

Treball Final de Màster (TFM)

Revisió bibliogràfica

**MICROBIOLOGIA FORENSE:
Els seus usos en l'àmbit forense**



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

Màster en Genètica, Física i Química Forense

Ivette Avellaneda Plaza

Tutor acadèmic: Jordi Riu Rusell

Universitat Rovira i Virgili

Juny, 2025

RESUM

En el món de la criminalística, cada vegada hi intervenen més ciències i una de les que darrerament s'ha incorporat arran de l'impacte del bioterrorisme, és la microbiologia forense, la qual pot aplicar-se tant en casos de mort natural com violenta. La present revisió bibliogràfica sobre aquesta emergent ciència en el camp forense, examina les seves àrees clau, des de la paleomicrobiologia forense, la implicació dels microorganismes en els processos de descomposició cadavèrica, i el seu paper en casos de bioterrorisme i seguretat alimentària. També quines previsions d'aplicabilitat hi ha en el futur, així com les limitacions a les que s'enfronta, marcades per l'escassa investigació existent, sent clau la recerca contínua d'aquesta àrea de la criminalística perquè pugui consolidar-se i desenvolupar noves metodologies d'ús.

Paraules clau: Bioterrorisme, Microbiologia Forense, Microorganismes.

ABSTRACT

In the field of criminalistics, more and more sciences are becoming involved, and one that has recently been incorporated, due to the significant impact of bioterrorism, is microbial forensics, which can be applied to both natural and violent death cases. This literature review of this emerging science within the forensic field examines its key areas, from paleomicrobiology, the involvement of microorganisms in cadaveric decomposition processes, and their role in cases of bioterrorism and food safety. It also considers future applicability forecasts, as well as the limitations it faces, marked by the limited existing research. Ongoing research in this area of criminalistics is crucial for its consolidation and development of new methodologies for practical use.

Key words: Bioterrorism, Microbial Forensics, Microorganisms.

ÍNDEX

<i>RESUM</i>	2
<i>ABSTRACT</i>	2
1. INTRODUCCIÓ	4
1.1. Microbiologia	4
1.2. Microbiologia Forense	6
2. OBJECTIUS	6
3. ESTUDI BIBLIOGRÀFIC	7
4. MICROORGANISMES IMPLICATS EN ELS PROCESSOS DE DESCOMPOSICIÓ CADAVERICA	7
4.1. Fenòmens cadavèrics	8
4.2. Fases de la descomposició	9
4.3. Perfils d'identificació de microorganismes	10
5. APLICACIONS DE LA MICROBIOLOGIA FORENSE	14
5.1. Paleomicrobiologia Forense	14
5.2. Bioterrorisme	15
5.2.1. Classificació dels principals agents implicats en el bioterrorisme	17
5.2.2. Diagnòstic diferencial de microorganismes en bioterrorisme	17
5.3. Seguretat alimentària	18
6. LIMITACIONS ASSOCIADES	20
7. EL FUTUR DE LA MICROBIOLOGIA FORENSE	20
7.1. Datació cadavèrica a partir del necrobioma	21
7.2. Identificació d'agressors sexuals a través de bacteris	21
8. CONCLUSIONS	23
BIBLIOGRAFIA	25

1. INTRODUCCIÓ

La criminalística és la ciència que aplica mètodes tècnics i científics per a analitzar evidències físiques relacionades amb un delictes¹. Important no confondre-la amb la criminologia, ciència empírica i interdisciplinària que segons Antonio García-Pablos, s'ocupa de "l'estudi del crim, el delinqüent, la víctima i el control social del comportament delictiu"².

Quan pensem en l'àmbit de la criminalística ràpid ens venen al cap branques com la balística, la toxicologia o l'antropologia, deixant de banda moltes altres que són de gran importància. Com seria el cas de la microbiologia forense, una ciència emergent que a través de la troballa de microorganismes pretén sumar eines en la investigació forense, ajudant entre altres aspectes en el desenvolupament de l'autòpsia en la determinació de la causa de defunció.

1.1. Microbiologia

Segons l'Institut d'Estudis Catalans (IEC), la microbiologia és la branca de la biologia que estudia els microorganismes³. En concret, la seva identificació i classificació, l'explicació del seu origen i el seu procés evolutiu, l'observació de les interaccions que es produeixen entre ells o amb altres éssers vius i l'estudi de les malalties que els microorganismes poden causar^{4, 5}.

Els microorganismes (vegeu *figura 1*) són éssers vius imperceptibles a simple vista per a un ésser humà, com ara els bacteris, els protozous o els fongs. Els virus, tot i que no es consideren organismes vius, també s'inclouen en el grup dels microorganismes⁶. A continuació es recull una breu descripció de les característiques dels microorganismes anomenats (Tortora, 2007).

¹ RAE – Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.8 en línea]. <https://dle.rae.es/criminalística>

² CFEC – Centro de Formación Estudio Criminal. (2021). Criminología | definición | Concepto | Significado | Historia y evolución. <https://www.estudiocriminal.eu/criminologia/>

³ IEC – Institut d'Estudis Catalans. <https://dlc.iec.cat/>

⁴ Ostos, R. (2024). *Qué es microbiología*. Centro Médico ABC. <https://centromedicoabc.com/revista-digital/que-es-microbiologia/>

⁵ Equipo editorial, Etecé. (2021). *Microbiología - Concepto, clasificación, ramas, importancia*. Concepto. <https://concepto.de/microbiologia/>

⁶ Instituto Nacional del Cáncer (INC). (s.d.). Diccionario de cáncer del NCI. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/microorganismo>

- **Bacteris:** Microorganismes procariotes més simples i abundants dels organismes. Tenen gran rellevància en la producció d'antibiòtics i esdevenen un factor important en la destrucció de plantes i animals morts. Per exemple: *Mycobacterium tuberculosis*, causant de la tuberculosi.

- **Virus:** Formats per àcid desoxiribonucleic (ADN) o àcid ribonucleic (ARN) i recoberts per una càpsida (en alguns casos per una cobertura lipoproteica). Tot i que poden existir tant dins com fora de les cèl·lules dels éssers vius, necessiten trobar-se a l'interior per a poder viure i reproduir-se, apoderant-se dels enzims i de la maquinària biosintètica dels seus hostes. Per exemple: Virus de la immunodeficiència humana (VIH), agent causal de la síndrome d'immunodeficiència adquirida (SIDA).

- **Protozous:** Organismes unicel·lulars, heteròtrofs, que no presenten una estructura interna diferenciada. Per exemple: *Trypanosoma brucei*, produeix la tripanosomiasi humana africana (també coneguda com a malaltia de la son).

- **Fongs:** Eucariotes, amb gran capacitat d'adaptació i desenvolupament en qualsevol medi o superfície. Presenten un paper descomponedor. Per exemple: *Candida auris*, tipus de llevat multiresistent causant d'infeccions.

