

La biometria per a la identificació de les persones

Francesc Serratosa

PID_00195430



Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no en feu un ús comercial i no en feu obra derivada. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

Índex

Introducció	5
Objectius	6
1. Els inicis de la biometria	7
2. Reconeixement biomètric	14
3. Els sistemes biomètrics	17
4. Els trets biomètrics	22
4.1. Trets biomètrics del cap	23
4.2. Trets biomètrics de la mà i els dits	25
4.3. Trets biomètrics de tot el cos	26
4.4. Trets biomètrics de comportament	27
4.5. Conclusions	29
5. Aplicacions dels sistemes biomètrics	31
5.1. Context de les aplicacions	31
5.2. Categories de les aplicacions	32
6. Història de la biometria	35
7. Biometria, cinema i art	38
7.1. El cinema de la biometria	38
7.2. Biometria i art	41
8. Reflexions sobre una societat biomètrica	43
Resum	45
Activitats	47
Abreviatures	49
Bibliografia	50

Introducció

La **biometria** és una ciència que analitza les distàncies i posicions entre parts del nostre cos per poder identificar o classificar les persones.

Hi ha diversos trets biomètrics que avui en dia s'usen, com, per exemple, les ditades, la cara, l'iris, la mà, la retina o la signatura. La biometria, i més concretament les ditades, ja s'estudiaven a finals del segle XIX en aplicacions forenses, és a dir, intentant identificar criminals o la identitat de les persones. Avui en dia, no sols s'usa en aquestes aplicacions sinó en d'altres com el control als aeroports, accessos a centrals nuclears o instal·lacions militars o, fins i tot, simplement, a les oficines o a la piscina municipal. Aquest és el motiu pel qual la biometria està entrant en les nostres vides quotidianes i és necessari que els informàtics o enginyers en general en tinguin uns coneixements mínims.

Amb l'objectiu d'augmentar la fiabilitat dels sistemes biomètrics, en algunes aplicacions es fusionen diversos trets biomètrics.

Fusió de trets biomètrics

S'està treballant en la fusió del reconeixement de l'orella amb el reconeixement de la manera de caminar. Això es deu al fet que les dues tècniques es poden aplicar en situacions semblants. Càmeres de vídeo que graven lateralment persones que caminen i sense col·laboració per part de l'usuari.

Aquesta fusió de mètodes no sempre és trivial. S'ha publicat un llibre dedicat exclusivament a aquest tema.

L'objectiu final d'incorporar un sistema biomètric dins d'un altre sistema és augmentar la seguretat d'aquest segon sistema. Per aquest motiu, és important estudiar que el sistema biomètric en si no tingui esquerdes per les quals es pugui vulnerar la seguretat de tot el sistema en general.

Reflexió

Malgrat la seva importància, no comentarem els mètodes de fusió de sistemes biomètrics per falta de temps.

Objectius

Aquest mòdul és el primer de l'assignatura *Biometria*. Els objectius són explicar els fonaments bàsics de la biometria per a identificar les persones, i també introduir els conceptes i terminologia usada en els mòduls posteriors, perquè pugueu assolir els objectius següents:

1. Conèixer l'eficàcia i necessitat de la biometria en la societat actual.
2. Conèixer les característiques que ha de tenir un tret biomètric perquè es pugui usar en aplicacions concretes.
3. Classificar els trets biomètrics que serveixen per a identificar i verificar les persones.
4. Conèixer les etapes o els processos interns dels tres sistemes bàsics biomètrics: identificació, verificació i matriculació.
5. Classificar els errors que poden aparèixer en un sistema biomètric i detectar les condicions en què apareixen aquests errors.
6. Avaluar una aplicació biomètrica per saber-ne la bondat. Conèixer les mètriques per avaluar i comparar la bondat dels sistemes biomètrics.
7. Classificar les diferents aplicacions en què es poden aplicar tècniques biomètriques per assegurar-ne o ampliar-ne la seguretat.
8. Conèixer la història breu de la biometria per identificar o verificar les persones.
9. Comentar com el món del cinema i de l'art s'ha fet ressò de la biometria.
10. Raonar sobre la possible vulneració de la identitat de les persones i comentar problemes d'ètica.

1. Els inicis de la biometria

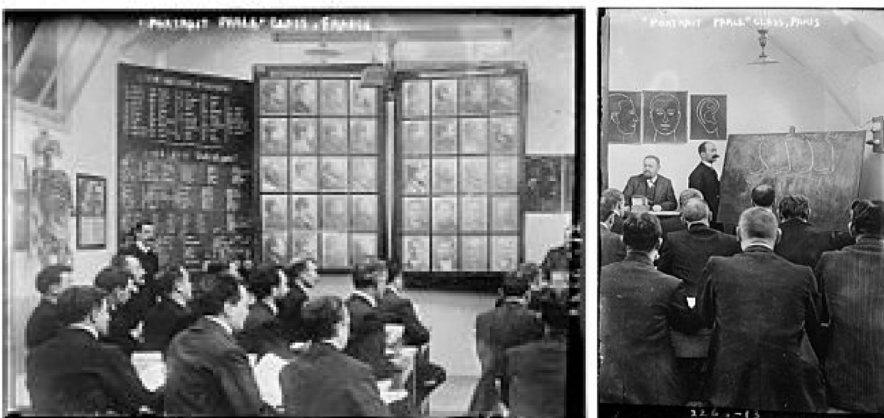
El 1882, el policia francès **Alphonse Bertillon** (1853-1914) va presentar el primer sistema d'identificació de les persones basat en les característiques físiques, és a dir, en els trets biomètrics, el va anomenar *antropometria*. Es considera el primer sistema científic usat per la policia per a identificar criminals. Inicialment, es va dedicar a classificar la forma del nas, de la cara o del cos de les persones. La figura 1 mostra una il·lustració publicada en *Pearson's Magazine* que mostra diferents classes de nassos definits en l'antropometria.

Figura 1. Il·lustració publicada en *Pearson's Magazine* (vol. XI, gener de 1901)



Inicialment, el cos de policia no va voler donar suport a la seva recerca, però més endavant es van adonar de la seva enorme eficàcia, ja que el 1884 es van identificar 241 infractors reincidents. A més de la seva feina com a inspector de policia, també va impartir moltes classes explicant els seus mètodes. La figura 2 mostra dues fotografies d'aquests cursos.

Figura 2. Fotografies de classes de Bertillon (1911)



Bertillon va dissenyar un sistema per a identificar les persones que es basava a guardar la informació d'onze mesures del cap i del cos:

- 1) Alçada
- 2) Amplària del braços estirats
- 3) Alçada assegut

- 4) Llargària del cap
- 5) Amplària del cap
- 6) Llargària de l'orella dreta
- 7) Amplària de l'orella dreta
- 8) Llargària del peu esquerre
- 9) Llargària del dit del mig esquerre
- 10) Llargària del dit petit esquerre
- 11) Llargària de l'avantbraç esquerre

Per saber la similitud entre dues persones, podem calcular la distància euclidiana entre els vectors formats pels onze components. Si **A** i **B** són dos vectors de les onze mesures de Bertillon i volem saber si pertanyen a la mateixa persona, llavors calculem:

$$D_{Bertillon}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{11} (A_i - B_i)^2} \quad (1)$$

Considerem que pertanyen a la mateixa persona si:

$$D_{Bertillon}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) \leq L_{\text{llindar}}_{Bertillon} \quad (2)$$

La figura 3 mostra nou dibuixos fets pel mateix Bertillon en què mostra com s'han de prendre les mesures. En honor al seu creador, aquest mètode s'anomena **bertillonatge**.

Figura 3. Imatge extreta del llibre de Bertillon (1893)



La imatge mostra les onze mesures que formaven la fitxa dels infractors

La figura 4 mostra una fitxa de la policia de Nova York en què es poden veure les mesures de Bertillon.

Figura 4. Fitxa policial de la ciutat de Nova York

No. 20439		L. Foot 24.8		Mid. F. 11.5		Lit. F. 8.9		Fore 45.6	
POLICE DEPARTMENT CITY OF NEW YORK. District Bureau.		Bertillon Measurements.		Head Length 8.0		Head Width 14.6		Len. 6.0	
No. 20439		Height 159.5		Outer Arms 170.0		Trunk 84.1		R. Ear	
Name Charles Clark		Crime Burglary		Age 28		Weight 135		Bull. med	
Alias		Eyes Hazel		Hair Brown		Comp. Fair		Moustache	
Date of Arrest Dec 22 1908		Occupation Cabman		Remarks None		Born N.Y.C.		Officer Neil 22 Dist	

Figura 4

S'hi poden veure les mesures de Bertillon i la data de l'arrest, 2 de desembre de 1908.

Les mesures de Bertillon poden canviar amb el temps i, a més, ser poc úniques, per això, la ciència criminal va tendir a investigar les empremtes dactilars, ja que veien aquesta tècnica amb base més científica. Encara que el mètode Bertillon va ser usat durant anys, va ser desprestigiats greument pel cas de Will West i William West el 1903.

Cas de Will West i William West

El 1901 William West va ser condemnat i empresonat a Kansas (Estats Units d'Amèrica). Com a criminal, se li van prendre les mesures de Bertillon. Dos anys més tard, el 1903, Will West va ser arrestat i se li van prendre les mesures de Bertillon. Usant aquest mètode, van deduir que Will West s'havia canviat el nom i que abans es feia dir William West, és a dir, que era el mateix que William i que havia estat condemnat prèviament. Més tard, es van adonar que William West encara era a la presó i per tant havia de ser una altra persona.

La taula 2 presenta les mesures de Bertillon de Will West i de William West. Es pot apreciar una similitud impressionant en els onze valors, i també en la foto de les cares de la figura 5.

Taula 2. Mesures de Bertillon en el cas de Will West i William West

Will West	William West
178,5	177,5
187,0	188,0
91,2	91,3
19,7	19,8
15,8	15,9
14,8	14,8
6,6	6,5
28,2	27,5
12,3	12,2
9,7	9,6
50,2	50,3

Figura 5

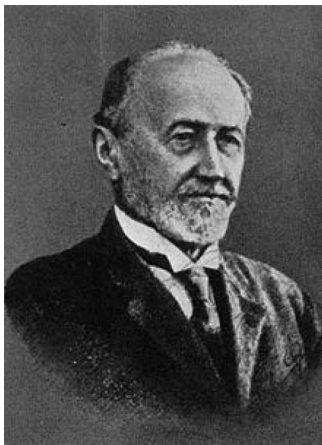


Fotografies de Will West i William West preses en el seu empresonament, en què es pot observar la increïble similitud entre aquestes dues persones

Més d'un segle ha passat des que el cap de la policia de Buenos Aires anomenat Juan Vucetich (1858-1925) (figura 6a) va descobrir que Francisca Rojas havia matat els seus dos fills el 1892 gràcies a una sanguinolenta empremta dactilar (figura 6b) deixada a la bústia de casa seva. Inicialment, el criat, que es deia Velázquez, havia estat erròniament condemnat. Aquest tràgic esdeveniment va ser el precursor de la **biometria aplicada a la societat**.

Figura 6

a.



b.



a. Fotografia de Juan Vucetich. b. L'empremta dactilar que Francisca Rojas va deixar impresa.

