



UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI

Facultat de Química

Treball de fi
de màster

**El món a les
nostres
mans**

Antonio Ramón Romeu
Figuerola

Andrea Castilla Angulo

Juny 2018

Treball de fi de Màster presentat a la Facultat de Ciències, al Departament de Bioquímica i Biotecnologia de la Universitat Rovira i Virgili. ₁

M'agradaria nombrar al meu tutor Antoni Romeu. Agrair-te la teva col·laboració, predisposició i donar-te les gràcies pel treball que comporta dirigir i organitzar un màster. Per estar sempre disposat a escoltar noves idees i sobretot per l'acompanyament personal al llarg d'aquest any.

A més a més, m'agradaria mencionar al cos de la Policia Nacional de Barcelona, particularment al Sr. German de la Fuente Lupion, Inspector Cap de la Secció de Criminalística. Agrair-li la cooperació amb el màster i particularment amb mi i el meu treball, gràcies per les hores invertides i per la paciència. I sobretot un gràcies ben gran, per descobrir-me i reafirmar-me que el món de la científica és el meu lloc. Gràcies.



RESUM I ABSTRACT

Les empremtes dactilars s'han reforçat en la nostra societat com un codi de barres que identifica a cadascun dels individus que formen part de l'espècie humana. És per aquest motiu que són la prova més valuosa pels investigadors i científics d'aquesta àrea.

El present treball pretén endinsar-se, encara que sigui amb certa mesura, en el món de la investigació criminal. Més concretament, en l'àmbit de les empremtes dactilars i de com aquestes són una eina valuosa per la justícia penal. Certament, un estudi de les empremtes dactilars ens portarà a descobrir els diferents mètodes i sistemes que s'han utilitzat al llarg de la història per a la seva classificació, i a la detecció dels trets característics (minúcies) de cada empremta dactilar per a la posterior identificació.

Però, per què són singulars i úniques les empremtes dactilars? Estan determinades en els nostres gens? Existeixen dues empremtes dactilars iguals?

The fingerprints have been reinforced in our society as a bar code that identifies each one of the individuals that are part of the human species. That is why they are the most valuable test for researchers and scientists in this area. The present work intends to enter, albeit to a certain extent, in the world of criminal investigation. More specifically, in the field of fingerprints and how these are a valuable tool for criminal justice. Certainly, a study of fingerprints will lead us to discover the different methods and systems that have been used throughout history for their classification, and the detection of the characteristic features (minorities) of each fingerprint for the later identification

But, why are fingerprints unique and unique? Are they determined in our genes? Are there two equal fingerprints? Are there two equal fingerprints?

ÍNDIX

1. ANATOMIA I FISIOLOGIA DE LA CRESTA DE FRICCIÓ EN LA PELL.....	6
1.1. MORFOLOGIA EXTERNA DE LA CRESTA DE FRICCIÓ EN LA PELL.....	6
1.2. ANATOMIA GENERAL DE LA PELL.....	7
1.2.1. Estructura de la cresta de fricció en la pell.....	7
1.2.2. Envelliment de la cresta de fricció en la pell.....	8
1.2.3. Cicatrització de les ferides.....	8
1.2.3.1. La superfície exterior de les cicatrius i les impressions resultants.....	9
1.2.3.2. Singularitat de les cicatrius.....	9
1.2.3.3. Comparació de les impressions que contenen cicatrius.....	10
2. EMBRIOLOGIA I MORFOLOGIA DE LA PELL DE LES CRESTES DE FRICCIÓ.....	10
2.1. FORMACIÓ DEL COIXÍ PALMAR.....	11
2.2. FORMACIÓ DEL PATRÓ.....	11
2.2.1. Coixí simètric.....	12
2.2.2. Coixí asimètric.....	12
2.3. ESTUDIS FAMILIARS.....	13
2.3.1. Estudis antropològics.....	13
2.3.2. Singularitat: Interferència de desenvolupament.....	14
3. SISTEMES DE CLASSIFICACIÓ DE LES CRESTES DE FRICCIÓ.....	14
3.1. INICIS DE LA CLASSIFICACIÓ.....	15
3.1.1. Johannes Evangelist Purkinje.....	15
3.1.2. Dr Henry Faulds.....	15
3.1.3. Sr Francis Galton i la classificació tripartida.....	16
3.2. NAIXEMENT DELS SISTEMES DE CLASSIFICACIÓ MODERNS.....	17
3.2.1. Juan Vucetich i el sistema argentí.....	17
3.2.2. Sr Edward Henry.....	18
3.3. AUTOMATITZACIÓ PER ORDINADOR.....	19
3.3.1. Investigació automatitzada del FBI.....	19
4. SISTEMA AUTOMATITZAT D'IDENTIFICACIÓ D'EMPREMTE DACTILARS (SAID)....	20
4.1. FUNCIONS TÈCNiques.....	21
4.2. DIGITALITZACIÓ I PROCESSAMENT D'EMPREMTE DACTILARS.....	22
4.2.1. Algoritmes.....	22
4.2.2. Adquisició de la imatge.....	23
4.2.3. Millora de la imatge.....	25

