > \Pr(q_1|I)$, entonces la desigualdad no

puede satisfacerse puesto que la utilidad C_{21} ha de ser negativa, es decir, fuera de la escala de utilidad 0-1 (ver también Figura 2).

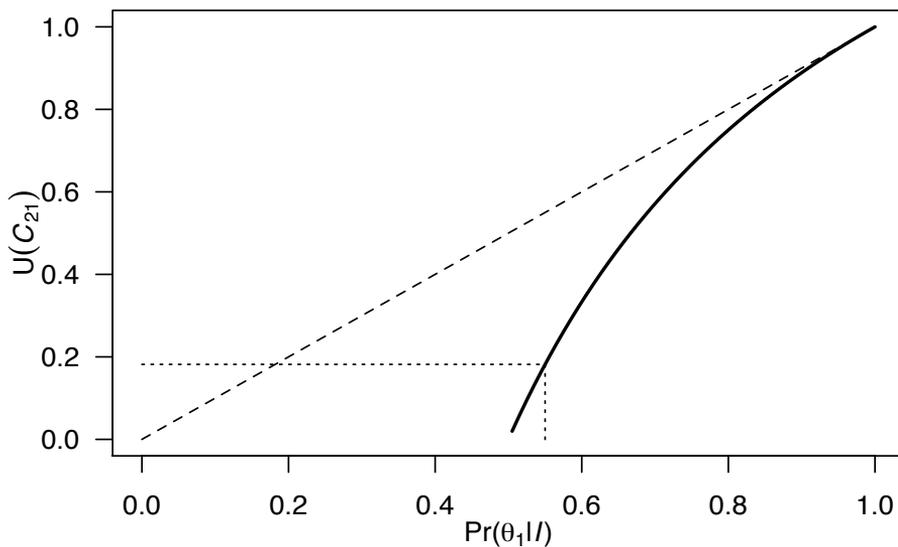


FIGURA 2

Representación del valor máximo que la utilidad de un faso descarte de individualización, $U(C_{21})$, puede tomar (línea sólida negra), en función de la probabilidad de que la fuente potencial sea la verdadera fuente $\Pr(q_1|I)$, con el fin de que la decisión de individualizar (d_1) sea la decisión preferida. El valor máximo viene dado por 1 menos la apuesta a favor de q_2 (ecuación (8)) y es estrictamente menor que $\Pr(q_1|I)$ (línea de rayas). La línea de puntos ilustra un ejemplo para un caso en el que $\Pr(q_1|I) = 0.55$, como se trata en el cuerpo principal del texto.

Por tanto, la decisión d_1 no puede ser la decisión preferida en este contexto para probabilidades $\Pr(q_1|I)$ por debajo de 0.5. Esto está en consonancia con la idea general de que no estamos preparados para decidir a favor de una proposición que no tenga preponderancia en

la probabilidad. Lo segundo es que para que d_1 sea la decisión preferida, la utilidad $U(C_{21})$ no puede exceder de uno menos la apuesta en contra de q_1 . Es decir, reescribiendo la ecuación (7):

$$1 - \frac{\Pr(\theta_2|I)}{\Pr(\theta_1|I)} > U(C_{21}) \quad (8)$$

En principio, teniendo en cuenta lo que se ha señalado, el esquema permite que d_1 sea la decisión preferida para probabilidades incluso ligeramente por encima de 0.5, pero esto redundaría en un valor límite de $U(C_{21})$ bastante bajo. Esto puede entrar en conflicto con la valoración que hemos hecho de $U(C_{21})$ a través de la ecuación (4), que conlleva la probabilidad $1 - a$ de una falsa individualización. Por ejemplo, si la probabilidad que asignamos a $\Pr(q_1|I)$ es solo 0.55, entonces $U(C_{21})$ debe ser menor que $1 - (0.45/0.55) = 0.18$ con el fin de que d_1 sea la decisión preferida (ver la línea de puntos en la Figura 2). Sin embargo, de la ecuación (4), $a = 0.18$ implica una probabilidad de $1 - 0.18 = 0.82$ de falsa individualización, que es considerable. De este modo, para decidir d_1 , la probabilidad de q_1 no solo debe ser mayor de 0.5, como se hizo notar en el anterior párrafo, sino claramente preponderante (es decir, valores próximos a la unidad). Generalmente, a medida que $\Pr(q_1|I)$ tiende a la unidad, el límite superior de $U(C_{21})$ se aproxima también a la unidad. Esto debe resolver posibles conflictos con las preferencias expresadas a través de la ecuación (4). Estas tendencias parecen plenamente razonables.

Una conclusión esencial de lo dicho hasta ahora es que cualquier decisión que individualice (d_1) hecha en un estado de creencia $\Pr(q_1|I) > 0.5$, puede reconstruirse en términos de un valor de utilidad a , menor que uno,

para la consecuencia intermedia “falso descarte de individualización” que, a su vez, está relacionado con una probabilidad $(1 - a)$ de falsa individualización mayor que cero.

3.3. EL ENFOQUE DEL COSTE

La elección de la escala de utilidad considerada en las Secciones 3.1 y 3.2 es sutil y conceptualmente compleja. Para hallar, por ejemplo, la decisión con la máxima utilidad esperada necesitamos considerar la probabilidad de una falsa individualización $(1 - a)$, pero este valor *no* se corresponde con la probabilidad de que la decisión que individualiza (d_1) en el caso considerado sea errónea. Claramente, la última viene dada por $\Pr(q_2|I)$, la probabilidad de que la traza no provenga de la fuente potencial. Obsérvese, en concreto, que con el fin de individualizar (decisión d_1) en un estado determinado de incertidumbre sobre el verdadero estado de las cosas (q), la probabilidad de una falsa individualización $(1 - a)$, como se definió en el procedimiento para su obtención (Figura 1), debe ser realmente mayor que $\Pr(q_2|I)$. Estas distinciones puede que no sean fáciles de reconciliar.