Un any més tard, el 1893, el Ministeri d'Interior del Regne Unit va acceptar oficialment que dues persones no podien tenir exactament les mateixes empremtes dactilars. I així, molts departaments de policia van veure les ditades com una manera d'identificar infractors o criminals que es canviaven sovint de malnom per evitar que els condemnessin a penes superiors pel fet de ser

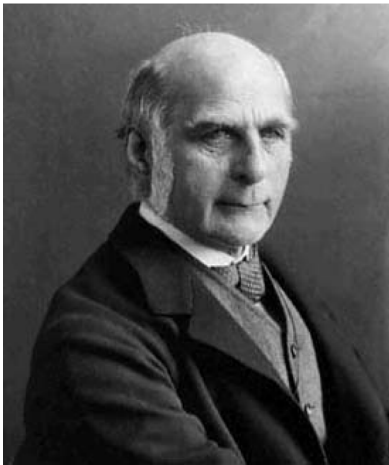
reincidents. Les comissaries de policia van començar a crear arxius de criminals amb les seves empremtes dactilars que es creaven o s'ampliaven quan hi havia detencions noves.

És important destacar que la ciència de la biometria basada en la ditada va trobar una bona aplicació en els forenses i aquest fet va provocar grans avenços científics. Les autoritats podien comparar les ditades deixades a les escenes dels crims amb les ditades introduïdes a les comissaries pels criminals que havien estat arrestats prèviament i així determinar o identificar criminals reincidents.

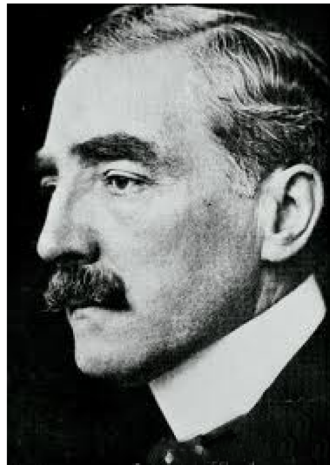
L'increment enorme de peticions de comparació de ditades va ser ràpidament insostenible. Per això, va aparèixer la necessitat de classificar les ditades en poques classes (de quatre a vuit classes). Quan s'havia de fer una cerca nova a l'arxiu, les noves ditades només es comparaven amb les ditades que pertanyien a la mateixa classe. El primer mètode per a classificar les ditades va ser ideat per **Francis Galton** (1822-1911) (figura 7a) i uns anys més tard, el 1900, l'inspector general de la policia de Bengala (Índia), anomenat **Edward Henry** (1850-1931) (figura 7b), va posar en funcionament a Scotland Yard un mètode basat en aquesta classificació.

Figura 7

a.



b.



a. Fotografia de Francis Galton. b. Fotografia de Sir Edward Henry

L'aprenentatge dels mètodes de classificació i comparació biomètrics (ditada, cara, iris, mà, manera de caminar...) és lent. A més a més, les exigències imposades pel fet que es necessiti ser molt meticulós en la cerca de la similitud entre ditades, cares, iris... o la classe a què pertanyen i també la necessitat de visualitzar les ditades en mides diferents (per captar-ne la informació global i també els detalls locals) han provocat la necessitat d'investigar en l'adquisició i comparació automàtica de les ditades a partir de sistemes electrònics. Els primers esforços van generar el desenvolupament dels **sistemes automàtics d'identificació de ditades (AFIS¹)** en les últimes quatre dècades. Més endavant, van sorgir altres mètodes automàtics per a les cares o els iris. La policia científica va ser la primera a adoptar aquests mètodes.

⁽¹⁾Sigla de l'anglès *automatic fingerprint identification system*.

Més recentment, les inquietuds en seguretat i en el frau de la identitat han creat la necessitat de desplegar els mètodes biomètrics en altres aplicacions socials no forenses. Cada cop ens trobarem més sistemes biomètrics a la vida quotidiana; per això, és important que els nous tècnics tinguin nocions d'aquestes tecnologies.

2. Reconeixement biomètric

La nostra societat està connectada electrònicament i és cada cop més mòbil. Representants de la nostra identitat com codis secrets (freqüents en accessos electrònics) i targetes (usades per entitats bancàries o aplicacions governamentals, com la targeta de la salut) no són fiables per a establir la identitat de les persones. Els codis secrets es poden endevinar en molts dels casos (sobretot si es coneix la persona) i les targetes es poden perdre o robar. A més a més, les targetes o els codis secrets són compartits habitualment entre amistats o companys de feina. Per tots aquests fets, els codis secrets o les targetes no garanteixen la identitat dels seus usuaris.

El **reconeixement biomètric**² es refereix a l'ús de diferents característiques anatòmiques (ditades, cara, iris...) i de comportament (parla, signatura, teclejar...). Aquestes característiques s'anomenen **identificadors biomètrics** o **trets biomètrics** i serveixen per a reconèixer automàticament els individus.

⁽²⁾En anglès, *biometrics* o *biometric recognition*.

La biometria està esdevenint un factor essencial per a la identificació eficaç de les persones. Això es deu al fet que els trets biomètrics no es poden compartir o extraviar i representen intrínsecament les formes corporals de l'individu que identifiquen. Reconèixer una persona pel cos i després enllaçar aquest cos amb una identitat establerta externament forma una eina molt poderosa per a la gestió de la identitat amb unes conseqüències potencials enormes, tant positives com negatives. Conseqüentment, la biometria no és només un problema fascinant en el camp de la recerca dedicat al reconeixement de patrons sinó una tecnologia, que usada correctament, pot permetre una societat més segura, reduir el frau i proveir interfícies persona-màquina fàcils d'usar.

La paraula *biometria* deriva del grec *bios* (que vol dir 'vida') i *metria* (que vol dir 'mesura'). Els trets biomètrics són mesures extretes del cos humà viu. I a més, tots els trets biomètrics són una combinació d'anatomia i de comportament. És important esmentar que sovint els trets biomètrics són més similars en parents pròxims.

Cada dia ens fem moltes preguntes relacionades amb la identitat de les persones. Aquesta persona està autoritzada a entrar en aquest edifici? A aquesta persona se li pot donar aquesta informació? Aquesta persona està buscada per un crim? Aquesta persona ja ha rebut alguns beneficis socials? Empreses privades i governs necessiten respostes fefaents a aquestes preguntes. Com que els trets

Anatomia i comportament

Per exemple, les ditades són anatòmiques per naturalesa, però l'ús del sensor d'entrada (és a dir, com l'usuari presenta el dit al sensor) depèn del comportament de l'individu.

biomètrics són difícilment reemplaçables, oblidats o compartits, es consideren més segurs per a reconèixer les persones que els clàssics codis secrets o carnets d'identitat.

L'objectiu de les aplicacions biomètriques és tenir sistemes més **còmodes** (extreure diners dels caixers automàtics sense targetes), més **segurs** (només les persones autoritzades hi poden tenir accés) i més **ràpids** (reducció del manteniment dels codis secrets i targetes). L'ús cada cop més estès de les tecnologies biomètriques ha fet que els preus dels sistemes hagin baixat, els components s'hagin miniaturitzat i siguin més fiables. I tot aquests fets provoquen que s'usi encara més aquesta tecnologia.

Figura 8. Percentatge dels ingressos generats pels diferents mètodes biomètrics

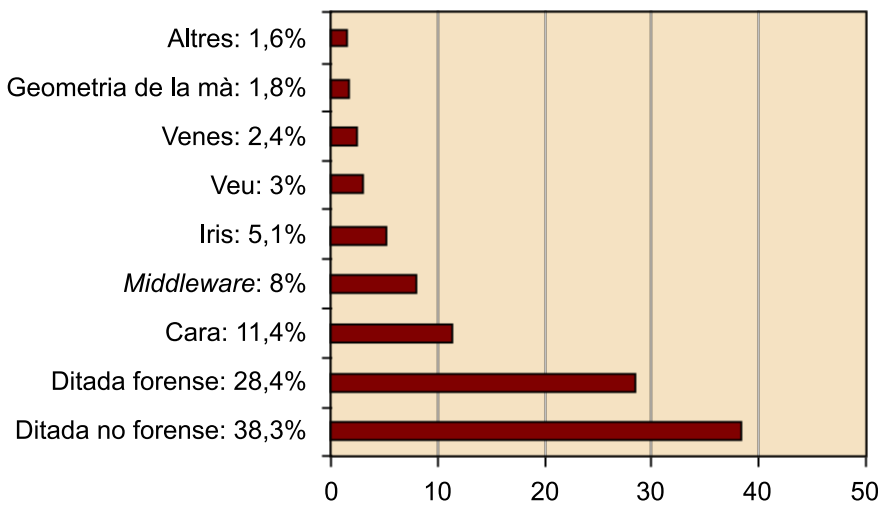
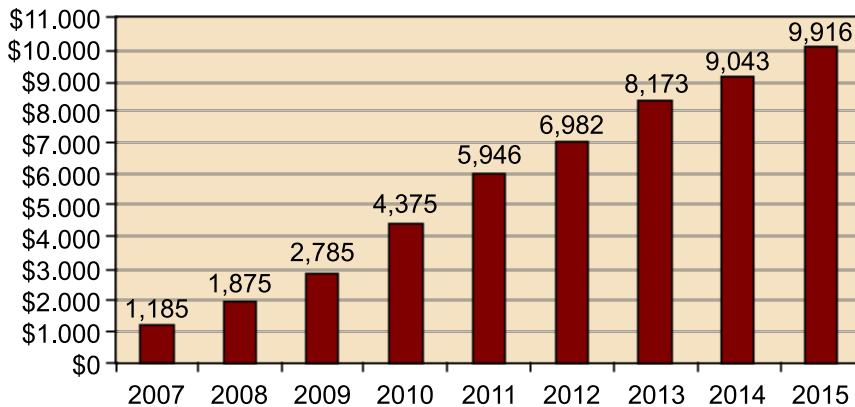


Figura 9. Ingressos generats pels sistemes biomètrics des de l'any 2007 fins a l'any 2010. Predicció d'ingressos des de l'any 2011 fins al 2015

**Ingressos de la indústria biomètrica (milions de dòlars EUA)
2007-2015**



La figura 8 mostra el repartiment dels trets biomètrics respecte dels ingressos que generen. La ditada és el tret biomètric més antic i continua sent el que genera més ingressos econòmics. El tret biomètric següent és la cara, que ja es troba a molta distància percentual.

La figura 9 mostra els ingressos d'anys anteriors i la predicció d'anys futurs de la indústria de la biometria en milions de dòlars segons Acuity Market Intelligence[®].

Per acabar aquest apartat, m'agradaria fer un comentari sobre la realitat de les tècniques biomètriques i el seu desplegament en sistemes aplicats reals. L'ús imaginatiu i adulador de la biometria en les pel·lícules i sèries televisives ha provocat una percepció generalitzada que la biometria és una ciència completament descoberta i una tecnologia a prova d'errors. Això no és cert. Hi ha un munt d'aspectes que són motiu de recerca ja que han de ser millorats. El reconeixement biomètric funciona força bé, hi ha aplicacions biomètriques que funcionen amb milions d'usuaris, però la recerca en aquest camp encara té camí per recórrer.

Middleware

Middleware és un terme informàtic per a anomenar tot el conjunt d'aplicacions o rutines de programari que fan de capes intermèdies entre els dispositius de lectura de trets biomètrics i les aplicacions d'alt nivell que usa l'usuari.

3. Els sistemes biomètrics

Depenent del context de l'aplicació biomètrica, podem diferenciar dos tipus de sistemes: sistemes de verificació o sistemes d'identificació.

Els **sistemes de verificació** (també anomenats **d'autenticació**) autentifiquen la identificació de la persona mitjançant la comparació del tret biomètric acabat de capturar amb el tret biomètric que ha estat captat anteriorment pel sistema en el procés d'inscripció al sistema.

L'usuari ha de presentar la seva identificació mitjançant un carnet o clau secreta. El sistema fa una única comparació entre el tret biomètric que l'usuari acaba de presentar amb el tret biomètric que hi ha a la base de dades amb la mateixa identificació presentada. La sortida d'un sistema de verificació és normalment binària: és la mateixa persona si els trets biomètrics coincideixen (són molt similars) o són dues persones diferents en l'altre cas. En alguns casos, els trets biomètrics i la identificació de la base de dades són a la mateixa targeta de l'usuari en forma encriptada. En aquest cas, es diu que tenim una **base de dades distribuïda** entre totes les targetes dels usuaris.