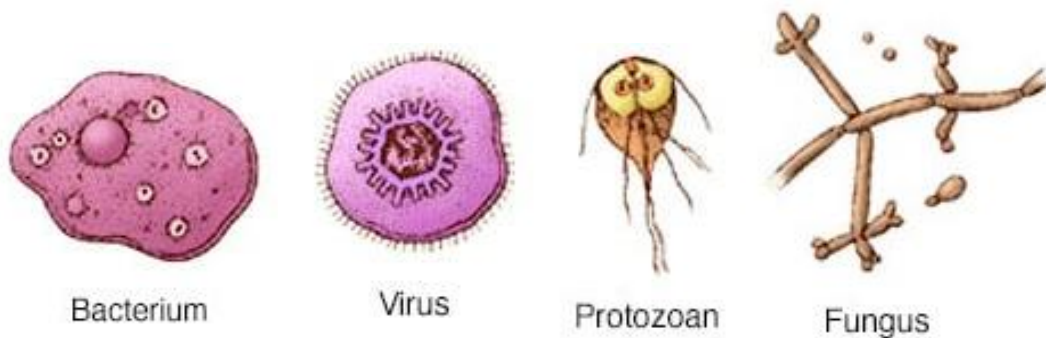


Figura 1. Tipus de microorganismes.

Font: Mayo foundation for medical education and research.

1.2. Microbiologia Forense

La microbiologia forense és una innovadora disciplina de les ciències forenses que proporciona noves metodologies amb l'objectiu de resoldre o intentar explicar, tant els successos de mort natural com de mort violenta, a través de la identificació de l'agent patògen responsable (Santos, 2012b). Alhora esdevé una peça clau en la protecció de la societat davant a possibles atacs biològics (bioterrorisme).

El seu origen ve propiciat per l'evolució del bioterrorisme, el qual podria definir-se com l'ús d'una malaltia com a arma, observant-se un gran augment de casos entre els anys 1999 i 2003 (Curiel, 2008). El naixement de la microbiologia forense és marcat sobretot per l'impacte en la societat que va tenir l'atac terrorista contra les torres bessones de l'11 de setembre del 2001 als Estats Units (conegut com a "11S") i el posterior enviament de cartes a diverses oficines de mitjans de comunicació que contenien espores d'àntrax (Franco-Paredes, 2005). En conseqüència, va donar-se la necessitat d'estudiar a través de la microbiologia forense tots els atacs que s'estaven produint per a poder entendre'ls, aturar-los i saber com actuar davant les seves conseqüències. No obstant això, de l'ús de microorganismes en situacions de guerra hi ha constància de casos des del 1400 – 1000 aC (Nasso, 2007).

En qualsevol cas, l'aplicabilitat de la microbiologia forense va més enllà del bioterrorisme o la medicina legal, també té rellevància en altres àmbits com ara en els controls sanitaris de productes alimentaris, per tal d'evitar brots i epidèmies provocats intencionalment, però també en aquells casos que s'hagi donat la intoxicació involuntàriament.

2. OBJECTIUS

Els objectius de la present revisió bibliogràfica són la recopilació d'informació sobre els principals usos de la microbiologia forense en l'àmbit de les ciències forenses, l'exposició de les limitacions associades i de les línies d'investigació actuals per a futures pràctiques. Amb tot plegat es busca apropar aquest vessant de la criminalística més desconeguda en l'entorn de les ciències forenses.

3. ESTUDI BIBLIOGRÀFIC

La bibliografia es va obtenir principalment a través dels portals acadèmics “Dialnet”, “ResearchGate”, “SciELO” i “Google Academy”, però també es van tenir en compte ponències d’experts en la matèria per completar la informació, realitzades en diverses universitats del territori sud-americà, que van ser enregistrades i penjades a la plataforma de vídeos “YouTube”^{7,8}.

Per la recerca d’articles d’interès es van emprar entre altres termes: “microbiologia forense” i “bioterrorisme”. Utilitzant com a cribratge l’elecció d’articles que fossin del present segle, però concretament aquells publicats aproximadament en els darrers quinze anys.

Finalment, la principal limitació metodològica ha estat que tot i que hi havia gran contingut relacionat amb el bioterrorisme, la bibliografia centrada en microbiologia forense era escassa.

4. MICROORGANISMES IMPLICATS EN ELS PROCESSOS DE DESCOMPOSICIÓ CADAVERICA

En l’ésser humà hi ha microorganismes no patògens que configuren la microbiota normal que hi conviuen de forma simbiòtica en el nostre cos. La microbiota s’adquireix en el moment del naixement i la seva composició varia segons si es tracta d’un part vaginal o una cesària (Moreno del Castillo, 2018). Per exemple, l’*Staphylococcus epidermidis* es localitza generalment a la pell i en condicions normals no causaria una malaltia, però en determinades condicions pot arribar a causar infeccions nosocomials relacionades amb l’ús de dispositius mèdics i ortopèdics^{9,10}.

⁷ Jesús Vázquez. (2022). S11 _ Microbiología forense [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=psxcXklX_vA

⁸ Posgrado U. Wiener. (2023). Actualización de métodos en Microbiología Forense [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=rIMjW9rqo2o>

⁹ Clínica Universidad de Navarra. (2023). ¿Qué es *Staphylococcus epidermidis*? Diccionario médico – Clínica U. Navarra. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/staphylococcus-epidermidis>

¹⁰ Lemos, M. (2023). *Staphylococcus epidermidis: qué es, síntomas y tratamiento*. Tua Saúde. <https://www.tuasaude.com/es/staphylococcus-epidermidis/>

Es declara que una persona ha mort quan cessen de manera sobtada i irreversible les seves funcions respiratòries, cardiocirculatòries i neurològiques. Tots els sistemes vitals no cessen de cop, sinó que és un procés en el qual els sistemes van cessant fins a la seva irreversibilitat, i és en aquest moment, quan els bacteris que es troben de forma natural en l'ésser humà canvien a un rol depredador, iniciant-se els fenòmens cadavèrics (Santos, 2012b).

4.1. Fenòmens cadavèrics

Els fenòmens cadavèrics són aquells canvis que pateix un cos mort d'ençà que s'extingeixen els processos bioquímics vitals. Aquests poden classificar-se en dos grups, primerencs o tardans, segons el moment en el qual apareixen.

- **Fenòmens cadavèrics primerencs:** Primers fenòmens cadavèrics, tenen lloc just després de la mort, començant per l'acidificació dels teixits i el refredament progressiu del cos (algor mortis), fins als 23 °C (temperatura ambient); aquesta informació és clau en la determinació de la data de la mort, tot i que caldrà tenir en compte les condicions ambientals en les quals hagi romàs el cos fins a la seva troballa. D'altra banda, també es dona la deposició de la sang en aquelles zones on el cos es troba recolzat en una superfície (livor mortis); podrà ser útil per determinar la posició en la qual ha estat el cadàver, i si abans del seu aixecament el cos ha estat desplaçat. Finalment, té lloc la rigidesa cadavèrica (rigor mortis), caracteritzada per la retracció dels músculs llisos i esquelètics (Ortigoza, 2020). Aquests fenòmens seran d'ajuda i aportaran informació rellevant en les primeres 24 hores després de la mort.