Un modo alternativo de especificar la matriz de decisión es la valoración de las consecuencias C_{ij} en términos de costes, representados mediante $L(C_{ij})$ en la Tabla 2.

TABLA 2

Reformulación de la Tabla 1 en términos de costes $L(C_{ij})$, con $i, j = \{1, 2\}$, asignados a las consecuencias C_{ij} resultantes de decisiones d_i bajo posibles estados de naturaleza q_j .

Decisiones	Estados de naturaleza: el sospechoso es la fuente (q_1)	... no es la fuente (q_2)
	Individualizar (d_1)		$L(C_{11})$
No individualizar (d_2)		$L(C_{21})$	$L(C_{22})$

Bajo este punto de vista, a las mejores consecuencias —individualización correcta (C_{11})

y exclusión correcta (C_{22})— se les asigna el valor cero: no hay coste asociado a ellas porque no representan consecuencias indeseables. A su vez, permitamos que las consecuencias C_{12} (falsa individualización) y C_{21} (falso descarte de individualización) de una decisión errónea tengan valores distintos de cero. De momento, dejamos a un lado las asignaciones numéricas y nos centramos únicamente en las propieda-

Comencemos por reescribir las ecuaciones (1) y (2) en términos de costes en lugar de utilidades. Esto nos conduce a los costes esperados EL de las decisiones d_1 y d_2 , respectivamente:

$$EL(d_1) = L(C_{11}) \Pr(q_1|I) + L(C_{12}) \Pr(q_2|I), \quad (9)$$

$$EL(d_2) = L(C_{21}) \Pr(q_1|I) + L(C_{22}) \Pr(q_2|I). \quad (10)$$

El criterio de decisión ahora es elegir la opción que *minimice* el coste esperado. Por ejemplo, la individualización (d_1) es la opción preferida si su coste esperado es menor que el son iguales a cero y se cancelan. Escribiendo $EL(d_1) < EL(d_2)$ en toda su amplitud y eliminando los términos que incluyen costes iguales a cero, $L(C_{11})$ y $L(C_{22})$, llegamos a lo siguiente:

$$L(C_{12}) \Pr(q_2|I) < L(C_{21}) \Pr(q_1|I),$$

$$\frac{\Pr(\theta_1|I)}{\Pr(\theta_2|I)} > \frac{L(C_{12})}{L(C_{21})}. \quad (11)$$

La ecuación (11) establece que la decisión que individualiza (d_1) ha de ser la preferida si y solo si la apuesta a favor de q_1 (la proposición de acuerdo con la cual la traza procede de la fuente potencial) es mayor que la relación de costes $L(C_{12})$ y $L(C_{21})$, de una falsa individualización y de un falso descarte de individualización, respectivamente.

3.4. DISCUSIÓN DEL ENFOQUE DE COSTES

Vale la pena mencionar que la ecuación (11) es un resultado estándar en teoría de la

des generales de su desarrollo. De hecho, la principal ventaja de la función de coste para la aplicación aquí considerada es que las asignaciones numéricas no se necesitan con el fin de comprender ulteriormente la individualización forense desde el punto de vista analítico de una decisión.

correspondiente de la decisión de no individualización (d_2), es decir, $EL(d_1) < EL(d_2)$. Para determinar las condiciones bajo las cuales sea este el caso, se necesita echar una mirada más detenida a las asignaciones de $L(C_{12})$ y $L(C_{21})$ que puedan producir adversas consecuencias. Podemos concentrar nuestra atención en ellas porque los otros dos costes, $L(C_{11})$ y $L(C_{22})$, corresponden a consecuencias que no producen adversas consecuencias.

Podemos concentrar nuestra atención en ellas porque los otros dos costes, $L(C_{11})$ y $L(C_{22})$, corresponden a consecuencias que no producen adversas consecuencias. decisión bayesiana con respecto a la elección entre cualesquiera dos teorías o modelos rivales (*v. gr.*, Bernardo y Smith, 2000)¹². Por ejemplo, se ve fácilmente que si las decisiones por un estado erróneo de naturaleza (es decir, las consecuencias C_{12} y C_{21}) se consideran igualmente deseables, es decir, se les asigna el mismo valor de coste, entonces la regla de decisión bayesiana consiste en decidir d_1 si y solo si q_1 es más probable que q_2 . Esto a veces se ilustra tomando como referencia un proceso civil, en el que el resultado consistiría en decidir a favor de una parte si la probabilidad de su «caso» es mayor que 0.5 y, por consiguiente, la probabilidad del caso de la parte adversaria es menor que 0.5, y en el que decidir erróneamente por cada parte fuera considerado igualmente indeseable (*v. gr.*, Kaye, 1999).

La comparación implicada en la ecuación (11) es esencialmente cualitativa y se reduce a un coste con respecto al otro. Asumiendo que una falsa individualización (C_{12}) es peor que un falso descarte de individualización (C_{21}), tenemos que $L(C_{12}) > L(C_{21})$ y podemos definir

$$L(C_{12}) = xL(C_{21}), \text{ para } x > 0. \quad (12)$$

La ecuación (12) muestra que el factor central es x y que para un x dado, utilizando la escala 0-1, podemos fijar $L(C_{12})$ —el coste asociado a la peor consecuencia— y luego dividirlo por x para conseguir, inmediatamente, $L(C_{21})$, o alternativamente, podemos fijar $L(C_{21})$ y luego conseguir $L(C_{12})$ multiplicándolo por x . La conclusión práctica, de este modo, es que el que ha de tomar la decisión solo necesita especificar *cuánto peor* considera una individualización falsa que un falso descarte de individualización.

Ejemplo. Supongamos que el que ha de tomar una decisión considera que una falsa individualización (C_{12}) es cincuenta veces¹³ peor que un falso descarte de individualización (C_{21}). Así, x en la ecuación (12) es igual a 50. Para individualizar con tal estructura de preferencias, la ecuación (11) requiere que el que ha de decidir ha de apostar a favor de q_1 (que el sospechoso es la fuente del vestigio del crimen) al menos 50 veces más que frente a q_2 , que se corresponde aproximadamente con una probabilidad $\Pr(q_1|I)$ de 0.98.