4.2.3.1. Millora de les impressions latents per la recerca del SAID.....	26
4.2.3.2. Millora automàtica de les imatges d'empremtes dactilars.....	26
4.2.4. Extracció de les característiques.....	27
4.2.5. Emparellament.....	28
4.2.6. Recuperació.....	29
5. DESENVOLUPAMENT DE LA IMPRESSIÓ LATENT.....	30
5.1. TIPUS D'IMPRESSIONS.....	31
5.2. TIPUS DE SUPERFÍCIES.....	31
5.3. SELECCIÓ DEL PROCÉS.....	32
5.4. MANIPULACIÓ DE L'EVIDÈNCIA.....	32
5.5. EMMAGATZEMATGE.....	32
5.6. COMPOSICIÓ DEL RESIDU D'IMPRESSIÓ LATENT.....	33
5.6.1. Residu de la Impressió Latent.....	33
5.7. POLS D'IMPRESSIÓ LATENT.....	34
5.7.1. L'aplicació de diferents tipus de pols.....	34
6. PROCÉS D'EXAMINACIÓ.....	37
6.1. NIVELLS DE DETALLS DE LES IMPRESSIONS.....	38
6.1.1. Detalls del primer nivell.....	38
6.1.2. Detalls del segon nivell.....	38
6.1.3. Detalls del tercer nivell.....	38
7. EQUIPS.....	40
7.1. EQUIP DEL LLOC DELS FETS.....	40
7.1.1. Fonts d'il·luminació.....	40
7.1.2. Aplicadors de pols per empremtes dactilars.....	40
7.1.3. Targetes de suport d'empremtes dactilars i material d'un kit forense... 40	
7.1.3.1. Targetes de suport d'impressions latents i targetes decadactilars.....	40
7.1.3.2. Cinta d'aixecament.....	41
7.1.3.3. Material de modelat.....	41
7.1.3.4. Càmeres.....	41
7.1.3.5. Elements addicionals.....	42
7.2. EQUIP DE LABORATORI.....	42
8. CONCLUSIONS.....	43
9. BIBLIOGRAFIA.....	44

El palmell de les mans i les plantes dels peus de cada persona són característics de cadascú que la singularitzen de totes les altres persones en el món. Aquestes característiques estan presents en les crestes de fricció de la pell, la qual deixa impressions de les seves formes quan entra en contacte amb un objecte i/o superfície. Les impressions de les articulacions dels dits es coneixen com a empremtes dactilars. L'ús de les empremtes dactilars per identificar a les persones s'ha convertit en una pràctica comú i en una eina en tot el món.

1. ANATOMIA I FISIOLOGIA DE LA CRESTA DE FRICCIÓ DE LA PELL

L'anatomia i la fisiologia expliquen com persisteixen les característiques de la pell, com respon la pell a les ferides i per què les cicatrius que es formen són úniques. Entendre com la cresta de fricció en la pell reacciona quan contacta amb una superfície ens pot donar una ajuda molt valuosa durant la revisió de les impressions de la cresta de fricció.