- **Fenòmens cadavèrics tardans:** Poden classificar-se en fenòmens destructors (autòlisi, antropofàgia, putrefacció) i fenòmens conservadors (momificació, saponificació, corificació).

- **Destructors:** Provoquen la destrucció del cadàver, en primer lloc, l'autòlisi és el conjunt de processos fermentatius anaeròbics que es donen generalment abans de la putrefacció, però de vegades se superposen. En segon lloc, l'antropofàgia, que és la destrucció parcial per l'acció dels animals, com ara les mosques, de les quals és de gran valor el seu estudi reproductiu pels entomòlegs (Ortigoza, 2020). Finalment, la putrefacció és la degradació dels

teixits per l'acció dels microorganismes. Els microorganismes aerobis són els primers a actuar, després ho fan els bacteris anaerobis facultatius presents en el tracte intestinal, i en últim lloc, els bacteris anaerobis estrictes (Santos, 2012b).

- **Conservadors:** La momificació es caracteritza per la deshidratació dels teixits, que generalment es dona en ambients secs i calorosos, però sent possible també en condicions extremes de fred per la inhibició del creixement bacterià o la sequedat de l'aire. El cadàver s'arruga disminuint el seu volum i la pell es torna marronosa. No hi ha un temps determinat d'inici del procés, però en les condicions òptimes podria observar-se en poques setmanes després de la mort. Pel que fa a la saponificació, es produeix per la hidròlisi i hidrogenació del teixit adipós que genera una substància gresosa, però que després es torna dura, inhibint l'acció bacteriana. Cal que es donin una sèrie de condicions ambientals perquè es produeixi la saponificació, tals com humitat o temperatura càlida, però s'observa més sovint en cadàvers submergits. El període necessari perquè tingui lloc és de tres setmanes fins als sis mesos. Finalment, en la corificació el cadàver adquireix una coloració grisa groguenca, permet major flexibilitat que en la momificació amb les articulacions mòbils. És un procés que pot donar-se a partir dels dos o tres mesos de la mort, però generalment no té lloc fins que no transcorre un any (Casas, 2006).

4.2. Fases de la descomposició

La descomposició cadavèrica és el conjunt de processos que es donen després de la mort. Segons Santos (2012b), des del punt de vista mèdic-legal i forense, les etapes de la descomposició cadavèrica poden dividir-se en:

- **Període cromàtic:** Primer signe de descomposició cadavèrica, comença amb una taca verda per la disgregació de l'hemoglobina entre les 24 – 40 hores post mortem. Es deu als bacteris coliformes i espècies del gènere *Clostridium*, els quals produeixen metahemoglobina, que és de color blavós, i l'acció del *Micrococcus prodigiosus* i el *Bacterium violaceum*, que presenten coloració violeta. En cas dels fetus, com que els bacteris penetren per les vies respiratòries, els hi apareix al coll i en la part superior del tòrax.

- **Període emfisematós:** S'acumulen una gran quantitat de gasos, com ara productes de la fermentació dels hidrats de carboni i la desaminació de les proteïnes. Dins les cavitats podem trobar bacteris anaerobis estrictes i anaerobis facultatius, també apareixen fongs filamentosos a la superfície del cadàver.

- **Període col·liquatiu:** Es formen butllofes per la putrefacció, ennegrint-se la pell. Predominen els anaerobis estrictes (*Clostridium* i *Fusobacterium*) i els anaerobis facultatius (*Escherichia coli*). Els òrgans es desintegren i les parts toves de la cara desapareixen. Aquesta fase pot durar entre vuit i deu mesos.

- **Període d'esqueletització:** Té lloc en les parts blandes del cadàver, les quals van desapareixent fins a la completa desintegració de la matèria orgànica restant només restes òssies. No hi ha activitat microbiana i la durada pot ser de fins a cinc anys, segons on es trobi el cadàver i les condicions ambientals.

4.3. Perfils d'identificació de microorganismes

Les tècniques moleculars són molt importants en la microbiologia forense, en primer lloc, perquè permeten la identificació de poblacions microbianes locals, que ens ajuden a saber si un cos ha estat traslladat. D'altra banda, per conèixer el punt d'origen de la mort, és a dir, si per exemple ha estat un suïcidi o un assassinat. Finalment, per arribar a conèixer al criminal a través de polimorfismes de microorganismes o virus presents (Santos, 2012b).

Les tècniques d'identificació en microbiologia forense poden ser:

- **Tècniques que no empren àcids nucleics:** Basades en perfils enzimàtics (isoenzims), perfils d'àcids grassos de la membrana plasmàtica bacteriana o fermentació de sucres, sent tècniques generalment lentes. D'altra banda, quan per exemple s'analitzen ossos amb la voluntat d'identificar microorganismes, es recorre a altres aparells o tècniques complementàries per a ajudar o agilitzar el procés, tals com l'ús del microscopi electrònic o la radiologia (Santos, 2012b).

- **Perfils enzimàtics:** La identificació dels enzims que produeix cada microorganisme i les variants de la seqüència (isoenzims) permet diferenciar entre soques. Per exemple a través de l'índex analític del perfil (API)¹¹, donat que en cada pou dels que presenta s'hi troba un medi de cultiu diferent (vegeu *figura 2*).
- **Perfils d'àcids grassos:** Cada espècie de microorganisme presenta un perfil específic d'àcids grassos, que a través de l'anàlisi de la membrana plasmàtica permet saber la seva identitat. Per separar i quantificar els àcids grassos s'empra la cromatografia de gasos^{12, 13}.
- **Proves bioquímiques d'assimilació i fermentació de sucres:** Es basen en l'avaluació de la capacitat que té el microorganisme per a assimilar o fermentar sucres, a través de l'observació de canvis de color en medis de cultiu específics¹⁴.
- **Morfologia i característiques microscòpiques:** També es pot optar per la identificació de microorganismes a través de l'observació en el microscopi, analitzant la forma, la mida o la seva agrupació (Cercenado, 2010).
- **Proves metabòliques generals:** Anàlisi de la producció de catalasa o oxidasa, entre d'altres. Per exemple la prova de la presència de catalasa (vegeu *figura 3*) s'utilitza per a diferenciar el gènere *Streptococcus*, on s'obtidria una catalasa negativa, del gènere *Staphylococcus*, que s'observaria una catalasa positiva (Santos, 2012b).

¹¹ Apiweb ® [CD_ROM] BioMérieux. (2010). *Sistemas miniaturizados API* ®. http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/10_SistemasAPI.pdf

¹² Soil Microbiology | Fatty Acid Analysis | PLFA Analysis | MIDI, Inc. (2025). <https://www.midi-inc.com/>

¹³ Galiza Analítica S.L. (2024). *Identificación microbiana - Galiza Analítica - Laboratorio y acuicultura*. Galiza Analítica - Laboratorio y Acuicultura. <https://www.galiza-analitica.com/tecnologia/microbiologia/identificacion-microbiana/>

¹⁴ CÓMPUTO FMVZ UNAM. (2024). *Prueba de Asimilación y Fermentación por Carbohidratos* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=hhiBqncRYOA>



Figura 2. Exemple d'índex analític del perfil.