Ejemplo. Supongamos que la apuesta del que ha de decidir a favor de q_1 (el sospechoso es la fuente del vestigio del crimen) frente a q_2 (una persona desconocida es la fuente del vestigio del crimen) es de 1000, correspondiéndose con una probabilidad $\Pr(q_1|I)$ de 0.999.

un único factor, denominado x por simplicidad, que establece cuán grande es el valor de una falsa individualización (C_{12}) es peor que un falso descarte de individualización (C_{21}) y podemos definir

Dado este estado de creencias con respecto a q_1 y q_2 , el criterio de decisión de la ecuación (11) da derecho al que ha de decidir a individualizar (decisión d_1) si y solo si el coste $L(C_{12})$ de una individualización errónea es menor a 1000 veces más que el coste de un falso descarte de individualización $L(C_{21})$.

Obsérvese que el factor x es, en ocasiones, pensado en términos de lo que afirma Blackstone: «es mejor que diez culpables escapen, que sufra un inocente» (Blackstone, 1996: 352). Sin embargo, como observa Kayé (1999), esta frase expresa la tasa de error real en lugar de una relación de costes (es decir, costes relativos) para un caso determinado, representado por la parte de la derecha de la ecuación (11).

A pesar de que la interpretación de los valores de costes a través de la ecuación (12) es intuitivamente clara, aún resulta de interés considerar la relación entre los valores de coste y utilidad, de tal forma que se asegure una coherencia global en la estructura de preferencias de quien tenga que decidir. Una forma estándar de obtener una función de coste es la de considerar, para cada estado de naturaleza q (es decir, las columnas de la Tabla 1), la diferencia entre la utilidad de la mejor consecuencia bajo el estado de naturaleza dado y la utilidad de una consecuencia de interés. El coste asignado a una consecuencia dada, expresa así la penalización por no haber tomado la mejor decisión bajo el estado de naturaleza acaecido.

Más formalmente, el coste de cualquier consecuencia C_{ij} puede escribirse como $L(C_{ij}) = \max\{U(C_{\{j\}}) - U(C_{ij})\}$.

TABLA 3

Una matriz de decisión con utilidades y costes por las consecuencias de decisiones d_1 y d_2 bajo estados de naturaleza q_1 (el sospechoso es la fuente del vestigio del crimen) y q_2 (una persona desconocida es la fuente del vestigio del crimen). Las utilidades se asignan de acuerdo con la discusión presentada en la Sección 3.1., donde a significa la probabilidad de obtener la mejor consecuencia (*vid.* también la Figura 1).

Estados de naturaleza:	El sospechoso es la fuente (q_1)	... no es la fuente (q_2)	... la fuente (q_1)	... no es la fuente (q_2)
		Utilidades		Costes	

Decisiones	Individualizar (d_1)	1	de que está confinada a valores del intervalo entre 0 y 1. Vale también la pena señalar que
	No individualizar (d_2)	a	la utilidad de la consecuencia intermedia C_{21} (falso descarte de individualización), es decir, la probabilidad a (Figura 1), se convierte en el coste $(1 - a)$, que ha sido interpretado como la probabilidad de una falsa individualización en el procedimiento para la obtención de la utilidad (Sección 3.1).

La Tabla 3 muestra cómo derivar los valores de coste a partir de las utilidades asignadas en la Sección 3.1. Para un estado de naturaleza dado q_j , comenzamos por identificar la utilidad máxima (por ejemplo, 1 bajo q_1). Luego restamos, para cada consecuencia, la utilidad $U(C_{ij})$ de la consecuencia. Esto transformará utilidades de 1 para las mejores consecuencias a costes de 0, expresando el punto de vista de que no se incurre en coste alguno cuando se toma la mejor acción. Obsérvese que la función de coste resultante está estrechamente relacionada con la función de utilidad en el sentido de una decisión de individualización (d_1) en términos teóricos de la decisión (es decir, el principio de mínimo coste esperado)?

Con la anterior estructura de costes en mente, podemos de nuevo preguntarnos una cuestión similar a la considerada en la Sección 3.2:

Dado mi actual estado de creencia sobre la verdad o no de q_1 , ¿cuáles son las restricciones lógicas sobre mi coste de un falso descarte de individualización, $L(C_{21})$, con el fin de garantizar una decisión de individualización (es decir, el principio

Con los costes asignados en la Tabla 3, podemos reescribir la ecuación (11) como:

$$\frac{\Pr(\theta_1|I)}{\Pr(\theta_2|I)} > \frac{1}{1-\alpha}$$

de la que se sigue que

$$\frac{\Pr(\theta_2|I)}{\Pr(\theta_1|I)} < (1-\alpha) \tag{13}$$

Dicho en otras palabras, de este modo, la decisión de individualizar (d_1) debe seleccio-

narse si la probabilidad que asignamos a una falsa individualización ($1 - a$) es *mayor* que la apuesta que hacemos contra q_1 .