Els **sistemes d'identificació** reconeixen la persona buscant el tret biomètric que més s'assembla a l'usat per a identificar-lo en tota una base de dades.

L'usuari no aporta cap informació de la seva identificació com era el cas del sistema de verificació. El sistema porta a terme una comparació un a molts. Això vol dir que el tret biomètric de l'usuari desconegut es compara amb molts trets biomètrics d'una base de dades. Hi ha diverses sortides a aquest sistema. La més senzilla és retornar el nom de la persona (identificador) el tret biomètric de la qual s'assembla a l'introduït. Una altra possibilitat és deduir que aquest tret biomètric no pertany a cap persona de la base de dades (aquest cas succeeix quan les distàncies del tret biomètric amb tots els trets biomètrics de la base de dades és superior a un llindar). Finalment, i és el cas més usual en les aplicacions forenses, el sistema no retorna una sola persona sinó una **llista de candidats**. És a dir, retorna les persones la distància dels trets biomètrics de les quals respecte del tret biomètric introduït és inferior a un llindar.

Tant els sistemes de verificació com d'identificació necessiten un procés previ anomenat **sistema de matriculació**³. Aquest procés s'encarrega de recollir el tret biomètric (o els trets biomètrics) juntament amb la identificació de la persona. Aquest procés és molt important ja que s'encarrega de relacionar (de

⁽³⁾ *Enrollment*, en la bibliografia anglesa.

per vida!) la identificació de la persona amb el tret biomètric. Normalment, aquest procés es fa davant d'una persona autoritzada que vetlla per la veracitat de les dades que aporta l'usuari (carnet d'identitat, passaport...) i controla que realment sigui aquest usuari el que presenta el tret biomètric al sistema. A més, durant el procés de matriculació, aquesta persona verifica la qualitat de les dades biomètriques obtingudes. Si considera que les dades no tenen prou qualitat, demana a l'usuari que torni a presentar el tret biomètric (ditada, cara, iris...) al sistema. És fonamental que les dades que s'emmagatzemen en la base de dades tinguin la màxima qualitat, ja que en els processos d'identificació o verificació no sempre es pot garantir aquesta qualitat. Alguns sistemes demanen a l'usuari que capturi diverses vegades el mateix tret biomètric (normalment tres vegades). El sistema pot escollir la millor imatge o fusionar-les i així reduir els errors de captura.

Els tres sistemes mencionats anteriorment fan servir els processos següents (vegeu la figura 10):

- **Captura:** la representació digital del tret biomètric ha de ser capturada. El sensor biomètric és usualment un sistema per a capturar una imatge (excepte la identificació del parlador, que és una màquina de gravar veu). Normalment, la informació capturada s'anomena *mostra*⁴. De vegades, el sistema de captura també incorpora altres perifèrics per introduir informació no biomètrica o mostrar informació.
- **Extracció de les característiques:** amb l'objectiu de facilitar la comparació, augmentar la informació i reduir el soroll, la representació original digital (imatge digital) normalment és processada per un extractor de característiques per generar una representació compacta i més identificadora anomenada *registre d'identificació*⁵ o *conjunt de característiques*⁶.
- **Creació de la plantilla:** la plantilla⁷ és una forma compacta de representar un conjunt de mostres d'una sola característica biomètrica (per exemple, es pot crear una plantilla de setze mostres diferents de la imatge de la cara d'una mateixa persona). El procés de creació de la plantilla rep com a entrada els registres d'identificació i crea una informació més compacta en què s'intenta extreure la informació que persisteix en totes les mostres ja que es consideren els trets característics. En alguns casos, aquesta plantilla és formada per només una mostra i per tant pot ser representada com un registre d'identificació.
- **Comparació:** el procés de comparació rep com a entrada un registre d'identificació i una plantilla i calcula una distància entre els dos. De vegades, en lloc d'una distància obté una probabilitat que representin un mateix individu. En el procés de verificació, hi ha un llindar intern al sistema que només pot ser modificat per l'administrador del sistema. Si la distància és inferior al llindar (o la probabilitat és superior al llindar), el

⁽⁴⁾En anglès, *sample*.

⁽⁵⁾En anglès, *identification register*.

⁽⁶⁾En anglès, *feature set*.

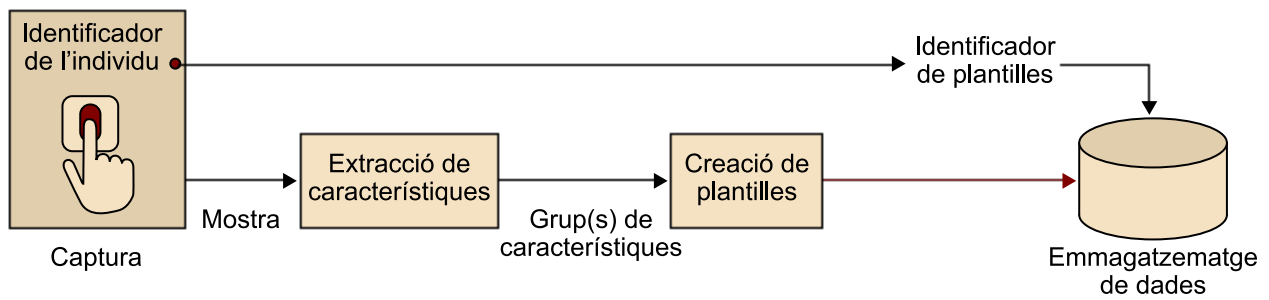
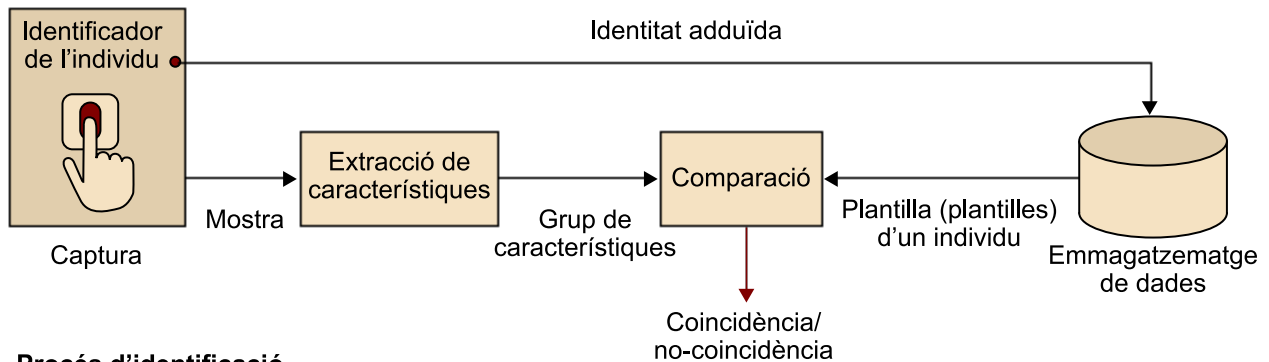
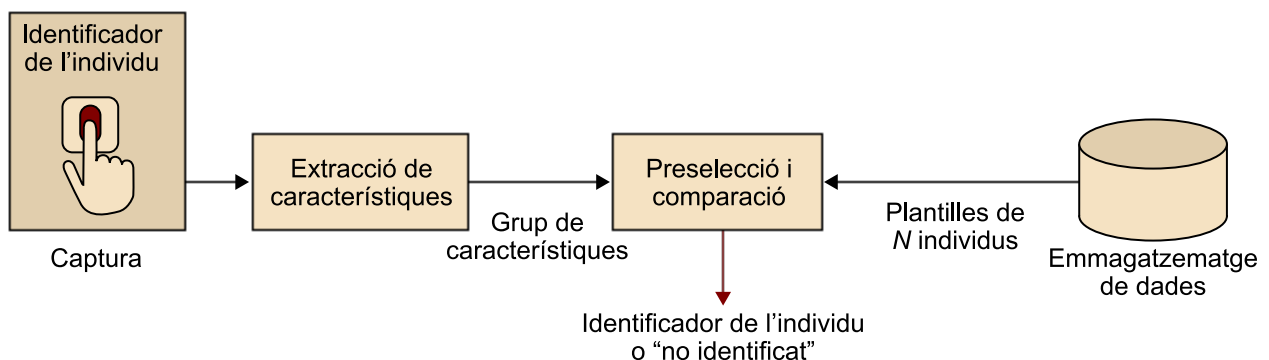
⁽⁷⁾En anglès, *template*.

sistema considera que les dues dades provenen de la mateixa persona, altrament, es considera que provenen de dues persones diferents.

- **Selecció o filtratge:** en els sistemes d'identificació amb moltes dades (podem parlar de cinquanta milions de dades), el filtratge és un mètode per a augmentar el temps de resposta del sistema. Amb tècniques típiques de les bases de dades, aconsegueixen no haver d'explorar la base de dades sencera i així guanyar temps.
- **Emmagatzemament de les dades:** és el procés per a emmagatzemar la informació de l'usuari. Aquesta informació està formada per un identificador únic (per exemple, el número del DNI o del passaport), la plantilla biomètrica i altres dades (per exemple, adreça, professió...). Depenent de l'aplicació, les dades s'emmagatzemen en sistemes d'emmagatzemament centralitzats (per poder-ne fer la identificació) o en targetes intel·ligents⁸ (per poder-ne fer verificació). A més, s'apliquen tècniques d'enciptació a totes les dades perquè així el registre format pel número de DNI més els trets biomètrics sigui indivisible.

⁽⁸⁾En anglès, *smart cards*.

Figura 10. Etapes o processos que componen els sistemes

Procés de registre**Procés de verificació****Procés d'identificació**

a. Matriculació (enrollment). b. Verificació (verification). c. Identificació (identification)

Depenent del domini de l'aplicació, un sistema biomètric pot operar com un sistema en línia (*on-line*) o un sistema fora de línia (*off-line*):

a) Els **sistemes en línia** requereixen que la comparació es porti a terme ràpidament i es requereix una resposta immediata. Per exemple, el permís per a iniciar una aplicació, o l'entrada física d'una persona a unes instal·lacions. Normalment són sistemes de verificació.

b) Els **sistemes fora de línia** no requereixen que la resposta sigui immediata i es tolera que hi hagi un retard admissible en la resposta. Normalment són sistemes d'identificació. Els sistemes en línia acostumen a ser completament automàtics i requereixen que el tret biomètric sigui capturat amb un sensor electrònic i no hi ha control humà de la qualitat de les dades. D'altra banda, els sistemes fora de línia són usualment semiautomàtics. La captura del tret biomètric pot haver estat amb un sistema no electrònic (per exemple, la cap-

tura d'una ditada deixada a l'escena d'un crim) i hi ha un control de la qualitat de les dades per un especialista. A més, aquest especialista disposa d'eines informàtiques per a arreglar les dades o ajudar el programa que duu a terme la comparació biomètrica.

Depenent de l'aplicació, es porten a terme dos tipus de cerques en els sistemes d'identificació, les cerques positives i les cerques negatives:

a) Amb les **cerques positives** volem comprovar si aquell tret biomètric es troba a la base de dades, és a dir, si l'usuari ha estat matriculat. Volem saber la identificació d'aquell tret biomètric. El cas més típic és introduir al sistema una ditada que hem trobat en una escena d'un crim o una cara que hem pogut fotografiar i volem saber a qui pertany.

b) D'altra banda, amb les **cerques negatives** volem comprovar que aquell individu no s'hagi matriculat. Volem saber que no hi ha cap persona matriculada amb aquells trets biomètrics. L'aplicació més usual és la d'assegurar-se que una persona no vol usar més d'una vegada un servei que només té dret d'usar un sol cop. Per exemple, no cobrar diverses vegades un ajut estatal o no votar diverses vegades en unes eleccions.