Font: *BioMérieux industry.*

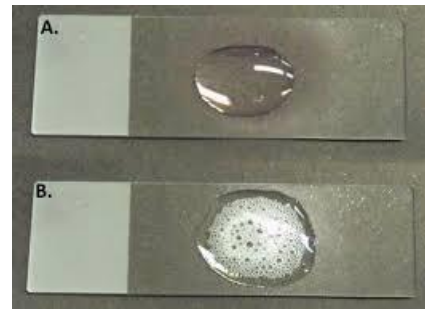


Figura 3. Presencia de catalasa (A. Catalasa negativa, B. Catalasa positiva).

Font: *Repositori institucional Universidad Autónoma de San Luís Potosí (UASLP)*

- **Tècniques que utilitzen àcids nucleics:** Centrades en la identificació de seqüències específiques presents en el genoma dels microorganismes. En la realització d'aquestes tècniques es necessita: l'aïllament del material genètic del microorganisme, la hibridació amb una seqüència coneguda (microorganismes que s'esperen trobar), l'amplificació de la seqüència mitjançant la reacció en cadena de la polimerasa (PCR) i la identificació de la banda desitjada, el que permet determinar el microorganisme.

Existeix un gran ventall de tècniques a utilitzar:

- Seqüenciació de l'ADN (rDNA seq)
- Amplified Ribosomal Restriction Analysis (ARDRA)¹⁵
- Microsatellite Primed PCR (Micro. Pr.)
- ADN transferència – Reacció en cadena de la polimerasa (tDNA – PCR)
- Random Amplified Polymorphic DNA (RAPDs)¹⁶
- Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)¹⁷
- Single Strand Conformation Polymorphism (SSCP)¹⁸

¹⁵ Microbial Concepts (Microbiology channel). (2020). *ARDRA, RFLP and TRFLP #partialcommunityanalysis* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=AJW6fMOcrY0>

¹⁶ Quick Biochemistry Basics. (2020). *RAPD | Random Amplification of Polymorphic DNA* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=i5_ecgyY3dY

¹⁷ The Science info. (2023). *AFLP | Amplified Fragment Length Polymorphism (with animation)* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=kuRuY25z9TY>

¹⁸ Quick Biochemistry Basics. (2023). *Single stranded conformation polymorphism | SSCP* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Xf4wq9XPAR4>

Segons l'especificitat desitjada en la identificació del microorganisme, s'emprarà una tècnica o altra (vegeu *figura 4*).

	Ordre	Família	Gènere	Espècie	Subespècie	Variants	Soca
rDNA seq							
ARDRA							
Micro. Pr.							
tDNA – PCR							
RAPDs							
AFLP							
SSCP							

Figura 4. Especificitat de les tècniques moleculars en la identificació de microorganismes.

Font: Elaboració pròpia partint de la informació de Santos & altres (2012).

Alguns dels microorganismes que s'utilitzen com a bioindicadors forenses (vegeu *figura 5*), per determinar la localització geogràfica o si es tracta d'una ingesta de drogues són les testamebes, les diatomees i els fongs filamentosos (Carter, 2003). En el cas dels fongs filamentosos, la seva velocitat de creixement variarà segons les característiques ambientals (Santos, 2012b), d'altra banda, les diatomees són molt sensibles al pH, la temperatura o la salinitat, el que les fa ser de gran ajuda en casos d'ofegament (Stoermer, 2001).


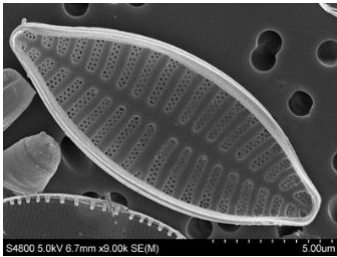

Testamebes	Diatomees	Fongs filamentosos
		
<u>Evidència forense:</u>	<u>Evidència forense:</u>	<u>Evidència forense:</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Localització geogràfica • Hàbitat 	<ul style="list-style-type: none"> • Localització geogràfica • Hàbitat • Època de l'any • Causa de la mort 	<ul style="list-style-type: none"> • Localització geogràfica • Hàbitat • Època de l'any • Enverinament • Ingesta de drogues

Figura 5. Microorganismes que s'utilitzen com a bioindicadors forenses i les seves aplicacions.

Font: Elaboració pròpia partint de la informació de Santos & altres (2012).

5. APLICACIONES DE LA MICROBIOLOGIA FORENSE

Els principals usos de la microbiologia forense en la investigació forense són en la paleomicrobiologia forense, en el bioterrorisme i en l'assoliment de la seguretat alimentària (Santos, 2012b). Tot i que també pot ser important en la medicina legal, en la investigació de problemes infecciosos després d'un procediment d'avortament provocat; en el dret mèdic, en relació amb la responsabilitat professional dels metges, per exemple que per una mala praxi es doni contagi per VIH; estudiant els agents causals dels brots i les epidèmies, i finalment, en la creació d'un banc de dades microbiològiques i la identificació del seu origen¹⁹.

5.1. Paleomicrobiologia Forense

La microbiologia forense permet determinar la petjada dels microorganismes en restes cadavèriques molt antigues i així poder determinar si la causa de la defunció va ser per etiologia infecciosa o no (Santos, 2012a). Dins d'aquesta trobem la paleomicrobiologia forense, la qual estudia el diagnòstic retrospectiu de malalties infeccioses i parasitàries en lesions òssies o en teixits momificats, combinant la biologia molecular amb la microscòpia electrònica i la radiologia (Santos, 2012b). Gràcies a les tècniques moleculars, s'ha pogut establir una correlació entre les lesions observades i les malalties que produeixen. En concret, el genotip de les soques aïllades pot esdevenir el pont entre la detecció dels microorganismes de l'antiguitat i les espècies aïllades de mostres actuals.

Es tracta d'una ciència amb interès històric, però també mèdic, donat que el coneixement dels microorganismes patògens que es van desenvolupar en l'antiguitat pot permetre'ns entendre l'evolució de les malalties actuals, l'evolució i virulència dels microorganismes i la prevalença d'algunes malalties a través de la història (Santos, 2012b). En relació amb això, cal destacar que les tècniques d'identificació i amplificació d'àcids nucleics són cada vegada més precises, obtenint així un major coneixement sobre les malalties de l'antiguitat i la seva repercussió en la població actual.