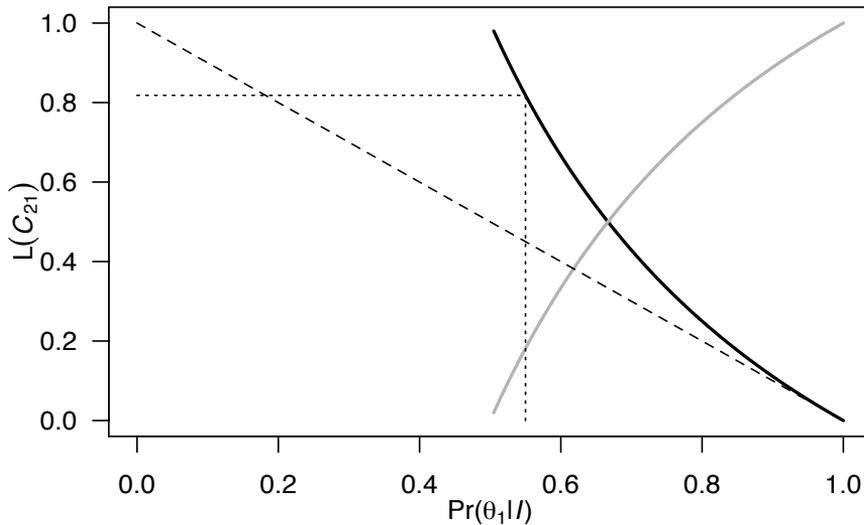


FIGURA 3

Representación del valor mínimo que el coste de un falso descarte de individualización, $L(C_{21})$, puede tener (línea sólida negra), en función de la probabilidad de que la fuente potencial sea la verdadera fuente $Pr(q_1|I)$, con el fin de que la decisión de individualizar (d_1) sea la decisión preferida. El valor mínimo viene dado por la apuesta en contra de q_1 (ecuación (13)) y es estrictamente mayor que $Pr(q_2|I)$ (línea de rayas). A efectos de comparación, la línea sólida gris reproduce el máximo valor que la utilidad de un falso descarte de individualización $U(C_{21})$ puede tomar de acuerdo con la Figura 2. La línea de puntos ilustra un ejemplo para un caso en el que $Pr(q_1|I) = 0.55$, como se trata en el cuerpo principal del texto.

La Figura 3 proporciona un resumen visual de esta condición y también ilustra que $(1 - a)$ debe ser estrictamente mayor que $Pr(q_2|I)$. La figura también muestra una situación en la que la probabilidad asignada a q_1 es bastante moderada, es decir, 0.55, que requeriría una probabilidad de falsa individualización $(1 - a)$ (en el juego definido como Figura 1) de, al menos, $0.45/0.55 = 0.82$ (línea de puntos) con el fin de que la decisión d_1 , que individualiza, fuera la decisión preferida de acuerdo con el principio de minimización del coste esperado. Obsérvese también que el valor tan alto de $(1 - a)$ implica una baja probabilidad a , y, de este modo, una utilidad baja para un falso descarte de individualización. Claramente, como se advirtió en la Sección 3.2., parecería más apropiado mantener una baja probabilidad $(1 - a)$

para una falsa individualización, que haría una individualización (d_1) preferible solo cuando $Pr(q_1|I)$ tendiera a la unidad. En la medida de lo posible, de este modo, el modelo teórico de la decisión ofrece una perspectiva intuitivamente razonable.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. LA LEY DE LA PALANCA DE ARQUÍMEDES Y LA INDIVIDUALIZACIÓN TEÓRICA DE LA DECISIÓN BAYESIANA

En la Sección 3 se ha mostrado que la *decisión de individualizar* descansa, en esencia, sobre una comparación entre, por una parte, la apuesta a favor de la proposición de que la fuente potencial es la verdadera fuente (propo-

sición q_1), en lugar de que lo sea una persona desconocida (proposición q_2) y, por otra, los costes relativos de determinaciones erróneas, es decir, la relación del coste de una falsa individualización $L(C_{12})$ con respecto al de un falso descarte de individualización $L(C_{21})$. Siempre que la primera relación exceda a la segunda, el criterio de decisión bayesiano es el de seleccionar la decisión d_1 (individualización).

Para ayudar a comprender este resultado formal, es interesante expresar el punto de vista de la lógica de decisión bayesiana de forma ilustrativa. Podemos conseguirlo mediante la Ley de la Palanca de Arquímedes, el establecimiento del equilibrio requiere que la longitud R sea dos veces la de S . Más generalmente, $A \times R = B \times S$, de lo que se sigue que:

$$\frac{A}{B} = \frac{S}{R}, \tag{14}$$

que es la relación de las dos magnitudes A y B que se iguala a la relación recíproca entre sus distancias R y S .

Resulta obvio ver que la ecuación (14) tiene la misma estructura que el criterio de decisión bayesiana, ecuación (11), de forma que las magnitudes pueden interpretarse como costes de consecuencias adversas y las longitudes R y S como los costes esperados de no individualización (d_2) es mayor que el coste esperado de una individualización (d_1).

lanca de Arquímedes, ilustrada en la Figura 4(i) y (ii). En resumen, esta ley establece que «[...] las magnitudes [...] se encontrarán en equilibrio a distancias recíprocamente proporcionales a las magnitudes» (Dijksterhuis, Dikshoom y Knorr, 1987: 305). Por ejemplo, dos magnitudes iguales A y B están en equilibrio si las longitudes R y S de la palanca que pivota sobre un punto de apoyo son iguales (situación mostrada en la Figura 4 (i)). Si la magnitud B fuera mayor que A , entonces la longitud R necesitaría incrementarse para que se mantuviera el equilibrio: como se muestra en la Figura 4 (ii), si la magnitud B es dos veces la de A , la longitud R debe ser dos veces la de S .

sobre las que se necesita tomar una decisión. Esto se ilustra en la Figura 4 (iii): claramente, si el coste de una falsa individualización $L(C_{12})$ multiplicado por la probabilidad de que el sospechoso no sea la fuente del vestigio del crimen, $\Pr(q_2|I)$ es menor que el coste de un falso descarte de individualización $L(C_{21})$ multiplicado por la probabilidad de que el sospechoso sea la fuente del vestigio, $\Pr(q_1|I)$, la palanca se inclinará hacia la izquierda, indicando que el

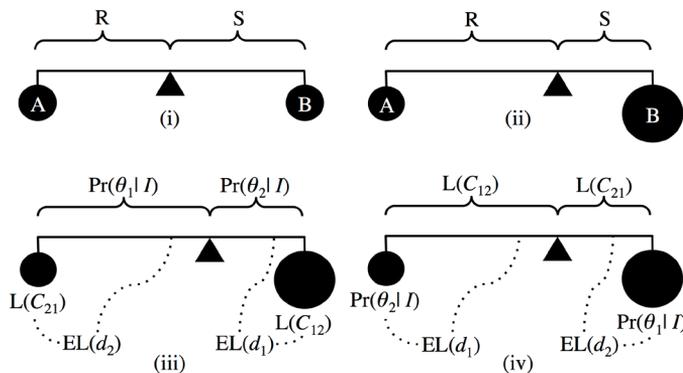


FIGURA 4

(i y ii) Ilustración de la Ley de la Palanca de Arquímedes para dos magnitudes A y B a distancias R y S desde el pivote. (iii y iv) Interpretación de la Ley de la Palanca en términos de probabilidades para las proposiciones q_1 y q_2 , y los costes L de decisiones erróneas en un escenario de individualización, como el definido por el criterio de decisión bayesiano de la ecuación (11).