4. Els trets biomètrics

Qualsevol tret anatòmic o de comportament humà pot ser usat com a identificador biomètric per a identificar o verificar les persones si satisfà els requeriments següents:

- **Universalitat:** cada persona ha de tenir aquest tret biomètric.
- **Particularitat:** totes les persones han de ser prou diferents en termes del tret biomètric.
- **Permanència:** el tret biomètric ha de ser invariant al temps i a qualsevol altre factor des del punt de vista de la comparació entre trets biomètrics.
- **Mesurable:** el tret biomètric ha de poder se mesurat quantitativament.
- **Rendiment:** el tret biomètric ha de garantir precisió i robustesa en diferents factors ambientals.
- **Acceptabilitat:** els usuaris del sistema han d'acceptar l'ús d'aquest tret biomètric per a la seva identificació.
- **No falsificable:** el tret biomètric ha de garantir que la seva falsificació sigui difícil.

Vegeu també

En el mòdul "Seguretat en sistemes biomètrics" d'aquest material es desenvolupa el requeriment de no falsificable.

Un sistema biomètric ha de tenir una precisió i velocitat acceptables amb un nombre de recursos raonable. A més, no pot ser nociu per als usuaris, ha de ser acceptat pels usuaris potencials i prou robust als mètodes fraudulents.

S'està usant un nombre bastant gran de trets biomètrics en diferents aplicacions. Això es deu al fet que cada tret biomètric té la seva pròpia fortalesa i també debilitat, i li fan falta usar un nombre específic que recursos. Aquestes característiques s'han de poder adaptar a l'aplicació específica per a la qual es dissenya. Decidir quin tret característic es pot usar en una aplicació determinada es porta a terme considerant les característiques de l'aplicació i també les propietats del tret biomètric. Els principals assumptes que s'han de considerar a l'hora de seleccionar un tret biomètric en una aplicació concreta són:

- L'aplicació necessita un sistema de verificació o identificació? En cas que l'aplicació necessiti la identificació d'un subjecte en una base de dades molt gran, llavors necessita un tret biomètric amb molta particularitat.

- Quines són les característiques operacionals de l'aplicació? És a dir, s'usarà en un sistema semiautomàtic o completament automàtic? A l'interior o a l'exterior?
- Els usuaris estan habituats a mostrar o accepten mostrar aquest tret característic?
- Quina és la capacitat d'emmagatzemament de l'aplicació? Per exemple, una aplicació que funciona en una targeta intel·ligent té uns recursos molt limitats d'emmagatzemament.
- És molt important que el tret biomètric no sigui falsificable?

Tot seguit mostrem els trets biomètrics més comuns que han estat usats en sistemes comercials o que estan en fase de recerca.

4.1. Trets biomètrics del cap

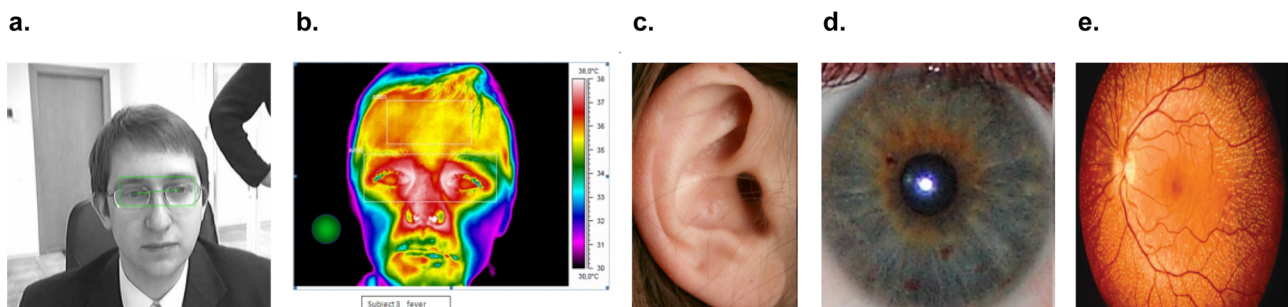
Els trets biomètrics del cap són els següents:

- **Cara:** la cara és un dels trets biomètrics més acceptables perquè és el tret biomètric més comú usat pels humans a l'hora de reconèixer les persones i també les interaccions visuals diàries. A més, el mètode per a adquirir imatges de la cara és no intrusiu i no fa falta cap interacció per part de l'usuari. En fase de prototip, trobem alguns mètodes que no sols reconeixen la persona, sinó el seu estat d'ànim segons l'expressió facial, l'edat, el sexe i la posició. En algunes càmeres fotogràfiques, ja s'incorpora un detector de somriures. L'aplicació no sols detecta les cares, sinó que detecta que estiguin somrient.
- **Termograma facial:** aquesta tecnologia es pot usar juntament amb el reconeixement de la cara en els casos de seguiment passiu (l'usuari no sap que l'estan identificant). Té l'avantatge que no l'afecten el maquillatge o el tallat de cabells o barbes. Però té l'inconvenient que és molt poc permanent, ja que l'afecten un simple refredat o si acabes de córrer o fer esport. S'amida amb una càmera tèrmica a una distància màxima d'uns pocs metres.
- **Orella:** les característiques de la forma de l'orella és un tret biomètric molt útil per al reconeixement passiu de la persona. Una càmera de seguretat pot filmar amb facilitat una orella. Aquest tret biomètric es manté bastant estable en el temps però té el problema que moltes vegades les orelles queden ocultes pels cabells o les gorres. Per a tenir característiques similars de funcionament, normalment s'usa com un complement al reconeixement de les cares o de la manera de caminar.

- **Iris:** la textura visual de l'iris humà es determina pel procés càdtic i morfo-genètic durant el desenvolupament embrional. S'ha postulat ser distintiu per a cada persona i cada ull. Una imatge de l'iris és usualment capturada usant un procés de captura sense contacte. Normalment, la captura d'una imatge de l'iris implica la cooperació de l'usuari encara que hi ha sistemes (en fase de prototip al laboratori) per a capturar la imatge de l'iris sense col·laboració de l'usuari. L'usuari col·labora en ubicar la imatge al centre de l'aparell de captura i en assegurar que l'iris és a una distància predeterminada respecte del pla focal de la càmera. La tecnologia de l'iris ha demostrat ser molt precisa i ràpida en imatge d'alta resolució i ben capturada.
- **Retina:** aquest tret biomètric és un dels últims que s'ha incorporat. Té una tecnologia i aplicabilitat molt semblant a la de l'iris i ha demostrat ser altament discriminatòria. Es basa a llegir les petites venes que hi ha a la retina, que és la membrana de dins de l'ull que captura la llum que estem veient. La captura de la imatge es fa en llum infraroja i això fa que sigui una tecnologia de baixa acceptació.

En la figura 11 es mostren imatges dels trets biomètrics esmentats.

Figura 11. Trets biomètrics del cap



a. Cara. b. Termograma facial. c. Orella. d. Iris. e. Retina

La taula 3 mostra les principals característiques que ha de tenir un sistema biomètric en els trets biomètrics del cap.

Taula 3. Bondat dels trets biomètrics del cap

Tret bi-omètric	Característica						
	Universalitat	Particularitat	Permanència	Mesurable	Rendiment	Acceptabilitat	No falsificable
Cara	A	B	M	A	B	A	A
Termograma facial	A	A	B	A	M	A	A
Orella	M	M	A	M	M	A	M
Iris	A	A	A	M	A	B	A
Retina	A	A	M	B	A	B	A

Les entrades de la taula mostren la bondat de cada característica en cada tret biomètric discretitzada en tres valors: A (alt), M (mitjà) i B (baix).

4.2. Trets biomètrics de la mà i els dits

Els trets biomètrics de la mà i els dits són els següents:

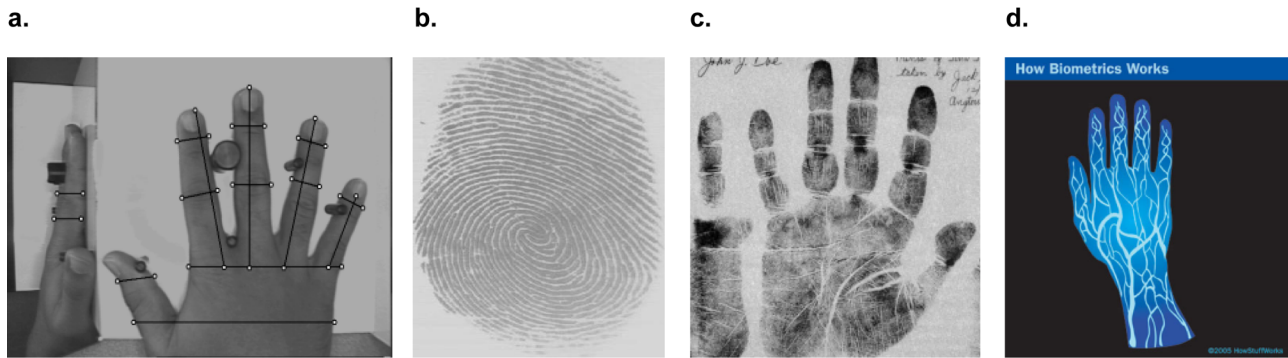
- **Geometria de la mà i dels dits:** la llargària i l'amplària dels dits, i també la relació amb l'amplària de la mà són trets biomètrics bastant invariants encara que poc distintius. El sistema d'adquisició de la geometria de la mà i dels dits necessita col·laboració amb l'usuari per a capturar la imatge frontal i també les imatges laterals (alguns sistemes només usen la imatge frontal). Els requeriments d'emmagatzematge d'aquesta tecnologia són molt petits, cosa que la fa molt atractiva per a sistemes limitats en memòria. No obstant això, a causa de la poca capacitat per a distingir diferents usuaris, s'usa només en processos de verificació i no és gens escalable en aplicacions d'identificació.
- **Ditada:** la ditada és el patró de valls i serralades i la seva formació es determina durant els primers mesos de gestació. S'ha determinat empíricament que les ditades de bessons i les ditades de diferents dits d'una persona són diferents. A més, des de fa més d'un segle s'ha demostrat que és una tecnologia altament discriminatòria fins i tot en una base de dades de més de cinquanta milions d'usuaris. Avui en dia, el reconeixement de les ditades és una tecnologia molt fàcil d'instal·lar i barata. Finalment, és una tecnologia que és útil en aplicacions forenses i també en aplicacions civils i de màxima seguretat. A més, només hi ha una fracció molt petita de la població que no pot fer ús d'aquesta tecnologia.
- **Empremta de la mà:** el palmell dels humans conté serralades i valls igual que els dits. El palmell conté més àrea i per això s'espera que pot ser més discriminador que les ditades. Com a contrapartida, els escàners de mà són més grans i cars, per tant, no usables en algunes aplicacions en què es necessiten dispositius reduïts. L'avantatge del palmell és que conté unes línies més marcades que es poden capturar amb dispositius de baixa resolució (més barats).
- **Venes de la mà i dels dits:** l'estructura de les venes de la mà i dels dits es detecta amb llum a prop de l'infraroig captada d'una imatge de la mà premuda sobre el sistema de captura (escàner infraroig). Aquest sistema es comercialitza actualment, ja que l'escàner d'infraroig usa díodes tipus LED que són assequibles econòmicament.

Escàner de dit

Un escàner de dit costa uns cinquanta euros comprat a gran escala.

En la figura 12 es mostren imatges dels trets biomètrics esmentats anteriorment.