¹⁹ Celenymicrobiologiaf. (2017). *Microbiología forense*. WordPress. <https://microbiologiaf.wordpress.com/2017/04/03/microbiologia-forense/>

No obstant això, aquestes tècniques en mostres antigues presenten algunes limitacions, en primer lloc, en relació amb la metodologia que cal seguir, la qual no pot ser la mateixa que amb les mostres actuals, el motiu és que el material genètic s'aïlla en condicions totalment diferents. D'aquesta circumstància neix el concepte "ADN antic", el qual podria definir-se com l'ADN extret de restes cadavèriques amb més de cinquanta anys d'antiguitat. Si el comparem amb l'ADN actual, presenta menor quantitat de mostra, conseqüència de la degradació per haver estat enterrades o momificades, o per l'existència de contaminació creuada. Que les restes estiguessin enterrades o momificades provoca que continguin molècules inhibidores del procés d'amplificació genètica, a través del qual augmenta el nombre de còpies d'un fragment concret d'ADN. Pel que fa a la contaminació creuada, és conseqüència de la barreja entre ADN antic amb l'actual, dificultant la seva anàlisi (Santos, 2012b).

En segon lloc, en ossos, dents o teixits, l'ADN acostuma a ser de baix pes molecular i presentar degradació (Haarkötter Cardoso, 2024). Finalment, les circumstàncies ambientals en les quals es trobin les restes cadavèriques, tals com la humitat o la temperatura, influiran en la seva conservació (Ortigoza, 2020).

5.2. Bioterrorisme

El bioterrorisme és l'alliberació intencional de microorganismes contra la població amb el propòsit d'ocasionar malalties i morts (Pereira, 2007). La microbiologia forense pot ser utilitzada en la identificació i la prevenció d'aquests atacs biològics (Nasso, 2007).

Fa segles que s'utilitzen els patògens com a atac en situacions de guerra, per exemple durant la Primera i Segona Guerra Mundial. Es té constància que l'exèrcit alemany, durant la Primera Guerra Mundial, va infectar als animals de càrrega de l'exèrcit dels Estats Units amb bacteris causants del borm (*Burkholderia mallei*) o el carboncle (*Bacillus anthracis*). D'altra banda, en el transcurs de la Segona Guerra Mundial, l'exèrcit japonès va emprar bombes de porcellana per a alliberar puces transmissores de la pesta i bombes d'acer per a l'alliberament d'espores de *Bacillus anthracis* (Benítez, 2018).

El Protocol de Ginebra (1925) va iniciar la regulació de les armes biològiques, prohibint la seva utilització; “Protocol sobre la prohibició de l’ús en la guerra, de gasos asfixiants, tòxics o similars i de mitjans bacteriològics”²⁰. Però no s’hi prohibia expressament la investigació sobre agents biològics potencialment patògens ni la seva aplicació o les seves toxines amb finalitats pacífiques. És per això que el 1975 va entrar en vigor la Convenció sobre Armes Biològiques i Tòxiques (CABT), amb la voluntat de complementar el Protocol de Ginebra, prohibint el desenvolupament, la producció i l’emmagatzematge d’armes bacteriològiques (biològiques) i tòxiques, i sobre la seva destrucció²¹. Actualment formen part de la CABT 189 països.

En el supòsit de donar-se un cas d’amenaça biològica, hi ha establert un circuit de comunicació a seguir (Delgado-Iribarren, 2020). En primer lloc, les forces i cossos de seguretat de l’estat són els encarregats de l’enviament de les mostres als laboratoris de referència (RE-LAB), tals com el Centre Nacional de Microbiologia (CNM) o el Laboratori d’Identificació Ràpida (LABIR) de la unitat militar d’emergència. Els quals recepcionaran i registraran la mostra, faran el processament urgent d’aquesta, aplicant els protocols establerts i validats, i finalment identificaran l’agent implicat. Posteriorment, hauran d’informar els cossos policials, al servei d’emergències (112), les delegacions del Govern, les xarxes de vigilància sanitària, i a les unitats de coordinació d’alertes biològiques.

D’altra banda, la Unitat de Gestió de RE-LAB, a partir de les indicacions del Departament de Seguretat Nacional (DSN), del Centre de Coordinació d’Alertes i Emergències Sanitàries (CCAES), la Direcció General de Salut Pública, Qualitat i Innovació (DGSPCI) i el Centre de Control d’Alertes (CC Alertes); efectuaran el registre dels punts focals en tot moment.

²⁰ Protocolo relativo a la prohibición del empleo en la guerra de gases asfixiantes, tóxicos o similares y de medios bacteriológicos, hecho en Ginebra el 17 de junio de 1925, Butlletí Oficial de l’Estat núm. 91 (1993).

²¹ *Armas biológicas* – UNODA. (s.d.). <https://disarmament.unoda.org/es/adm/armas-biologicas/>

5.2.1. Classificació dels principals agents implicats en el bioterrorisme

El Centre de Control i Prevenció de Malalties (CDC) dels Estats Units és un organisme capdavanter en la lluita contra les epidèmies i en salut pública. El qual defineix el risc biològic com “la capacitat que té un agent biològic de produir dany sobre els éssers vius”. Quan es fa referència als agents biològics, cal fer èmfasi en el risc que suposen, el qual s’organitza en tres categories, trobant-se en la categoria “A” els microorganismes de major risc i en la categoria “C”, els que presenten menor risc (Delgado-Iribarren, 2020). En la *Taula 1* s’agrupen alguns exemples de microorganismes emprats en el bioterrorisme segons el seu risc.

- **Categoria A:** Pel gran risc que suposen, es consideren patògens d’alta prioritat. Poden ser fàcilment transmissibles entre persones, elevat índex de mortalitat i un fort impacte en la salut pública i l’estabilitat social. Requereixen resposta i preparació especials per part de les autoritats sanitàries.
- **Categoria B:** Microorganismes de segona prioritat, relativament fàcils de disseminar, amb taxes moderades de morbiditat i baixa mortalitat.
- **Categoria C:** Són els agents de tercera prioritat, patògens emergents de fàcil accessibilitat, previsions d’alta morbiditat i mortalitat i/o el seu potencial per causar un impacte en la salut pública és considerable.

Taula 1. Classificació de la CDC segons el risc d’alguns agents biològics (2018)

Categoria A	Categoria B	Categoria C
<i>Bacillus anthracis</i>	<i>Brucella species</i>	<i>Virus Nipah</i>
<i>Yersinia pestis</i>	<i>Burkholderia mallei</i>	<i>Hantavirus</i>
<i>Francisella tularensis</i>	<i>Chlamydia psittaci</i>	<i>Mycobacterium</i>
<i>Clostridium botulinum</i>	<i>Salmonella spp.</i>	<i>tuberculosis multiresistent</i>

Font: Elaboració pròpia a partir de la informació de Delgado-Iribarren & altres (2020).

5.2.2. Diagnòstic diferencial de microorganismes en bioterrorisme

Per a la determinació de cada microorganisme, caldrà aplicar metodologies diferents partint de la recollida d’unes mostres post mortem concretes. A continuació, es mostra el diagnòstic diferencial de tres dels agents biològics que més comunament s’empren en el bioterrorisme (vegeu *Taula 2*).