La decisión que se ha de tomar es, de este modo, d_1 , porque tiene el coste esperado más pequeño. Igualmente, es posible interpretar las magnitudes como las probabilidades de las principales proposiciones q_1 y q_2 , y sus distancias al punto de apoyo como los costes de decisiones erróneas, como se muestra en la Figura 4 (iv). Resulta claro, desde esta perspectiva, que cuando los dos costes, $L(C_{12})$ y $L(C_{21})$, son iguales, el equilibrio requiere que las dos magnitudes —es decir, las probabilidades $\Pr(q_1|I)$ y $\Pr(q_2|I)$ — sean también iguales, porque en caso contrario la palanca basculará de un lado a otro, dependiendo de cuál de las probabilidades es la mayor. Esto precisamente ilustra la referencia al proceso civil referido al comienzo de la Sección 3.4., en el que la decisión se realiza de la forma que se conoce como «balance de probabilidades».

La Ley de la Palanca proporciona una generalización eficaz de la ilustración más ordinariamente conocida de las balanzas (de la justicia). En particular, la Ley de la Palanca ilustra que incluso aunque $\Pr(q_1|I)$ (la probabilidad exámenes forenses comparativos. Esto puede explicarse reconsiderando la ecuación (11) y escribiendo la apuesta a posteriori a favor de q_1 , es decir, la proposición de acuerdo con la cual el sospechoso es la fuente de la mancha del crimen, como el producto de la apuesta *a priori* y la relación de verosimilitud de los resultados forenses E:

$$\frac{\Pr(\theta_1|I,E)}{\frac{\Pr(\theta_2|I,E)}{L(C_{12})}} = \frac{\Pr(\theta_1|I)}{\Pr(\theta_2|I)} \times \frac{\Pr(E|\theta_1,I)}{\Pr(E|\theta_2,I)} > \quad (15)$$

(Leyenda de la ecuación en la parte de la derecha de la igualdad, traducido de izquierda a derecha: apuesta *a priori*; relación de verosimilitud; relación de costes).

de que el sospechoso sea la fuente) sea claramente mayor que la probabilidad de la proposición alternativa q_2 , un coste asociado a C_{12} (una falsa individualización) suficientemente grande puede hacer que la palanca bascule hacia la izquierda, lo que significa que el coste esperado $EL(d_1) = L(C_{12})\Pr(q_2|I)$ es mayor que el coste esperado de d_2 (que no individualiza) y hace que esta última decisión sea preferible a d_1 (individualización) desde el punto de vista de la decisión bayesiana. Dicho de otro modo, incluso aunque nos encontremos ante un caso con preponderancia de probabilidades a favor de la proposición de que el sospechoso es la fuente de la mancha del crimen, es decir, que $\Pr(q_1|I) > \Pr(q_2|I)$, la individualización puede que *no* sea la decisión óptima si el coste de una falsa individualización $L(C_{12})$ es suficientemente grande comparado con el coste de un falso descarte de individualización $L(C_{21})$, y es capaz de inclinar la palanca hacia la izquierda en la Figura 4 (iv), haciendo que $EL(d_1)$ sea mayor que $EL(d_2)$ ¹⁴.

4.2. RELACIONES DE VEROSIMILITUD EN EL MARCO DE LA DECISIÓN

Vale la pena mencionar y, por consiguiente, ilustrar, que el marco teórico de decisión bayesiano para la individualización no es incompatible con la aproximación de la relación de verosimilitud para evaluar resultados de

Recuérdese que la ecuación (15) define la condición que hace que la decisión que individualiza (d_1) sea preferible a d_2 (que no individualiza), es decir, cuando el producto de la izquierda sea mayor que los costes relativos de la derecha. El criterio de la decisión bayesiana puede, de este modo, ser reformulado con un énfasis sobre la relación de verosimilitud:

La decisión que individualiza d_1 es preferible si el producto de la relación de verosi-

militud y la apuesta a priori es mayor que la relación entre el coste de una errónea individualización y el coste de un erróneo descarte

A veces se argumenta que la comprensión de los productos puede facilitarse trabajando con logaritmos [por ejemplo, 37], porque esto hace que los términos se sumen entre sí. Aplicando logaritmos a la ecuación (15), se obtiene:

$$\log \left[\frac{\Pr(\theta_1|I)}{\Pr(\theta_2|I)} \right] + \log \left[\frac{\Pr(E|\theta_1, I)}{\Pr(E|\theta_2, I)} \right] > \log \left[\frac{L(C_{12})}{L(C_{21})} \right], \quad (16)$$

y reordenando los términos, podemos aislar la relación de verosimilitud como sigue:

$$\log \left[\frac{\Pr(E|\theta_1, I)}{\Pr(E|\theta_2, I)} \right] > \log \left[\frac{L(C_{12})}{L(C_{21})} \right] + \log \left[\frac{\Pr(\theta_2|I)}{\Pr(\theta_1|I)} \right]$$

El logaritmo de la relación de verosimilitud se interpreta, ordinariamente, en términos de peso de la prueba, un término ampliamente (q_1) y el logaritmo de la relación entre el coste de una individualización errónea y el coste de un falso descarte de individualización (es decir, costes asociados con consecuencias adversas).

de individualización (es decir, costes asociados con consecuencias adversas).

atribuido a Good (1950). En el contexto del criterio de la decisión bayesiana para la individualización (decisión d_1), la ecuación (17) conduce a la siguiente condición:

La individualización (d_1) es la decisión preferida si y solo si el peso de la prueba es mayor que la suma del logaritmo de la apuesta *a priori* en contra de la proposición de la fuente común

TABLA 4

Ejemplos de valores mínimos de relación de verosimilitudes (LR) necesarios para hacer que la decisión de individualizar (d_1) sea preferible a la de no individualización (d_2) para diferentes combinaciones de apuestas a priori (PO, apuesta a favor de la proposición de que el sospechoso es la fuente de la mancha del crimen) y costes relativos (RL), tal y como se definen en la ecuación (17). Los valores de las columnas 4 a 6 son los logaritmos (en base 10) de los valores presentados en las primeras tres columnas.