Figura 12. Trets biomètrics de la mà i els dits



a. Geometria de la mà i dels dits. b. Ditada. c. Empremta de la mà. d. Venes de la mà i dels dits

La taula 4 mostra les principals característiques que ha de tenir un sistema biomètric en els trets biomètrics de la mà i els dits.

Taula 4. Bondat dels trets biomètrics de la mà i els dits

Tret bi-omètric	Característica						
	Universalitat	Particularitat	Permanència	Mesurable	Rendiment	Acceptabilitat	No falsificable
Geometria de la mà i dels dits	M	M	M	A	M	M	M
Ditada	M	A	A	M	A	M	M
Empremta de la mà	M	A	A	B	A	M	M
Venes de la mà i dels dits	M	M	M	M	M	M	A

Les entrades de la taula mostren la bondat de cada característica en cada tret biomètric discretitzada en tres valors: A (alt), M (mitjà) i B (baix).

4.3. Trets biomètrics de tot el cos

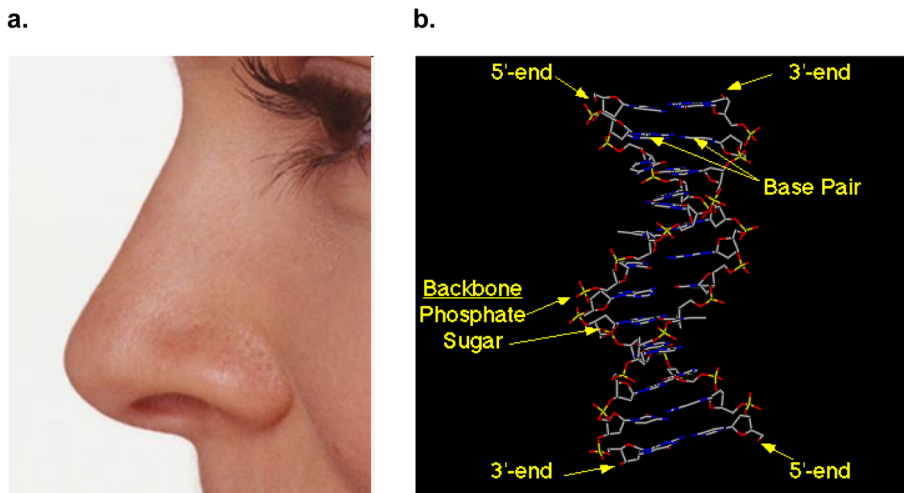
Els trets biomètrics de tot el cos són els següents:

- **Olor:** cada persona traspua una olor que és característica de la seva composició química i pot ser usada per a identificar persones. El sistema més usual està format per una matriu de sensors en què cada sensor detecta un tipus concret de substància química (o component aromàtic). La resposta del sistema consisteix en la quantitat de component aromàtic que ha detectat cada sensor. Després d'olorar, el sistema ha de ser inicialitzat posant aire completament net. La tecnologia per a la identificació automàtica de les olors (en qualsevol tipus d'aplicació, no sols identificació biomètrica) està sent investigada i avui dia hi ha pocs sistemes reals (no prototips de laboratori) en funcionament i cap per a identificar persones.
- **ADN:** l'àcid desoxiribonucleic és el codi unidimensional que caracteritza l'individu per excel·lència, excepte dos bessons idèntics que tenen el mateix ADN. Normalment és usat en identificació de persones en aplicacions forenses però no es pot usar en aplicacions de temps real perquè es necessi-

ta un temps d'unes hores en un laboratori per a aïllar correctament l'ADN i extreure'n la informació bàsica. A més, l'ús de la informació de l'ADN acostuma a preocupar les persones perquè se'n pot extreure el coneixement que una persona pateix certes malalties o és susceptible de patir-les.

En la figura 13 es mostren imatges dels trets biomètrics esmentats anteriorment.

Figura 13. Trets biomètrics de tot el cos



a. Olor. b. ADN

La taula 5 mostra les principals característiques que ha de tenir un sistema biomètric en els trets biomètrics de tot el cos.

Taula 5. Bondat dels trets biomètrics de tot el cos

Tret biomètric	Característica						
	Universalitat	Particularitat	Permanència	Mesurable	Rendiment	Acceptabilitat	No falsificable
Olor	A	M	A	B	B	M	B
ADN	A	A	A	B	A	B	A

Les entrades de la taula mostren la bondat de cada característica en cada tret biomètric discretitzada en tres valors: A (alt), M (mitjà) i B (baix).

4.4. Trets biomètrics de comportament

Els trets biomètrics de comportament són els següents:

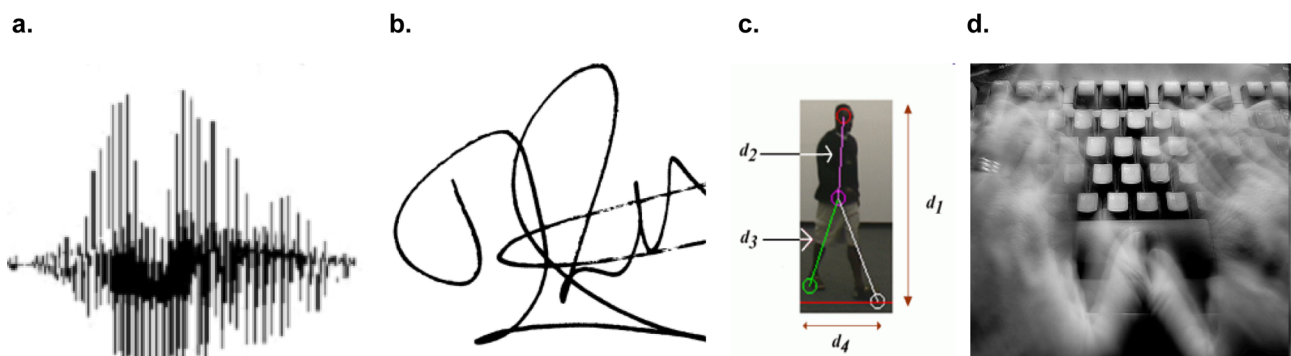
- **Parlador:** el reconeixement del parlador és el sistema menys molest ja que l'usuari no ha d'esperar que es prengui la imatge. A més, és un sistema que es pot usar mitjançant un telèfon sense imatge. No s'espera que la veu sigui prou distintiva perquè se'n permeti la identificació en una base de dades gran. A més a més, la veu es degrada amb facilitat depenent del micròfon, la línia de comunicació i els sistemes de digitalització. És important considerar que la veu pot quedar greument alterada segons la salut de l'usuari (mal de coll, refredat, estrès, emocions fortes...). A més, algunes persones

sembla que siguin molt bones a l'hora d'imitar la veu de les altres, per tant, són potencials usuaris fraudulents.

- **Signatura:** les signatures han estat acceptades en transaccions comercials, legals i governamentals des de fa segles. La manera com la gent escriu el seu nom és un tret biomètric de comportament. No obstant això, és important considerar que les signatures d'alguna gent varien molt en el temps, condicionades per condicionants físics i emocionals. A més, els falsificadors professionals poden reproduir signatures de manera que semblin idèntiques a l'ull humà.
- **Manera de caminar (*gait*):** aquest tret biomètric es refereix a la manera de caminar que tenen normalment les persones. El ritme i la rapidesa que fan anar les cames, si té un pas llarg, si es balanceja molt. Té l'avantatge que és un dels pocs trets biomètrics que es pot (i s'ha de) mesurar a distància, això fa que sigui molt adequat en aplicacions de seguiment i identificació de persones. La majoria dels algorismes extreuen la silueta de la persona que cal identificar i en dedueixen els atributs espaciotemporals dels seus moviments. Aquest tret biomètric té el desavantatge que és molt poc permanent, ja que no sols varia amb el temps sinó que es veu afectat per si portes bosses amb pes, si estàs cansat o segons la roba que portes.
- **Manera de teclejar:** totes les persones tenen la seva manera de teclejar específica i repetitiva quan encadenen una seqüència de tecles. Aquest tret biomètric no es pot usar per a fer identificació però sí per a verificar si una persona és la que està teclejant en aquest moment (o tenir una probabilitat que ho sigui). Normalment, és un tret biomètric que s'usa de manera encoberta a partir d'un programa instal·lat a l'ordinador en què s'està teclejant. Permet verificar que la persona que està teclejant no ha canviat en tota la sessió de treball ja que és un tret biomètric que es pot anar verificant contínuament.

En la figura 14 es mostren imatges dels trets biomètrics esmentats anteriorment.

Figura 14. Trets biomètrics de comportament



a. Parlador. b. Signatura. c. Manera de caminar. d. Manera de teclejar

La taula 6 mostra les principals característiques que ha de tenir un sistema biomètric en els trets biomètrics de comportament.

Taula 6. Bondat dels trets biomètrics de comportament

Tret biomètric	Característica						
	Universalitat	Particularitat	Permanència	Mesurable	Rendiment	Acceptabilitat	No falsificable
Parlador	M	B	B	M	B	A	B
Signatura	B	B	B	A	B	A	B
Manera de caminar	M	B	B	A	B	A	M
Manera de teclejar	B	B	B	M	B	M	M

Les entrades de la taula mostren la bondat de cada característica en cada tret biomètric discretitzada en tres valors: A (alt), M (mitjà) i B (baix).

4.5. Conclusions

La **ditada** té un gran equilibri entre totes les característiques. Gairebé tothom té dits (excepte les persones amb discapacitats a les mans). La història ha demostrat que les ditades són molt distintives i permanents, encara que hi hagi talls o cremades. A més, els sensors actuals capturen les ditades a molta alta resolució a un preu assequible i no tenen el problema d'haver de diferenciar la ditada respecte del fons com passa amb les cares. El principal inconvenient és que no es poden capturar ditades a distància i sense el coneixement de les persones com es pot fer amb les cares. Finalment, les ditades i també les plantilles que generen cada cop són més difícils de falsejar gràcies als escàners detectors de vida (detecten el flux sanguini o l'oxigen que hi ha a la sang) i a les tècniques d'enciptació, respectivament.

Un altre tret característic amb alt rendiment, pel que fa a les característiques biomètriques, és l'**iris**. Ha demostrat tenir una gran universalitat, particularitat i permanència. Els dos punts fluixos són la poca acceptació que té la societat actualment respecte d'aquesta tecnologia (relacionat amb la dificultat de captar l'iris) i el fet que no és útil per a la cerca de proves en aplicacions forenses com ho són les ditades deixades a les escenes dels crims. No obstant això, s'està començant a imposar perquè s'ha demostrat que té més particularitat que les ditades.

És interessant esmentar la **geometria de la mà**. Malgrat que només és mesurable com a únic tret característic amb qualitat alta, és útil en algunes aplicacions de baixa seguretat per la seva rapidesa, el baix cost que té i perquè és fàcil de mesurar.

Finalment, hi ha alguns trets biomètrics que són poc mesurables. Aquest fet marca clarament que no siguin útils en algunes aplicacions en què la rapidesa i senzillesa del sistema siguin primordials. El cas més extrem és l'ADN, per al qual fan falta hores de laboratori per a poder fer una comparació.

5. Aplicacions dels sistemes biomètrics

Els sistemes biomètrics han estat desplegats en una gran varietat d'entorns d'aplicacions. Les aplicacions van des de les forenses, els controls en sistemes electorals fins als telèfons mòbils. No obstant això, el disseny i la posada a punt dels sistemes depenen del context i categories de les aplicacions que a la seva banda defineixen els requeriments de l'aplicació.