Taula 2. Diagnòstic diferencial de microorganismes en bioterrorisme

Agent	<i>Bacillus anthracis</i>	<i>Clostridium botulinum</i>	<i>Yersinia pestis</i>
Malaltia que ocasionen	Àntrax	Botulisme	Pesta
Mostres post mortem a recollir	<i>Àntrax respiratori:</i> Sèrum i sang total, mostra respiratòria, LCR ²² . <i>Àntrax cutani:</i> Cultiu de la lesió cutània.	Recollida de mostres gastrointestinals. Els estudis serològics no són útils en aquest cas.	Sèrum i sang total, aspirat de bubons, LCR, hisop faringe, pulmó, femta i orina.
Tècnica principal	Cultiu	Aïllament de <i>C. botulinum</i> en una mostra	Cultiu
Detecció de l'antigen	Sí	Sí	Sí
IgG ²³	Sí	No	Sí
IgM ²⁴	Sí	No	Sí
PCR ²⁵	Sí	Sí	Sí

Font: Elaboració pròpia a partir de la informació de Delgado-Iribarren & altres (2020).

5.3. Seguretat alimentària

Els aliments, de forma intencional o accidental, poden transformar-se en el vehicle d'agents nocius, per exemple a través d'una manipulació inadequada, fent que aquests patògens quedin impregnats en els aliments i puguin alterar la salut de les persones.

El terme seguretat alimentària fa referència a "les condicions i pràctiques que preserven la qualitat dels aliments, amb la finalitat de prevenir la contaminació i les malalties d'origen alimentari"²⁶. La microbiologia, en l'àmbit de la seguretat alimentària, estudia els microorganismes que habiten, produeixen o contaminen

²² LCR: Líquid cefalorraquidi.

²³ IgG: Immunoglobulina G.

²⁴ IgM: Immunoglobulina M.

²⁵ PCR: Reacció en cadena de la polimerasa (Polymerase Chain Reaction).

²⁶ MedlinePlus enciclopedia mèdica. (2024). *Seguridad alimentaria*. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002434.htm>

els aliments²⁷. És una disciplina clau per a prevenir els riscos microbiològics, sent la detecció precoç essencial per a assegurar la qualitat i la innocuïtat dels aliments, i protegir la salut dels consumidors amb aliments aptes pel seu consum.

L'Agència Espanyola de Seguretat Alimentària i Nutrició (AESAN) és un dels organismes que s'encarrega de garantir la seguretat alimentària i la promoció de la salut entre la ciutadania espanyola. Els objectius de la seguretat alimentària passarien perquè els aliments no presentessin tòxics, i en cas que així fos, estudiar-los per a prevenir-ho, evitar els perills que comporta un aliment intoxicat i els fraus que en poden derivar. Aquí entraria en joc la microbiologia forense, en els casos d'intoxicacions alimentàries resultat d'un delicte contra la salut pública.

Una de les tècniques utilitzades en la investigació forense en cas de sospita per contaminació biològica, és la realització d'un cultiu bacterià a partir d'un medi selectiu en el qual es cultiven les mostres, que s'escull segons el patogen a estudiar. Per exemple l'agar Salmonel·la-Shigel·la o agar SS, per l'aïllament de *Salmonella* spp. i algunes espècies de *Shigella* spp. El bacteri de la salmonel·la pot provocar salmonel·losis, intoxicació molt comuna que pot donar-se si es consumeix carn crua, aviram o productes derivats de l'ou.

De fet, el març del 2025, l'AESAN va aplicar una alerta sanitària relacionada amb la presència de salmonel·la en diversos lots de rosta, retirant del mercat fins a vuit marques diferents que les distribueixen. Alerta que va anar acompanyada de recomanacions pels consumidors, tals com verificar immediatament la presència d'aquests productes a la llar, revisar les marques i números de lots afectats, no consumir-los, i finalment, en cas d'haver-los consumit, estar atents a la possible simptomatologia²⁸.

²⁷ Infinitia industrial consulting. (2021). *La importancia de la microbiología alimentaria en los procesos de calidad*. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/microbiologia-alimentaria-en-los-procesos-de-calidad/>

²⁸ AESAN. (2025). Ampliación de información sobre la alerta por presencia de salmonella en torreznos procedentes de España. (Ref. ES2025/156). https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/alertas_alimentarias/2025_14_Amp.htm

6. LIMITACIONS ASSOCIADES

Una de les problemàtiques associades és que no sempre es té en compte la microbiologia forense en les investigacions realitzades per a determinar el motiu de defunció. Si ens traslladem el 2008, en molts casos de mort violenta no s'inclouïa en l'autòpsia l'estudi microbiològic, o en cas d'incloure'l, era escàs o deficient (Curiel, 2008).

Un dels exemples més escarificadors és en el diagnòstic de la Síndrome de la Mort Sobtada del Lactant (SMSL), es tracta de “la mort sobtada i inexplicable d'un nadó que no arriba a l'any, mentre dorm”²⁹. Quan es determina que un infant ha mort per aquesta causa, hauria de ser un diagnòstic d'exclusió, però com no sempre s'efectuen tots els estudis necessaris, tant histològicament com microbiològicament, pot comportar no diagnosticar quadres infecciosos i que aquests poguessin ser la seva veritable causa de defunció del nadó.

D'altra banda, hi ha determinats indicis trobats a partir de la microbiologia forense que per si sols costa que siguin acceptats com a proves, requerint-se que vagin acompanyats d'altres que tinguin més pes en l'àmbit judicial.

Per exemple en el cas d'una denúncia per agressió sexual on el supòsit agressor i víctima presenten la mateixa infecció de transmissió sexual (ITS), però que aquesta connexió no s'accepta com un fet provat que pogués relacionar les dues persones, sinó que per exemple a més cal aportar un indicati que sustenti que se situaven en el mateix espai i moment.

7. EL FUTUR DE LA MICROBIOLOGIA FORENSE

Com s'ha anat comentant al llarg de la present revisió bibliogràfica, la microbiologia forense és encara una ciència bastant innovadora, el que fa que encara quedin molts aspectes a investigar i continuar treballant per a millorar.

²⁹ Gencat – Canal Salut. (2025). Síndrome de la mort sobtada del lactant. <https://canalsalut.gencat.cat/ca/detalls/article/sindrome-mort-sobtada-lactant#diagnostic>

Algunes de les investigacions que darrerament s'han portat a terme són respecte a la datació cadavèrica a partir del necrobioma i la identificació d'agressors sexuals a través dels bacteris.

7.1. Datació cadavèrica a partir del necrobioma

El microbioma és la manera en la qual els microorganismes d'un entorn concret, interaccionen entre si, en les condicions ambientals existents (Ariza-Andraca, 2016). D'altra banda, el necrobioma, és el conjunt d'espècies que participen activament en el procés de descomposició cadavèrica (Aragonés, 2022).

L'interval post mortem (IPM) és el temps transcorregut des de la mort d'una persona fins al moment en el qual se li realitza l'autòpsia (Haas, 2021). Darrerament, han sortit a la llum noves tècniques que permetrien, a través del necrobioma, estimar l'IPM en el futur. No obstant això, encara cal determinar si aporta prou precisió en casos reals d'estimació del IPM, o si hauria d'aplicar-se juntament amb altres mètodes ja existents per augmentar la seva fiabilitat (Aragonés, 2022).