PO=Pr(q_1 I)/Pr(q_2 I)	LR	RL	log(PO)	log(LR)	log(RL)
1/10 = 0.1	100	10	-1	2	1
1/10 = 0.1	1000	100	-1	3	2
1/1000 = 0.001	10 ⁵	100	-3	5	2
1/1000 = 0.001	10 ⁶	1000	-3	6	3

5. CONCLUSIONES

La Tabla 4 ilustra ejemplos de combinaciones de apuestas a priori y valores umbrales que las relaciones de verosimilitudes han de exceder para que —para determinadas relaciones de costes— una individualización sea preferible a una no individualización de acuerdo con el punto de vista teórico de la decisión bayesiana (ecuación (16)).

Los tres elementos fundamentales de la teoría de la decisión bayesiana, es decir, las proposiciones y sus probabilidades asociadas, las decisiones y las preferencias entre sus consecuencias, proporcionan un marco riguroso mediante el cual el problema de la individualización en contextos forenses puede acometerse de una forma disciplinada. Concretamente, como Stoney (2012) ha hecho notar, estos tres

elementos nos permiten ver que la práctica tradicional de la individualización forense se enfrentaba a una tarea que iba más allá de lo que, justificadamente, podía hacer con la ciencia en exclusiva:

Durante unos 100 años, los tribunales y el público ha esperado, y los dactiloscopistas han proporcionado, testimonio experto que aúna estos tres elementos: ofrecimiento de testimonio no como indicio, sino como prueba, asunción de *a priori* e inclusión de preferencias en toma de decisiones. Esto conllevó una abrumadora carga no realista, por la que se pedía a los dactiloscopistas, en nombre de la ciencia, algo que la ciencia no podía proporcionar. Como consecuencia necesaria, los examinadores de huellas dactilares llegaron a ser poco científicos (Stoney, 2012:400).

Los juicios de preferencias sobre consecuencias, de este modo, juegan una posición central en el problema de la decisión al que la individualización equivale. La verdadera naturaleza de estas expresiones de preferencias—cómo deben asignarse y cómo deben conectarse a las propiedades características del problema de la individualización— permanecen aún como temas que son objeto de animada discusión (ver también la referencia en la Sección 1). Las dificultades existentes para ofrecer respuestas a estas cuestiones aparecen como un obstáculo muy importante para una más amplia comprensión de la perspectiva teórica de la decisión.

E este artículo, la asignación de valores en la matriz de decisión ha sido abordada desde dos diferentes perspectivas, utilidades y costes. Se ha subrayado que las propiedades matemáticas generales de las funciones de utilidad y costes no solo facilitan la determinación del ámbito de la escala de juicios de valor, sino que también reducen eficazmente el número de asignaciones que requieren la atención activa del analista. En el contexto particular de la individualización, las asignaciones que requieren principal cuidado pueden realmente reducirse a un único elemento (por ejemplo, cuando se

asume una matriz de decisión 2x2 y una función de utilidad (coste) 0-1), es decir, el valor de la preferencia por un falso descarte de individualización. Puede pensarse aisladamente o en combinación con el valor de preferencia asignado a una falsa individualización. Desde un punto de vista más general, la decisión que individualiza puede conceptualizarse como una comparación entre creencias relativas en las principales proposiciones (es decir, siendo el sospechoso u otra persona la fuente de la mancha del crimen) y los costes relativos por consecuencias adversas (es decir, ecuación (11)).

Los últimos elementos son todos los componentes que el que toma la decisión imagina informalmente, de ahí que el marco teórico de la decisión proporciona una forma de hacer explícitos y formalmente precisos todos esos elementos. Más aún, el concepto establecido del peso de la prueba en aplicaciones forenses, es decir, la relación de verosimilitud, tiene un papel claramente definido en el marco teórico de la decisión para una individualización: como se ha mostrado a través de las ecuaciones (15)-(17), se compara con los costes relativos de consecuencias adversas y la apuesta a priori.

Las anteriores perspectivas no proporcionan ni intentan proporcionar prescripciones directas para los roles que los participantes en procedimientos prácticos deben desempeñar. Tampoco se sugiere que la responsabilidad última de los que han de tomar decisiones deba delegarse en una teoría formal. El marco teórico meramente pretende equipar a los que han de tomar decisiones con un instrumento lógico y analítico poderoso para *ayudarles* a tratar con los diferentes factores que se piensa que tienen peso en el problema de decisión que afrontan. Si, sin embargo, aceptamos el precepto de que «[...] es la función de utilidad del tribunal la que es apropiada [...]» (Fienberg, 1989:141), entonces el marco teórico de la decisión bayesiana presentado aquí proporciona una explicación rigurosa desde un punto de vista lógico sobre cómo y mediante qué actor la utilidad puede formularse en el procedimiento legal.