1.1. MORFOLOGIA EXTERNA DE LA CRESTA DE FRICCIÓ DE LA PELL

La morfologia externa de la cresta de fricció de la pell és un reflex directe de la seva funció. Les crestes papil·lars són glàndules de secreció de suor, situades en la dermis, anomenades glàndules sudorípares. Un cop la suor surt, es vessa per totes les crestes i es mescla amb la grassa natural de la pell, el que dóna lloc a que, quan es toqui o es manipuli un objecte apte per la retenció d'empremtes, les crestes deixin una impressió en ell. Per una banda les crestes, plecs i cicatrius madures de la cresta de fricció de la pell són característiques morfològiques durables. Per altra banda les berrugues, arrugues, ampolles, talls i calls també poden aparèixer en la cresta de fricció de la pell i són amb freqüència característiques morfològiques transitòries. La anatomia i la fisiologia d'una característica determina si aquesta és duradora o transitòria per naturalesa. La **Figura 1** es correspon a un palmell de la mà que mostra la morfologia normal de la cresta de fricció en la pell.



Figura 1. Cresta de fricció en la pell del palmell. Font de la referència¹.

1.2. ANATOMIA GENERAL DE LA PELL

La pell és un òrgan compost de tres capes anatòmiques: la epidermis, la dermis i la hipodermis. Aquestes capes anatòmiques juntes funcionen per proveir al cos de: una barrera protectora, de regular la temperatura corporal, la sensació, l'excreció, la immunitat, la reserva sanguínia i la síntesi de vitamina D.

La capa externa de la pell s'anomena epidermis. La epidermis prevé la pèrdua d'aigua a través de la evaporació, actua com un òrgan receptor i prové una barrera protectora per teixits subjacents.

La dermis és una capa de teixit connector que suporta la epidermis. Composada per una xarxa de cèl·lules, fibres, vasos sanguinis, material gelatinós, que en conjunt aporten un recolzament estructural i nutrients a la epidermis. La dermis actua com a reserva sanguínia i participa en la recepció sensorial i la regulació de la temperatura.³

La hipodermis es troba per sota de la dermis i és un teixit connector solt que conté un panell de cèl·lules adiposes (grassa) que contorna el cos i actua com una reserva d'energia. Les fibres enllacen la epidermis a la dermis i la dermis a la hipodermis.

1.2.1. Estructura de la cresta de fricció de la pell

Les crestes i solcs papil·lars de la cresta de fricció de la pell es troben en la dermis mitjançant les crestes primàries (crestes sota la superfície) i les crestes secundàries (sota els solcs). La **Figura 2** il·lustra la estructura de la cresta de fricció en la pell. Les crestes primàries són la primera evidència visual de la interacció de la dermis i epidermis. Les crestes primàries i secundàries es troben interconnectades amb la dermis per proporcionar-li recolzament i força a la cresta de fricció en la pell. Addicionalment, les glàndules sudorípares s'estenen des de les crestes primàries i es troben en la dermis o en la hipodermis.

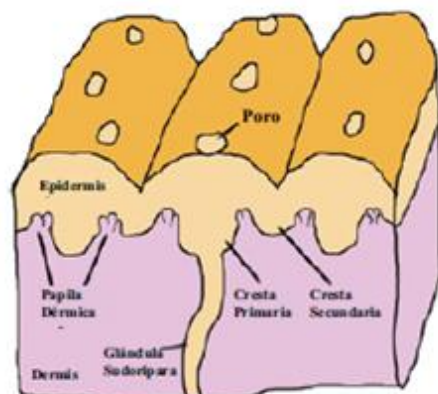


Figura 2. Estructura de la cresta de fricció en la pell. Font de la referència¹.

La epidermis es descriu com un epiteli estratificat, contínuament en renovació. Es compon de molts tipus diferents de cèl·lules: queratinòcits, melanòcits, cèl·lules de Langerhans, cèl·lules de Merkel, entre d'altres. Les cèl·lules principals de la epidermis són els queratinòcits. Aquests representen el 90-95% de les cèl·lules epidermiques. Se sap que els queratinòcits canvien de composició química a mesura que arriben a la superfície, tot i que es distingeixen per la presència de filaments intermitjos de queratina (que proporcionen suport estructural).