Altrament, s'ha vist que el microbioma oral podria aportar informació sobre l'estimació de l'IPM, a més de tenir rellevància en la identificació personal, de l'ètnia i la predicció de l'edat d'una persona (Inostroza, 2023).

7.2. Identificació d'agressors sexuals a través de bacteris

Quan es dona una agressió sexual, la recollida de mostres d'interès microbiològic és tinguda en compte, tal com consta en el protocol d'actuació mèdic-forense en cas de violència sexual del 2021³⁰. Però la finalitat d'aquesta és més aviat saber si en el moment de l'agressió la víctima ha pogut contraure una infecció de transmissió sexual (ITS), i no utilitzar aquesta informació en el context d'una investigació forense.

³⁰ Consejo Médico Forense. (2021). *Protocolo de actuación médico-forense ante la violencia sexual en los Institutos de Medicina Legal y Ciencias Forenses*. Ministerio de Justicia. Madrid, 2021. <https://www.mjusticia.gob.es/es/AreaTematica/DocumentacionPublicaciones/InstListDownload/ProtocoloViolenciaSexual.pdf>

En canvi, en la guia de recomanacions d'actuació dels Instituts de Medicina Legal i Ciències Forenses, publicada el 2024, trobem una menció a l'ús de les mostres com proves judicials; "cualquier muestra tomada a partir de la víctima, incluso aquellas destinadas a la investigación de infecciones de transmisión sexual, podrá ser utilizada posteriormente en la investigación criminal o los análisis derivados de las mismas podrán ser considerados como pruebas judiciales"³¹.

Aquest nou ús, explorant els microbiomes presents en la vagina o en el penis amb un context forense, partint de la coincidència presentant la mateixa ITS tant la víctima com l'agressor, podria fer-se l'associació de què ha tingut lloc la penetració o alguna mena de contacte sexual entre ells dos. No obstant això, no es podria utilitzar com a indici únic, sinó que hauria d'anar acompanyat d'altres fets que poguessin fer-lo esdevenir una prova de pes, per a poder demostrar que s'ha donat una agressió sexual.

En relació amb això, hi ha recents estudis que recolzarien la transferència del microbioma durant el sexe, en concret un realitzat a Austràlia el 2025 (vegeu *figura 7*), amb una població de 12 parelles heterosexuales (formades per un home i una dona). En totes les parelles es va observar la transferència d'Amplicon sequence variants (ASVs), que eren únics en un dels individus, en la seva parella sexual després del coit. També que el *Lactobacillus spp.* és el bacteri que més es transfereix de la dona cap a l'home. D'altra banda, que encara que es faci ús del preservatiu, la transmissió del microbioma continua tenint lloc, i finalment, el fet d'haver-se sotmès a una circumcisió o tenir pèl púbic, no té cap efecte en la diversitat microbiana (Dixon, 2025).

³¹ Consejo Médico Forense. (2024). *Guía de recomendaciones de actuación de los Institutos de Medicina Legal y Ciencias Forenses con las muestras biológicas y evidencias que se recojan y remitan por los centros sanitarios en el contexto de la Ley Orgánica 10/2022, de 6 de septiembre, de Garantía Integral de la Libertad Sexual*. Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes, Secretaria General Técnica. Madrid, 2024. <https://violenciagenero.igualdad.gob.es/wp-content/uploads/Guia-de-recomendaciones-IML.pdf>

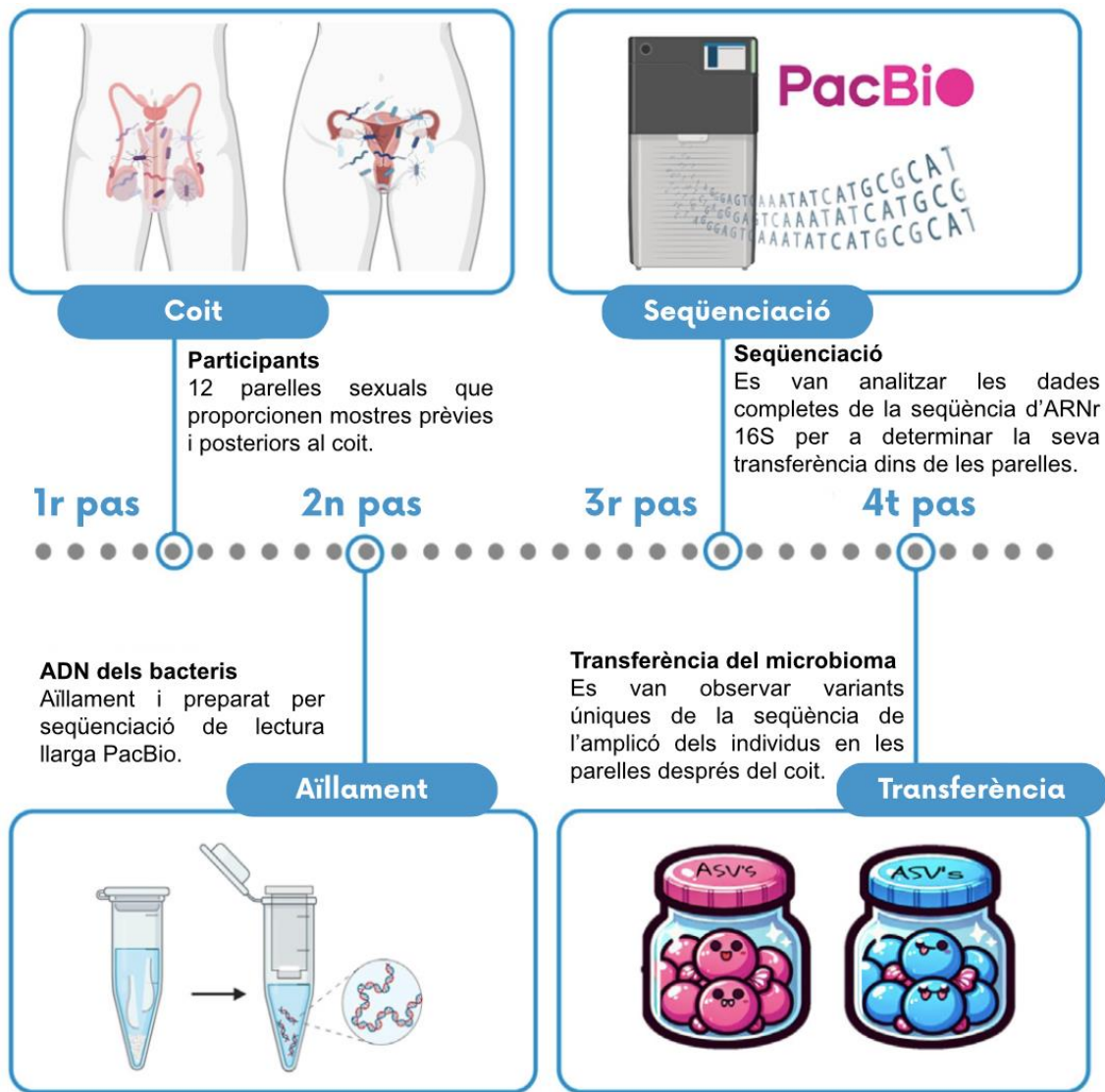


Figura 7. Resum gràfic de l'estudi "Bacterial transfer during sexual intercourse as a tool for forensic detection".