Puede que la «decisionalización» de la individualización no sea nada nuevo, en el sentido de que, desde su enunciado, los que practican la ciencia forense pueden haber *decidido* sobre las conclusiones que ellos han formulado, que equivale a una *descripción* de lo que los que practican esa ciencia realizan, y lo que reflejan recientes cambios en terminología llevados a cabo por asociaciones profesionales (Cole, 2014). Por el contrario, y como argumenta Stoney en la cita mencionada anteriormente (Stoney, 2012:400), esta práctica entra en conflicto con un enfoque científico y se sitúa más allá del ámbito de las actuales líneas directrices (ENFSI, 2015). Los recursos contemporáneos de la teoría de la decisión bayesiana nos permiten hacer estas distinciones entre valor probatorio y práctica decisoria formalmente precisas y articularlas en términos justificables desde el punto de vista lógico, proporcionando, de esta manera, una perspectiva *normativa*. Esto debiera ser de interés tanto para asociaciones

profesionales como para quienes practican la ciencia forense, puesto que, al relacionar sus consideraciones con preceptos normativos, ofrecen posibilidades de ganar credibilidad en sus prácticas actuales, de escrutar el papel de los expertos y de repensar el alcance del informe del experto forense. Esto se corresponde con una necesidad actual y ayuda a responder a determinadas críticas de acuerdo con las cuales algunos cambios en las disciplinas de individualización forense son meros cambios de etiqueta en lugar de en la práctica subyacente.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a los revisores anónimos sus valiosos comentarios, los cuales han ayudado a mejorar este artículo. Esta investigación ha sido financiada por la Fundación de la Ciencia Nacional Suiza a través de la beca No. BSSGI0_155809 y la Universidad de Lausana.

NOTAS

1. La relevancia de esta cita en el contexto de la teoría de la decisión y de la individualización forense se trata en la Sección 4 de este artículo.
2. Versión 1.0, disponible en: <http://www.swgfast.org/documents/articulation/130427_Articulation_1.0.pdf>. [Consulta:10/10/2005.]
3. La discusión en este artículo se referirá, principalmente, a los documentos de formación del SWGFAST con el fin de reconocer su fuente original. Nótese, sin embargo, que SWGFAST ha sufrido cambios y se ha convertido en el Subcomité de Crestas de Fricción, que es parte de la Organización del Área Científica (OSAC).
4. El estudio de Cole (2014) está basado, en parte, en las respuestas del SWGFAST a los comentarios presentados en un proceso de consulta pública para uno de sus borradores de líneas directrices.
5. Una utilidad, en el contexto de la actual discusión, es la expresión de la deseabilidad de un individuo por una determinada consecuencia, es decir, un resultado de una decisión a la luz de un particular estado de naturaleza. La Sección 2 profundizará más en estos términos.
6. BIEDERMANN, Alex, Franco TARONI y Colin G. G. AITKEN (2014): «Liberties and constraints of the normative approach to evaluation and decision in forensic science: a discussion towards overcoming some common misconceptions», *Law Prob. Risk* 13, 181-191.
7. Nótese que hay otra decisión, no estudiada en este artículo, que se relaciona con la cuestión de si se buscan o no impresiones de huellas dactilares sobre una superficie receptora. Ver Gittelsohn *et al.* (2013) para ulteriores detalles.
8. A lo largo de este artículo, términos como «el que decide» y «analista de la decisión» se utilizan de forma indistinta. De hecho, la teoría presentada es plenamente general y es aplicable a cualquier persona enfrentada a un problema de

decisión por sí misma, concretamente, con respecto a sus creencias sobre estados de naturaleza y preferencias entre las consecuencias.

9. El término «no individualización» puede parecer deficiente, pero es consecuencia del hecho de que las otras decisiones distintas a la individualización no se especifican en mayor detalle en esta discusión.

10. Obsérvese que, a medida que se acumulan pruebas E , $\Pr(\mathbf{q}_j|I)$ se convierte en $\Pr(\mathbf{q}_j|E, I)$ a través del teorema de Bayes.

11. Este argumento ha sido también presentado en el contexto de decisiones judiciales de culpabilidad, con respecto a la valoración de utilidad de una falsa exculpación (Garbolino, 2014). Aquí, el resultado anterior $EU(d_2) > EU(d_1)$ implica que las absoluciones (decisión d_2) son preferidas a las condenas (decisión d_1), lo que no refleja la práctica judicial real.

12. Ver Bozza *et al.* (2014) para una aplicación de este resultado en clasificación bayesiana en ciencia forense.

13. Se invita a los lectores a considerar sus propios números.

14. La frase de Arquímedes «Dadme un punto de apoyo y moveré la tierra» (*v. gr.*, Chondros, 2010; y Dijksterhuis, Dikshoorn y Knorr, 1987) puede, así, ser traducida en el presente contexto del siguiente modo: «cualquier apuesta a favor de la proposición de una fuente común puede apalancarse si el coste de un falso descarte de individualización es suficientemente grande».