La dermis és el teixit connector que suporta la epidermis i la uneix a la hipodermis. Aquesta es compon de dues capes: la capa papil·lar i la capa reticular.

Sota de la dermis hi ha una transició abrupta en el teixit adipós de la hipodermis. La dermis i la hipodermis es connecten físicament a través de les fibres interconnectades i comparteixen vasos sanguinis i xarxes nervioses.

1.2.2. Envel·liment de la cresta de fricció en la pell

Tot i que les crestes de fricció de la pell són duradores, també pateixen canvis subtils quan una persona envulleix. La disposició de les crestes de fricció no canvia; les crestes i solcs mantenen la seva posició en la pell. L'edat avançada té dos efectes sobre la cresta de fricció de la pell: 1) les crestes de la superfície tendeixen a aplanar-se fent que semblin "menys fortes" i 2) la pèrdua d'elasticitat de la dermis fa que la pell es torni més flàccida i s'arrugui.

1.2.3. Cicatrització de les ferides

Les crestes de fricció de la pell persisteixen al llarg de la vida de l'individu (duradores). La morfologia de les crestes de fricció pot alterar-se només si la plantilla de queratinòcits basals s'altera. Les **Figures 4 i 6** són diagrames d'un model de pell que demostra la resposta cel·lular dels queratinòcits a una ferida. La **Figura 3** mostra la pell intacta i la **Figura 4** mostra la pell després d'una lesió.¹

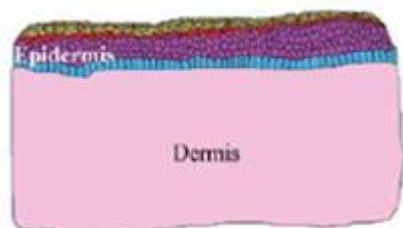


Figura 3. Capa de queratinòcits intacta.
Font de la referència¹.

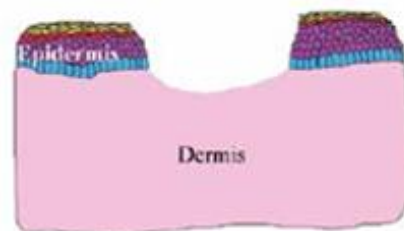


Figura 4. Pell lesionada. Font de la referència¹.

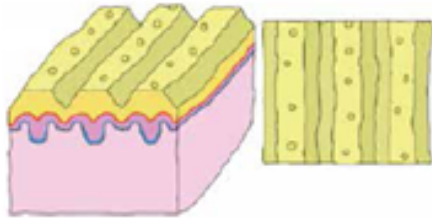


Figura 5. Cresta de fricció en la pell intacta. Font de la referència¹.

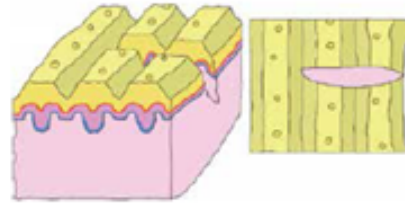


Figura 6. Cresta de fricció en pell lesionada. Font de la referència¹.

1.2.3.1. La superfície exterior de les cicatrius i les impressions resultants

La formació de cicatrius explica el que es veu en la pell i consegüentment en les impressions que deixa la pell. Les cicatrius poden aparèixer com buides o poden contenir buits parcials, en una impressió deguda a que tota o part de la epidermis que s'ha format novament s'assenta per sota del nivell de les crestes de la superfície. Al igual que les crestes de fricció, les cicatrius són estructures tridimensionals amb contorns superficials i vores. Tal com les crestes, les característiques de les cicatrius tindran alguna variació en aparença, depenent de la pressió de disposició i moviment. La **Figura 7** es tracta d'una imatge d'un dit amb una cicatriu madura i una impressió entintada del mateix dit.

Figura 7. Cicatriu madura en la pell de la cresta de fricció i la impressió resultant. Font de la referència¹.