5.1. Context de les aplicacions

Les aplicacions es poden categoritzar segons els contextos següents:

- **Cooperatiu davant de no cooperatiu:** el sistema cooperatiu és aquell en què l'usuari ha d'interactuar o amb el qual ha de cooperar per ser reconegut, per exemple, centrant l'iris enmig de la imatge. El sistema no cooperatiu és un identificador de la cara quan passes per una porta sense que el sistema et demani que t'aturis o que miris a la càmera.
- **Habituat davant no habituat:** els sistemes habituats són aquells en què l'usuari accedeix al sistema de manera habitual, és a dir, cada dia quan arriba a treballar o un comercial que un cop a la setmana travessa el control de l'aeroport. Un exemple de sistema no habituat és el que requereix la ditada per a la renovació del carnet de conduir cada cinc o deu anys. És un factor important en el disseny del sistema, ja que s'ha demostrat que si l'usuari està habituat a interactuar amb el sistema, la seva precisió augmenta clarament.
- **Supervisat davant no supervisat:** els sistemes supervisats són aquells en què el procés d'adquisició de les dades és supervisat, observat o guiat per un humà (per exemple, un encarregat o funcionari de seguretat). Dins dels sistemes supervisats es poden distingir aquells en què la supervisió només es porta a terme en la matriculació (per exemple, un caixer automàtic amb sistema biomètric) o aquells en què la supervisió es porta a terme en la matriculació i la verificació (control a aeroports).
- **Entorn de funcionament estàndard davant no estàndard:** es considera un entorn de funcionament estàndard aquell en què els humans estem habituats quant a característiques de temperatura, pressió, llum, humitat, soroll, etc. Normalment, els sistemes que funcionen en entorns tancats (accés a l'ordinador) es consideren sistemes estàndard. També ho són els sistemes en entorns oberts però en condicions normals. Els sistemes exteriors es poden considerar no estàndard si les condicions són molt especials (temperatures molt baixes, neu, vent fort, etc.).

- **Privats davant públics:** els usuaris dels sistemes privats són els clients directes o treballadors d'una organització que ha desenvolupat o desplegat un sistema biomètric. Aquests usuaris són específicament classificats, ja que són usuaris acostumats a usar aquests sistemes biomètrics i creuen en la biometria. Són usuaris potencialment molt bons per a facilitar els processos de matriculació, verificació o identificació i per això, la raó d'error que generen acostumen a ser molt baixa. Els sistemes públics són la resta de sistemes.
- **Obert davant tancat:** en els sistemes oberts, la plantilla d'un usuari emmagatzemada en la base de dades pot ser usada en diverses aplicacions. Per exemple, l'usuari pot usar la seva empremta dactilar per a accedir a l'ordinador o a la banca electrònica. En els sistemes oberts, tindrem una sola matriculació i una sola base de dades. En els sistemes tancats, haurem de fer dues matriculacions i hi haurà dues bases de dades. En els sistemes oberts necessitem fer servir formats estàndard i, ara per ara, no és un fet habitual, ja que la majoria de venedors usen el seu propi format.
- **Declarat davant encobert:** els sistemes declarats són aquells en què l'usuari s'adona de la interacció amb el sistema biomètric i l'accepta. L'usuari sap que està presentant l'iris, la cara o ditada al sistema perquè el reconegui. En els sistemes encoberts, l'usuari desconeix que se li està aplicant un sistema biomètric per identificar-lo. Un exemple en podria ser un sistema a les sales d'espera o als passadissos dels aeroports. Mentre està llegint o caminant tranquil·lament, algunes càmeres ocultes podrien anar detectant possibles persones perseguides per la justícia.

5.2. Categories de les aplicacions

Es defineixen dues maneres de categoritzar les aplicacions: la categorització horitzontal i la categorització vertical.

En la **categorització horitzontal**, les categories són aplicacions que tenen un entorn o objectiu comú. En la **categorització vertical**, les categories es basen en les necessitats de cada sector de la indústria o governamental.

Tot seguit es mostra una llista de tipus d'aplicacions segons les categories.

1) Categories horitzontals

- **Control d'accés físic:** la biometria serveix per a restringir l'accés de les persones a les instal·lacions com ara centrals nuclears, zones militars o

caixes cuirassades dels bancs. I també a zones de no tanta alta seguretat com clubs privats, museus o piscines públiques.

- **Control d'accés lògic:** accés a ordinadors de sobretaula o servidors remots i bases de dades. Cada cop més, programes informàtics que només poden usar persones autoritzades. Per exemple, en els programes informàtics que usen als hospitals, els metges estan autoritzats per a modificar les dades però als infermers o infermeres només se'ls permet veure les dades sense modificar-les.
- **Autenticació de l'usuari en transaccions:** les transaccions econòmiques poden ser ordenades des de caixers automàtics o en localitzacions remotes des d'ordinadors personals. La biometria afegeix seguretat a la transacció per reduir el frau i també perquè l'ordenant de la transacció no negui haver-la ordenat més endavant.
- **Control d'accés a dispositius:** els dispositius electrònics personals, com, per exemple, portàtils o telèfons mòbils, sovint contenen dades personals o dades confidencials. Aquestes dades s'acostumen a protegir amb un número secret, però cada cop més s'estan protegint amb un tret biomètric (ara per ara, el més usat és la ditada o la cara).
- **Temps i presència:** les aplicacions anomenades *temps i presència* són les que mantenen el control de la ubicació dels treballadors o vehicles d'una empresa en tot moment i també serveixen per a pagar les nòmines segons aquests paràmetres. Afegir-hi un control biomètric assegura que realment ha estat aquell treballador concret qui ha estat en una ubicació concreta.
- **Identificació civil:** un dels objectius més importants en les aplicacions d'identificació civil és prevenir múltiples matriculacions i trobar duplicats. Per exemple, duplicats de passaports, llicències de conduir, documents nacionals d'identitat. També es vol descobrir si una persona buscada per la policia està matriculada. La incorporació dels trets biomètrics en aquestes aplicacions és un factor crucial.
- **Identificació forense:** la comparació de les ditades latents deixades en escenes dels crims amb una base de dades de criminals és l'aplicació més antiga de la biometria. Ara s'hi estan incorporant també les cares, les orelles o la manera de caminar, que han estat filmades en càmeres de seguretat. També es busquen marques latents d'empremtes d'orelles (la persona s'ha recolzat en una porta per escoltar) o la marca de tota la mà.

2) Categories verticals

- **Salut:** hospitals, centres d'assistència primària, ambulàncies.
- **Finances:** transaccions econòmiques.
- **Recepcions:** casinos, hotels, piscines públiques.

- **Vendes:** grans superfícies comercials, gasolineres.
- **Educació:** control d'accés a escoles, menjadors universitaris.
- **Manufactura:** control dels treballadors.
- **Tecnologia:** dispositius mòbils, telecomunicacions.
- **Transport:** control de passatgers, compra de bitllets.
- **Institucions públiques:** Estat, ajuntaments, Departament de Justícia.
- **Militar:** control d'accés a zones restringides.

6. Història de la biometria

S'han descobert uns quants objectes històrics en què es podria “deduir” que hi ha marcades ditades o empremtes del palmell.

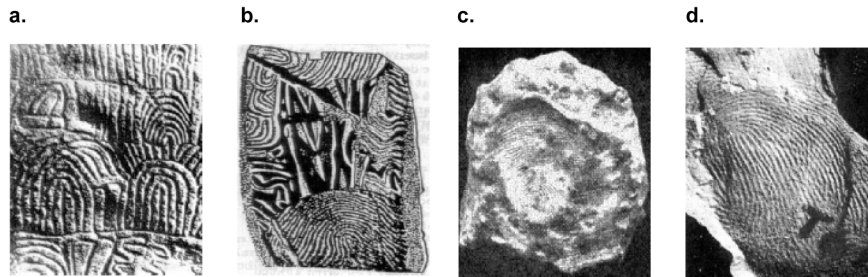
Marques “històriques”

Es poden deduir marques d'empremtes dactilars a les escultures neolítiques de l'illa de Gavrinis datades de l'any 3500 abans de Crist (figura 15a). O també es poden deduir marques a les famoses pedres datades de l'any 2000 abans de Crist de l'illa de Goat (figura 15b). És important remarcar que en el cas d'aquests objectes no s'ha pogut demostrar que realment mostrin ditades o empremtes del palmell o que hi hagi un desig exprés del possible autor que aquelles marques representin realment trets biomètrics. No obstant això, sembla que hi ha prou proves científiques que realment hi ha el desig d'identificar el proveïdor de l'objecte a partir de les marques trobades en un segell d'argila xinesa datada l'any 300 abans de Crist (figura 15c) i en un llum d'origen palestí datat l'any 400 després de Crist (figura 15d).

Figura 15

En les figures a i b és poc probable la presència de biometria i en les figures c i d és més probable.

Figura 15. Imatges d'objectes en els quals es pot deduir la presència de biometria



a. Escultura neolítica de l'illa de Gavrinis (any 3500 aC). b. Pedres de l'illa de Goat (any 2000 aC). c. Segell d'argila xinès (any 300 dC). d. Llum palestí (any 400 dC)

Els coneixements precedents a la biometria van ser les pseudociències anomenades *frenologia* i *antropometria*, que van servir per a facilitar els inicis de la mateixa biometria.

La **frenologia** estudiava l'estructura del crani per determinar el caràcter de la persona i la seva capacitat mental. Va ser fundat per l'alemany **Franz Joseph Gall** (1758-1828) (figura 16a) al començament del segle XIX a Alemanya. Gall creia que certes característiques mentals es podien relacionar amb certes formes i característiques del crani. Aquest concepte va ser desenvolupat amb més profunditat per l'Italià **Cesare Lombroso** (1835-1909) (figura 16b), que va unir els conceptes de la frenologia amb comportaments criminals. Als Estats Units d'Amèrica va ser on aquestes creences van tenir més ressò fins a finals del segle XIX.

Figura 16

a.



b.



a. Retrat de Franz Joseph Gall. b. Retrat de Cesare Lombroso

L'**antropologia** va ser creada pel belga **Adolphe Quetelet** (1796-1874) (figura 17) l'any 1871. És una ciència que es basa en l'estudi de les mesures del cos humà per a la seva classificació i comparació. Quetelet va publicar l'any 1871 la tesi *L'anthropométrie ou mesure des différents facultés de l'homme*. A més d'usar-se per a crear fitxes de trets biomètrics a les comissaries o presons, va ser utilitzada per a classificar criminals potencials per les seves característiques facials. Per exemple, Cesare Lombroso, en el document titulat "Criminal anthropology", publicat l'any 1895, afirmava que els criminals tenen mandíbules prominents i que els carteristes tenen les mans llargues i la barba poc abundant. Aquesta part de l'antropometria va ser ràpidament considerada no-ciència. No obstant això, la identificació de criminals pels trets característics, anomenada *bertillonatge*, va ser usada a França durant la primera meitat del segle xx. Com s'ha comentat, va ser descartada per la seva poca particularitat i per donar pas a la tecnologia de les dades.

Vegeu també

El bertillonatge s'ha comentat en l'apartat 1 d'aquest mòdul.

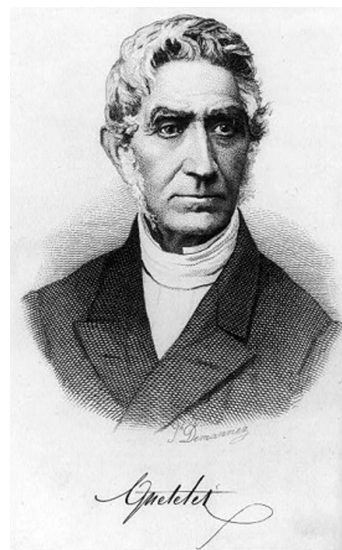


Figura 17. Retrat d'Adolphe Quetelet

Mentre es duïen a terme aquests esdeveniments en frenologia i antropologia, també avançava l'interès per la ditada i per la geometria de la mà. El 1823, el txec **Jan Evangelista Purkinje** (1787-1869) (figura 18), mentre estudiava les glàndules de suor, es va adonar que semblava que les crestes i valls que tenim a la pell dels dits creaven sempre dibuixos diferents. És el primer cop que es menciona aquest fet, tot i així, en cap moment no va mencionar que aquestes característiques podien ser usades per a identificar les persones.