BIBLIOGRAFÍA

- AITKEN, Colin G. G. y Franco TARONI (2004): *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists*, Chichester: John Wiley & Sons.
- AITKEN, Colin G. G., Paul ROBERTS y Graham JACKSON (2010): «Fundamentals of Probability and Statistical Evidence in Criminal Proceedings (Practitioner Guide No. 1)», *Guidance for Judges, Lawyers, Forensic Scientists and Expert Witnesses*, Royal Statistical Society's Working Group on Statistics and the Law.
- BALDING, David J. (2005): *Weight-of-Evidence for Forensic DNA Profiles*, Hoboken: John Wiley & Sons.
- BERNARDO, José M. y Adrian F. M. SMITH (2000): *Bayesian Theory*: Chichester: John Wiley & Sons.
- BIEDERMANN, Alex, Silvia BOZZA y Franco TARONI (2008): «Decision theoretic properties of forensic identification: underlying logic and argumentative implications», *Forensic Sci. Int.*, 177, 120-132.
- BIEDERMANN, Alex, Paolo GARBOLINO y Franco TARONI (2013): «The subjectivist interpretation of probability and the problem of individualisation in forensic science», *Sci. Just.*, 53, 192-200.
- BIEDERMANN, Alex, Franco TARONI y Colin G. G. AITKEN (2014): «Liberties and constraints of the normative approach to evaluation and decision in forensic science: a discussion towards overcoming some common misconceptions», *Law Prob. Risk*, 13, 181-191.
- BLACKSTONE, William (1996): *Commentaries on the Laws of England, Vol. 4, A Facsimile of the First Edition of 1765-1769*, Chicago: University of Chicago Press.
- BOZZA, Silvia, Franco TARONI, Raymond MARQUIS y Matthieu SCHMITTBUHL (2008): «Probabilistic evaluation of handwriting evidence: likelihood ratio for authorship», *J. R. Stat. Soc. Ser. C Appl. Stat.*, 57, 329-341.
- BOZZA, Silvia, Julian BROSEÚS, Pierre ESSEIVA y Franco TARONI (2014): «Bayesian classification criterion for forensic multivariate data», *Forensic Sci. Int.*, 244, 295-301.
- CHAMPOD, Christophe (2000): «Identification/individualisation, overview and meaning of ID», en J. H. Siegel, P. J. Saukko, G. C. Knupfer (eds.), *Encyclopedia of Forensic Science*, San Diego: Academic Press, 1077-1084.
- (2015): «Fingerprint identification: advances since the 2009 NAS report», *Phil. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 370, 1-10; <<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0259>, 20140259>.
- CHONDROS, Thomas G. (2010): «Archimedes' influence in science and engineering», en S. A. Paipetis y M. Caccarelli (eds.), *The Genius of Archimedes – 23 Centuries of Influence on Mathematics, Science and Engineering, History of Mechanism and Machine Science*, vol. 11, Dordrecht: Springer, 411-425.
- COLE, Simon A. (2009): «Forensics without uniqueness, conclusions without individualization: The new epistemology of forensic identification», *Law Prob. Risk*, 8, 233-255.
- (2014): «Individualization is dead, long live individualization! Reforms of reporting practices for fingerprint analysis in the United States», *Law Prob. Risk*, 13, 117-150.

- DIJKSTERHUIS, Eduard J., C. DIKSHOORN y Wilbur R. KNORR (1987): *Archimedes*, Princeton: Princeton University Press.
- ENFSI (2015): *ENFSI Guideline for Evaluative Reporting in Forensic Science, Strengthening the Evaluation of Forensic Results Across Europe*, Dublín: (STEOFRAE).
- FIENBERG, Stephen E. (1989): *The Evolving Role of Statistical Assessments as Evidence in the Courts*, New York: Springer-Verlag.
- FRENCH, Simon (1988): *Decision Theory, An Introduction to the Mathematics of Rationality*, Chichester: Ellis Horwood Limited.
- GARBOLINO, Paolo (2014): *Probabilità et logica della prova. Epistemologia Giudiziaria* (Collana diretta da Giulio Ubertis), Milano: Giuffrè.
- GITTELSON, Simone, Silvia BOZZA, Alex BIEDERMANN y Franco TARONI (2013): «Decision-theoretic reflections on processing a fingerprint», *Forensic Sci. Int.*, 226, 42–47.
- GOOD, Isidore J. (1950): *Probability and the weighing of evidence*, London: Griffin.
- GROOT, Morris H. De (1970): *Optimal Statistical Decisions*, New York: McGraw-Hill.
- KAYE, David H. (1999): «Clarifying the burden of persuasion: what Bayesian decision rules do and do not do», *Int. J. Evid. Proof* 3, 1–29.
- (2013): «Beyond uniqueness: the birthday paradox, source attribution and individualization in forensic science testimony», *Law Prob. Risk*, 12, 3–11.
- LINDLEY, Denis V. (1985): *Making Decisions*, Chichester: John Wiley & Sons.
- (1991): «Probability», en C. G. G. Aitken y D. A. Stoney (eds.), *The Use of Statistics in Forensic Science*, New York: Ellis Horwood, 27–50.
- (2014): *Understanding Uncertainty*, revised ed., Hoboken: John Wiley & Sons.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2009): *Strengthening Forensic Science in the United States: A Path Forward*, Washington D. C.: National Academy Press.
- NEUMANN, Cedric, Ian W. EVETT y James SKERRETT (2012): «Quantifying the weight of evidence from a fingerprint comparison: a new paradigm», *J. R. Stat. Soc. Ser. A*, 175, 371–416.
- PARMIGIANI, Giovanni y Lurdes INOUE (2009): *Decision Theory: Principles and Approaches*, Chichester: John Wiley & Sons.
- RAMSEY, Frank P. (1990/1956): «Truth and probability», en D.H. Mellor (ed.), *Philosophical Papers*, Cambridge: Cambridge University Press, 52–109.
- ROBERTSON, Bernard y G. Anthony VIGNAUX (1995): *Interpreting Evidence. Evaluating Forensic Science in the Courtroom*, Chichester: John Wiley & Sons.
- STONE, David A. (2012): «Discussion on the paper by Neumann», Evett and Skerrett, *J. R. Stat. Soc. Ser. A Stat. Soc.*, 175, 399–400.
- TARONI, Franco, Colin G. G. AITKEN y Paolo GARBOLINO (2001): «De Finetti's subjectivism, the assessment of probabilities and the evaluation of evidence: a commentary for forensic scientists», *Sci. Just.*, 41, 145–150.
- TARONI, Franco, Silvia BOZZA y Colin G. G. AITKEN (2005): «Decision analysis in forensic science», *J. Forensic Sci.* 50, 894–905.
- TARONI, Franco, Silvia BOZZA, Alex BIEDERMANN, Paolo GARBOLINO, Aitken, C.G.G. (2010): *Data Analysis in Forensic Science: A Bayesian Decision Perspective. Statistics in Practice*, Chichester: John Wiley & Sons.
- TARONI, Franco, Alex BIEDERMANN, Silvia BOZZA, Paolo GARBOLINO y Colin G. G. AITKEN (2014): *Bayesian Networks for Probabilistic Inference and Decision Analysis in Forensic Science. Statistics in Practice*, Chichester: John Wiley & Sons.
- von NEUMANN, John y Oskar MORGENSTERN (1953): *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton: Princeton University Press.