Font: Dixon & altres (2025).

8. CONCLUSIONS

La microbiologia forense és una disciplina emergent en les ciències forenses amb gran potencial d'aplicabilitat, però també de complementació amb altres tècniques i disciplines més esteses i emprades en l'àmbit forense, que pot esdevenir una eina fonamental en la resolució de casos complexos.

Malgrat això, es tracta d'una ciència que no sempre es té present, la qual cosa implica que en diversitat d'investigacions els resultats i/o conclusions exposats no siguin del tot correctes o complets, ja que no s'haurien fet totes les possibles

anàlisis o procediments, els quals poden considerar-se com a bàsics o generals en determinades investigacions forenses, com podria ser en la determinació de la causa de la mort d'una persona.

Així doncs, hi ha la necessitat de continuar invertint temps i recursos en recerca i en la formació dels professionals, per tal d'aportar al món noves eines, a més de garantir l'aplicació rigorosa i eficaç de les tècniques microbiològiques en criminalística.

Finalment, el necrobioma sembla que pot ser un dels elements diferencials en la microbiologia forense, donat el gran ventall d'informació que es pot aconseguir a través del seu estudi; des de conèixer l'ètnia d'una persona fins a determinar la seva edat. Així doncs, com a suggeriment de futura línia d'estudi dins del camp de la microbiologia forense, per tal d'aportar noves troballes i recolzar o desestimar els estudis existents, realitzar un estudi sobre la diversitat d'usos que podria tenir el necrobioma.

BIBLIOGRAFIA

Aragónés, A. M. & Tapia-Paniagua, S. T. (2022). Revisión sobre las nuevas perspectivas de datación cadavérica desde el necrobioma. *Revista Española de Medicina Legal*, 48(1), 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.reml.2021.05.001>

Ariza-Andraca, R. & García-Ronquillo, M. (2016). El microbioma humano. Su papel en la salud y en algunas enfermedades. *Cirugía y Cirujanos*, 84(Supl1), 31-35. <https://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-cirujanos-139-articulo-el-microbioma-humano-su-papel-X0009741116539900>

Benítez, M. O., et al. (2018). La guerra biológica: un desafío para la humanidad. *Revista Archivo Médico Camagüey*, 22(5), 803-828. ISSN 1025-0255. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552018000500803&lng=es&tlng=es

Carter, D. O. y Tibbett, M. (2003). Taphonomic mycota: fungi with forensic potential. *Journal of Forensic Sciences*, 48, 168-171.

Casas, J. d D., Santiago, A., Rodríguez, M. S. & Albarrán, M. E. (2006). Fenómenos de conservación cadavérica. Saponificación. *Revista de la Escuela de Medicina Legal*, 3, 27-36. <https://revistas.ucm.es/index.php/REML/article/download/50207/46659>

Cercenado, E. & Cantón, R. (2010). Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología. *Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica (SEIMC)*, 37. ISBN-978-84-614-7932-0. <https://www.seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia37.pdf>

Curiel, A. M., Domínguez-Gil, M., Eiros, J. M. & Ortiz de Lejarazu, R. (2008). Aportaciones de la microbiología a las ciencias forenses en la investigación criminal. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/28235585_Aportaciones_de_la_microbiologia_a_las_ciencias_forenses_en_la_investigacion_criminal

Delgado-Iribarren A., Fernández Rodríguez A., Jado García I. & Ybarra de Villavicencio C. (2020). El laboratorio de Microbiología en respuesta al bioterrorismo, 2020. *Procedimientos en Microbiología Clínica. Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica (SEIMC)*, 67. <https://seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia67.pdf>

Dixon, R., Egan, S., Payne, M., Mullally, C. & Chapman, B. (2025). Bacterial transfer during sexual intercourse as a tool for forensic detection. *iScience* 28, 111861. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.111861>

Franco-Paredes, C., Rodríguez-Morales, A. & Santos-Preciado, J. I. (2005). Agentes del bioterrorismo: preparándose para lo impensable. *Revista de Investigación Clínica*, 57(5), 695-705. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-83762005000500007

Haas, C., Neubauer, J., Salzmann, A. P., Hanson, E. & Ballantyne, J. (2021). Forensic transcriptome analysis using massively parallel sequencing. *Forensic Science International: Genetics*, 52. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.102486>

Inostroza, C. (2023). El poder oculto del microbioma en ciències forenses. *Universidad de los Andes, XIII Jornadas de la Sociedad Latinoamericana de Genética Forense*. <https://investigadores.uandes.cl/es/activities/the-hidden-power-of-the-microbiome-in-forensic-science>

Moreno del Castillo, M. C., Valladones-García, J. & Halabe-Cherem, J. (2018). Microbioma humano. *Revista Facultad Medicina (México)*, 61(6), 7-19. ISSN 2448-4865. <http://dx.doi.org/10.22201.fm.24484865e.2018.61.6.02>

Nasso, M. & Romolo, F. S. (2007). La Microbiología forense ed il pericolo del bioterrorismo (1ª parte). *Emergency care journal*, 3(1). https://aisberg.unibg.it/retrieve/e40f7b88-c232-afca-e053-6605fe0aeaf2/2007_MicrobiologiaForenseECJ1.pdf

Ortigoza, J. C. (2020). Microorganismos, Bioquímica y Olores en la Descomposición Cadavérica. *Revista Skopein – Criminalística y ciencias forenses*, 8(21), 20-25, 2020. ISSN 2346 – 9307.

Pereira Hernández, C. (2007). Bioterrorismo. *Dialnet - Boletín de Información*, 298, 49-72. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4199350>

Santos, A., Alonso, A., Gamella, L., Belda, I. & Marquina, D. (2012a). Manual práctico de Microbiología Forense. *Reduca (Biología)*, 5(5), 1-22. ISSN: 1989-3620. https://www.researchgate.net/publication/275406583_Manual_practico_de_Microbiologia_Forense

Santos, A., Belda, I., Gamella, L., Alonso, A. & Marquina, D. (2012b). Microbiología forense. *Reduca (Biología)*, 5 (5), 23-45. ISSN: 1989-3620. https://www.researchgate.net/publication/275406642_Microbiologia_forense

Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (2001). The Diatoms: Applications for the Earth and Environmental Sciences (Second edition). *Cambridge University Press*.

Tortora, G. J., Funke, B. R. & Case, C. L. (2007). Introducción a la Microbiología (9ª edición). Editorial Médica Panamericana. ISBN: 978-950-06-0740-7. <https://books.google.es/books?hl=ca&lr=&id=Nxb3iETuwplC&oi=fnd&pg=PA1&dq=introducción+bacterias&ots=zc0ssJbXiF&sig=f8Ssa9t6VSW247x2psDdegM45kc#v=onepage&q&f=true>