A finals del segle XIX, la policia de Scotland Yard va posar en marxa un sistema per a classificar i identificar les persones per les seves empremtes dactilars. L'encarregat va ser l'inspector de policia a Bengala anomenat **Edward Henry** (1850-1931) (figura 7b). Aquest sistema es basava en una metodologia científic-



Figura 18. Retrat de Jan Evangelista Purkinje

ca per a classificar les ditades en poques classes (com a màxim, sis) desenvolupat per l'anglès **Francis Galton** (1822-1911) (figura 7a) el 1892. S'anomenava *sistema Galton-Henry*. El nombre de seguidors del mètode Bertillon va anar decaient mentre que els seguidors del mètode Galton-Henry van anar augmentant.

7. Biometria, cinema i art

En aquest apartat es comenta la influència dels avenços biomètrics en el cinema. I també es fa menció de com es pot usar la biometria per a decidir l'autoria d'una obra d'art que fins al moment es considerava d'autor desconegut.

7.1. El cinema de la biometria

El cinema sempre ha evolucionat juntament amb la ciència, de vegades avançant-s'hi i predient, d'altres, inventant i, d'altres, simplement mostrant la realitat. El 1951 ja ens trobem amb la pel·lícula *Fingerprints don't lie* dirigida per Sam Newfield (figura 19a). En aquesta pel·lícula, les ditudes no sols eren en el títol, sinó que eren l'argument principal de la pel·lícula. Malgrat semblar una prova irrefutable, les ditudes resulten ser falses i el policia, que tenia els coneixements per a falsificar-les, es demostra que és l'assassí.

Uns anys més tard, la ciència continua evolucionant i així també ho mostra el cinema. L'any 1968, Stanley Kubrick dirigeix una de les pel·lícules considerades més influents de la ciència-ficció, *2001: Una odissea de l'espai* (*2001: A Space Odyssey*) (figura 19b). L'ordinador de la nau espacial, que es diu *HAL*, és capaç de veure les cares de les persones i deduir el que estan dient només llegint-ne el moviment dels llavis. Kubrick, l'any 1968, pensava que l'any 2001 una màquina seria capaç de llegir els llavis de les persones. Avui en dia, encara no ho hem aconseguit.

Figura 19. Primeres mostres de biometria al cinema

a.



b.



a. Cartell de la pel·lícula *Fingerprints don't lie*. b. Fotogrames de la pel·lícula *2001: Una odissea de l'espai* (*2001: A Space Odyssey*)

El 1971 apareix *Diamants per a l'eternitat* (*Diamonds are forever*), dirigida per Guy Hamilton. Tiffany Case reactiva una ditada en un got, la fotografia, l'escaneja i descobreix que James Bone és Peter Franks. Però Q es fa passar per James Bone amb un dit fals (figura 20).

Figura 20. Fotogrames de la pel·lícula *Diamants per a l'eternitat* (*Diamonds are forever*)



I ja cap a la dècada de 1980, apareixen els reconeixadors d'iris i el cinema se'n fa ressò. Dos exemples en són *Blade Runner*, 1982 (figura 21), dirigida per Ridley Scott, en què l'estudi de l'iris serveix per a identificar si la "persona" ha estat creada en una fàbrica.

Figura 21. Fotograma de la pel·lícula *Blade Runner*



I el clàssic de la ciència-ficció, *Star Trek 2: La còlera del Khan* (*Star Trek II: The Wrath of Khan*), de 1982, dirigida per Nicholas Meyer (figura 22), en què s'identifiquen persones per la retina.

Figura 22. Fotogrames de la pel·lícula *Star Trek 2: La còlera del Khan* (*Star Trek II: The Wrath of Khan*)



El 1997, s'estrena *Alien: Resurrection* de Jean-Pierre Jeunet (figura 23a). En aquesta pel·lícula un ordinador demana al comandant de la nau que s'identifiqui, el comandant li tira l'alè, la màquina contesta identificació correcta i obre una porta de seguretat. En una escena posterior una noia intenta obrir la mateixa porta, i quan la màquina li demana que s'identifiqui, la noia treu una pila d'ampolles amb líquid (com un lladre que porta una pila de claus) ruixa el sensor amb l'esprai d'una ampolla, la màquina contesta identificació incorrecta, ho torna a provar amb una altra ampolla i la màquina ja la saluda amb el nom del comandant i li obre la porta.

A *Gattaca*, de 1997, dirigida per Andrew Niccol (figura 23b), s'identifica l'ADN per esbrinar si les persones són lliures de malalties o tares. Aquesta pel·lícula és interessant des del punt de vista ètic, ja que mostra la biometria per a la selecció de les persones.

Gattaca

Paraula formada per les inicials de les bases amb les quals està format l'ADN: adenina (A), guanina (G), timina (T) i citosina (C).

Figura 23



a. Fotografia de la pel·lícula *Alien: Resurrection*. b. Cartell de la pel·lícula *Gattaca*

I ja centrant-nos en el mil·lenni actual, *Missió: Impossible II* (*Mission: Impossible II*), del 2000, dirigida per John Woo (figura 24), usen un identificador de retina per a llegir la missió, un reconeixedor facial per a identificar John McCloy i un reconeixedor del parlador és falsejat usant una gravació.

Figura 24. Fotogrames de la pel·lícula *Missió: Impossible II* (*Mission: Impossible II*)



En la pel·lícula *Minority Report*, del 2002, dirigida per Steven Spielberg (figura 25), s'usa la identificació de les persones a partir de l'iris per a portar a terme publicitat personalitzada. És un altre exemple d'intrusisme.

I també un bon clàssic, *Jo, robot* (*I, robot*), del 2004, dirigida per Alex Proyas (figura 26), ens mostra un control d'accés basat en el costat del puny i un identificador del parlador per a accedir a fitxers.

Figura 26. Fotogrames de la pel·lícula *Jo, robot* (*I, robot*)

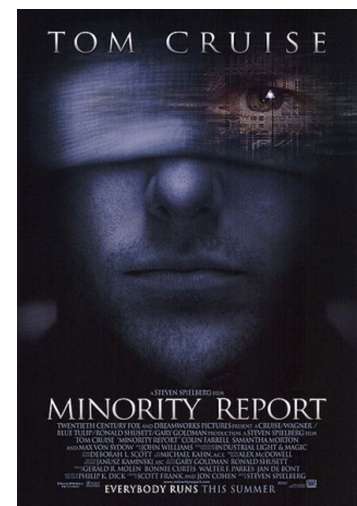
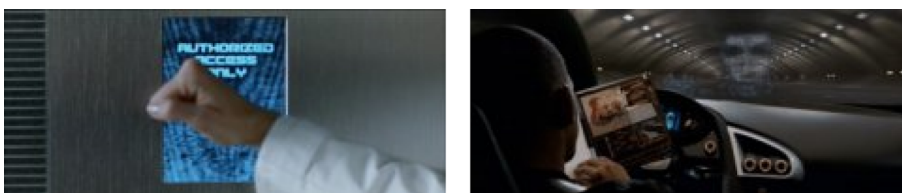


Figura 25. Fotogrames de la pel·lícula *Minority Report*

I finalment, el 2009, el llibre *Àngels i dimonis* (*Angels & demons*), escrit per Dan Brown (figura 27), portada a la pantalla de la mà de Ron Howard. En aquest cas, el malfactor aconsegueix emportar-se l'antimatèria arrencant l'ull del científic que la custodia. Si hi haguessin instal·lat un sensor d'iris amb detector de vida no hauria passat.

En la taula 7 es mostra un resum de les pel·lícules i el tret biomètric usat. Com es pot veure, n'hi ha una varietat important.

Taula 7. Relació de pel·lícules amb el tret biomètric de què tracten

Any	Títol	Director	Biometria
1951	<i>Fingerprints don't lie</i>	Sam Newfield	Ditada
1968	<i>2001: Una odissea de l'espai (2001: A space odyssey)</i>	Stanley Kubrick	Parlador
1971	<i>Diamants per a l'eternitat (Diamonds are forever)</i>	Guy Hamilton	Ditada
1982	<i>Blade Runner</i>	Ridley Scott	Iris
1982	<i>Star Trek 2: La còlera del Khan (Star Trek II: The Wrath of Khan)</i>	Nicholas Meyer	Retina
1997	<i>Alien: Resurrection</i>	Jean-Pierre Jeunet	Alè
1997	<i>Gattaca</i>	Andrew Niccol	ADN
2002	<i>Minority report</i>	Steven Spielberg	Iris
2000	<i>Missió: Impossible II (Mission: Impossible II)</i>	John Woo	Retina
2004	<i>Jo, robot (I, robot)</i>	Alex Proyas	Costat del puny Parlador
2009	<i>Àngels i dimonis (Angels & demons)</i>	Ron Howard	Iris



Figura 27. Fotografemes de la pel·lícula *Àngels i dimonis* (*Angels & Demons*)

7.2. Biometria i art

En la figura 28 mostrem una imatge d'un quadre que fins ara es considerava d'autor desconegut i que es coneix com a *The beautiful Princess*. L'any 2007 es va vendre per 19.000 \$ a una galeria d'art de Nova York per un col·leccionista anònim suís. No obstant això, ara es considera que va ser pintat per Leonardo da Vinci i té un preu superior als 150 milions de dòlars. Això es deu al fet que s'ha trobat una ditada d'aquest artista en el quadre.

Figura 28. La ditada de l'artista

a.**b.****a.** Reproducció del quadre *The beautiful Princess*. **b.** Detall de la ditada que podria ser de Leonardo da Vinci

8. Reflexions sobre una societat biomètrica

A l'Estat espanyol no hi ha una llei específica per a regular l'ús de la biometria. La normativa més propera és la Llei de protecció de dades personals. A França, i també algun altre país, hi ha la Comissió Nacional d'Informàtica i Llibertat (CNIL) que autoritza l'ús de la identificació biomètrica només si la finalitat de la identificació és el control d'accés d'un nombre limitat de persones a una zona ben determinada (zona real, per exemple, una instal·lació nuclear, o zona virtual, per exemple, uns servidors militars), la seguretat de la qual interessa no sols al propietari d'aquesta zona, sinó també a la resta dels habitants. A més, exigeix que qui instal·li un identificador biomètric garanteixi la protecció de les dades.

A l'Estat espanyol hi ha diversos centres públics o privats, per exemple piscines, que estan instal·lant sistemes d'accés basats en la ditada. Seguint aquesta línia de raonament, a França no es permetrien aquestes instal·lacions.

Serà la biometria un factor important a les nostres vides en el futur? Per descomptat. I per això, el ciutadà ha d'estar informat dels aspectes més importants relacionats amb la biometria, tant des del punt de vista tecnològic, com legislatiu o ètic. Perquè així estarà capacitat per a opinar i les seves idees serviran per a influir en els canvis socials que la implantació de les tècniques biomètriques provoquin.

Molts articles marquen els tristos esdeveniments de l'11 de setembre del 2001 com el tret de sortida de la biometria. És cert que la inversió en aquestes tècniques va tenir un punt d'inflexió important el 2001. Els ingressos generats pels sistemes biomètrics van passar de 400 milions de dòlars aquell any als 5.000 milions l'any 2010. No obstant això, no hem d'oblidar que el sistema d'identificació de ditades de Scotland Yard anomenat *Galton-Henry* va ser posat en marxa l'any 1900. I sabem que els egipcis feien servir descripcions biomètriques per a identificar els treballadors. Si la biometria fa tant de temps que està inventada, perquè ara se'n parla tant? La diferència no sols és quantitativa, sinó qualitativa. Perquè ara, si vols viure dins de la societat, estaràs obligat a usar-la. No podràs dir això no m'interessa perquè, si ho fas, seràs un marginat de la societat i no tindràs accés a cap servei que et pugui proporcionar. I per això, s'ha d'entendre que és una societat amb tecnologia biomètrica.

En la majoria d'estats s'estan creant bases de dades amb informació biomètrica amb l'objectiu de garantir la seguretat dels ciutadans. L'FBI administra el sistema de reconeixement de ditades anomenat *integrated automated fingerprint identification system* amb cinquanta milions de possibles criminals amb la se-

Referència bibliogràfica

Aquest apartat ha estat extret, en part, de la publicació presentada en el diari *Avui*, del 3 de juliol del 2010, "Una societat biomètrica".

CNIL

L'any 2000, la CNIL va prohibir un sistema d'identificació d'alumnes perquè accedissin al menjador a una escola de Niça, malgrat que els pares i els alumnes hi estaven d'acord. La CNIL va considerar que la seguretat de l'accés al menjador no era prou important per a instal·lar-hi un sistema tan invasiu.

va informació biomètrica i la seva història criminal. La tendència és clara; les bases de dades aniran creixent tant en nombre d'individus com en el volum d'informació de cada individu.

Ens han de preocupar aquestes bases de dades? Com resa la dita, “la informació és poder”, però quina informació aporten aquestes dades? Ens ha de preocupar que la base de dades hagi emmagatzemat que jo tinc una ditada tipus llaç al dit índex? I si emmagatzema el meu ADN? En aquest punt és important discernir entre identitat i identificació.

La **identitat** és la personalitat de cada persona, un sistema complex en construcció permanent que extreu la seva riquesa de la multiplicitat de les seves característiques físiques, psíquiques, socials o culturals. La **identificació** és un conjunt de caràcters únics per cada persona i assignats d'una manera gairebé arbitrària.

Ens hauria de preocupar l'emmagatzematge de la nostra identitat però no de la nostra identificació. De la informació de les nostres ditades, en podem extreure una identificació gairebé única. Però se'n pot treure la identitat? En el cas de la ditada, avui en dia sembla difícil, però què passa amb l'ADN? No oblidem la pel·lícula *Gattaca* (1997), en què és possible la selecció genètica de manera que els fills es veuen lliures de malalties i això implica que només els genèticament correctes poden optar als millors llocs de treball. La ciència acumularà els coneixements necessaris per arribar a aquesta situació social? No és clar, però el que és segur és que la humanitat té desig de ciència i que això ens fa diferents dels altres animals, i la història ha demostrat que és inútil intentar-la aturar.

La utilització de la biometria sembla presentar avantatges pràctics per al ciutadà i econòmics per a les empreses. No obstant això, la generalització de la biometria en tots els camps pot constituir un perill real pel respecte a la vida privada. Ens trobem en una disjuntiva que la societat ha de ser capaç de solucionar. Sortosament, s'estan creant organismes independents i internacionals que controlen l'ús abusiu de la informació biomètrica. Un cas concret n'és la ja comentada CNIL a França. La ciència avança per solucionar els problemes tècnics que apareixen. Les legislacions es van adaptant per incorporar els conceptes biomètrics. Quan i on confluïran? El repte no és acceptar o no la biometria, sinó ser capaços de conviure-hi en pau.

DNI

Quan el dictador Franco va crear el document nacional d'identitat (DNI) el 1944 es va equivocar amb el nom, ja que s'hauria d'haver dit d'identificació.

Resum

En aquest mòdul hem descrit els trets biomètrics usats actualment i hem descrit les característiques principals que han de tenir perquè siguin útils en certes aplicacions. Hem vist que no tots els trets biomètrics poden ser usats en qualsevol aplicació. Hi ha trets biomètrics que s'adapten millor a uns tipus d'aplicacions i d'altres que s'adapten a d'altres tipus d'aplicacions.

Hem descrit els tres sistemes biomètrics bàsics: identificació, verificació i matriculació. Hem vist que tenen característiques que els distingeixen però disposen de parts o processos comuns.

També s'han descrit els tipus d'aplicacions reals biomètriques.

Hem acabat el mòdul explicant una mica d'història de la biometria, comentant pel·lícules de cinema i reflexionant sobre l'impacte que aquesta ciència, antiga però ara molt emergent, tindrà sobre la societat.

Activitats

1. Preneu les mesures de Bertillon a dues persones, acabeu d'emplenar la taula 8 (en centímetres). Empleneu la taula 9 amb les distàncies euclidianes i decidiu quin és el valor màxim que ha de tenir el llindar de Bertillon perquè es considerin les quatre persones diferents. Ara suposem que Will West i William West eren realment la mateixa persona com es va creure al principi. Quin valor mínim i màxim ha de tenir el llindar?

Taula 8. Fitxa de Bertillon

Part del cos	Will West	William West	Persona 1	Persona 2
Alçada	178,5	177,5		
Amplària del braç	187,0	188,0		
Alçada assegut	91,2	91,3		
Llargària del cap	19,7	19,8		
Amplària del cap	15,8	15,9		
Llargària de l'orella dreta	14,8	14,8		
Amplària de l'orella dreta	6,6	6,5		
Llargària del peu esquerre	28,2	27,5		
Llargària del dit del mig esquerre	12,3	12,2		
Llargària del dit petit esquerre	9,7	9,6		
Llargària de l'avantbraç esquerre	50,2	50,3		

Taula 9. Distàncies euclidianes

Distància	Will West	William West	Persona 1	Persona 2
Will West	0			
William West		0		
Persona 1			0	
Persona 2				0

2. Quin tant per cent d'ingressos aporta el reconeixement de la ditada respecte dels altres trets biomètrics? I quin és el segon tret biomètric?

3. Els ingressos dels sistemes biomètrics des del 2007 fins al 2015 (previsió en els últims anys) respecte del temps és una funció lineal. Quin pendent té? Si es mantenen les prediccions, quins ingressos representaran el 2020?

4. Expliqueu les diferències que hi ha entre el sistema de verificació i el sistema d'identificació. Quan s'usa l'un i quan s'usa l'altre. Els algorismes per a comparar trets biomètrics poden ser molt costosos temporalment. Per aquest motiu, és usual utilitzar algorismes subòptims que troben una distància molt ràpidament però que pot ser que no obtinguin la distància exacta. En quin dels casos és important usar un algorisme subòptim?

5. Expliqueu en què consisteix la matriculació. Normalment, en els sistemes de matriculació hi ha un encarregat que verifica les dades i tot el procés de captura dels trets biomètrics. Per què és tan important comprovar que aquest procés es faci correctament? Relacioneu aquest fet amb els tipus d'errors possibles: falses acceptacions o falsos rebutjos.
6. Quins són els sis processos relacionats amb els sistemes de verificació, identificació i matriculació?
7. Descriviu una aplicació real que usi un sistema fora de línia i una altra que usi un sistema en línia.
8. Expliqueu la diferència entre els dos tipus possibles de cerques: positives i negatives. Descriviu un parell d'aplicacions reals que siguin dels dos tipus.
9. Descriviu i relacioneu la universalitat i la particularitat.
10. Descriviu i relacioneu la permanència i que sigui mesurable.
11. Descriviu i relacioneu el rendiment i l'acceptabilitat.
12. Confeccioneu una taula en què es mostrin tots els trets biomètrics classificats per la part del cos on es troben. Descriviu-ne la característica principal i una aplicació real en què podrien ser usats.
13. Quina diferència hi ha entre els trets biomètrics de comportament i els trets biomètrics físics?
14. Estudieu en detall les taules en què es mostra la bondat dels trets biomètrics. Les valoracions són molt suggestives, hi ha alguna valoració que canviaria? Tingueu en compte els comentaris que hi ha després de totes les taules. Quines valoracions creieu que canviaran d'aquí a deu anys?
15. Descriviu els tipus de context que hi ha en les aplicacions biomètriques. Exemplifiqueu cada opció amb una aplicació real.
16. Descriviu els tipus de categories horitzontals que hi ha en les aplicacions biomètriques. Exemplifiqueu cada opció amb una aplicació real.
17. Descriviu els tipus de categories verticals que hi ha en les aplicacions biomètriques.
18. Des de quan es pot considerar que la biometria s'aplica per a la identificació de les persones? Expliqueu-ne el primer cas.
19. Creieu que els casos comentats anteriors al segle XI d'existència de possibles trets biomètrics són realment aplicacions biomètriques per a la identificació de les persones?
20. En què consistia la frenologia? Creieu que és una ciència?
21. En què consistia l'antropologia? Creieu que és una ciència?
22. Descriviu el primer sistema biomètric posat en funcionament. Quin tret biomètric usava? Servia per a identificar o per a verificar?
23. Creieu que és correcte aplicar un sistema biomètric per accedir a una escola? I per identificar persones a zones conflictives o de guerra? Creieu que hi ha d'haver una comissió especial que decideixi si es pot implantar o no un sistema biomètric? A escala estatal o continental o mundial?

Abreviatures

AFIS *Automatic fingerprint identification system* ('sistema d'identificació automàtic de dades')

FVC *Fingerprint Verification Competition*

IVC *Iris Verification Competition*

Bibliografia

- Bhanu, Bir; Chen, Hue** (2008). *Human ear recognition by computer*. Editorial Springer.
- Chen, C. H.** (2010). *Handbook of pattern recognition and computer vision*. Editorial Springer.
- Duda, Richard; Hart, Peter; Stork, David** (2001). *Pattern classification*. Editorial Wiley.
- Escolano, Francisco; Suau, Pablo; Bonev, Boyán** (2009). *Information theory in computer vision and pattern recognition*. Editorial Springer.
- Jain, Anil; Bolle, Ruud; Pankanti, Sharath** (1999). *Biometrics. Personal identification in networked society*. Editorial Kluweer Academic Publishers.
- Jain, Anil; Flynn, Patrick; Ros, Arun** (editors) (2008). *Handbook of biometrics*. Editorial Springer.
- Jebara, Tony** (2004). *Machine learning. Discriminative and generative*. Editorial Kluweer Academic Publishers.
- Li i altres** (2005). *Handbook of face recognition*. Editorial Springer.
- Maltoni, Davide; Maio, Dario; Jain, Anil; Prabhakar, Salil** (2009). *Handbook of fingerprint recognition*. Editorial Springer.
- Nanavati, Samir; Thieme, Michael; Nanavati, Raj** (2002). *Biometrics. Identity verification in a networked world*. Editorial Wiley Computer Publishing.
- Nixon, Mark; Tan, Tieniu; Chellappa, Rama** (2006). *Human identification based on gait*. Editorial Springer.
- Pekalska; Elzbieta; Duin, Robert** (2005). *The dissimilarity representation for pattern recognition*. Editorial World Scientific.
- Ross, Arun; Nandakumar, Karthik; Jain, Anil** (2006). *Handbook of multibiometrics*. Editorial Springer.
- Roy, Kaushik; Bhattacharya, Prabir** (2008). *Iris recognition. A machine learning approach*. Editorial Verlag Dr. Muller.
- Szeliski, Richard** (2011). *Computer vision: algorithms and applications*. Editorial Springer.
- Wayman, James; Jain, Anil; Maltoni, Davide; Maio, Dario** (editors) (2005). *Biometric systems. Technology, design and performance evaluation*. Editorial Springer.
- Zhang, David** (2000). *Automated biometrics. Technologies and systems*. Editorial Kluweer Academic Publishers.
- Zhang, David** (2004). *Palmprint authentication*. Editorial Kluweer Academic Publishers.