1.2.3.2. Singularitat de les cicatrius

Les cicatrius són úniques per la mateixa raó que la cresta de fricció també ho és. Quan s'estan formant les crestes de fricció en el fetus i quan els queratinòcits basals s'activen es troben sota la influència de la interferència en el desenvolupament. Les cèl·lules proliferen ràpidament i s'encarreguen de la formació de la pell fetal o de reconstruir la pell lesionada.¹

Aquestes cèl·lules són guiades, però no se li donen instruccions específiques sobre la seva posició en la epidermis. En el cas d'una lesió, les cèl·lules ràpidament

proliferen i migren. Cal destacar que dues lesions no poden duplicar la mateixa cicatriu.

1.2.3.3. Comparació de les impressions que contenen cicatrius

Com s'ha mencionat anteriorment les cicatrius són úniques i persistents. Quan es pren una impressió de la pell, les característiques de la cicatriu es reproduiran amb diferents nivells de claredat, veure capítol 6.1. Nivells de detalls de les impressions. La claredat del detall en la impressió pot revelar la configuració global de la cicatriu, la posició en la pell, i les formes detallades de la cicatriu. Aquest detall fa a la cicatriu en si mateixa útil en l'examinació d'impressions de crestes de fricció.

En conclusió, la persistència de les crestes de fricció de la pell s'explica per les adhesions físiques de la pell i per la substitució de cèl·lules perdudes en la superfície de la pell. La naturalesa persistent de la pell la fa un tret antropològic ideal per a l'ús d'identificació d'individus. Malgrat la seva durabilitat, la cresta de fricció està subjecta a lesions i a l'envelliment. Els processos d'envelliment són particularment crítics quan s'explica la pèrdua de detalls minúsculs al llarg de les vores de les crestes i l'existència d'arrugues. La resposta de la pell a una lesió i al manteniment posterior de la nova pell formada (cicatriu) proveeix la base per a les característiques singulars i persistència de les cicatrius. La singular i persistent naturalesa de les cicatrius ens permet el seu ús durant l'examinació de les impressions de les crestes de fricció. La manera en què les lesions de la pell es curen proporcionen una explicació per la variació en aparença en la impressió de la pell abans i després de la lesió.

2. EMBRIOLOGIA I MORFOLOGIA DE LA PELL DE LES CRESTES DE FRICCIÓ

La pell de les crestes de fricció tenen trets singulars que persisteixen des del naixement fins la descomposició després de la mort. Al tenir contacte amb una superfície els trets singulars de les crestes de fricció poden deixar una impressió d'aquests. Dues impressions poden ser analitzades, comparades i avaluades si hi ha una suficient quantitat i qualitat en una àrea corresponent d'ambdues impressions, i posteriorment un examinador pot efectuar una individualització o exclusió (identificar o excloure a un individu).

2.1. FORMACIÓ DEL COIXÍ PALMAR

Els coixins palmars són unes inflamacions transitòries de teixits que es troben sota de la epidermis en la superfície dels palmells de les mans i plantes dels peus del fetus humà.

Els coixins interdigitals apareixen per primera vegada, al voltant de les 6 setmanes. Aproximadament a les 7-8 setmanes, els coixins palmars comencen a desenvolupar-se en les puntes dels dits, començant pel polze i arribant cap al dit petit, com es pot observar en les **Figures 8 i 9**.^{4 5}



Figura 8. Imatge vista amb el SEM (microscopi electrònic de rastreig d'una mà d'un fetus on s'observen prominents coixinets en dígits (dits) i palma. Font de la referència⁵.

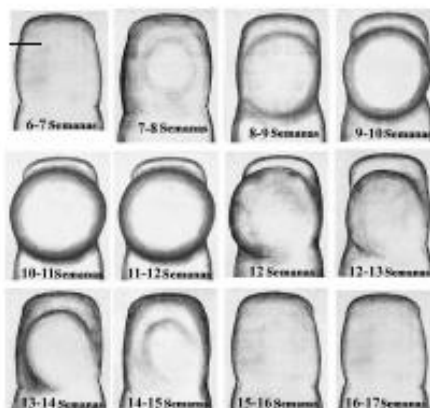


Figura 9. Es mostra el procés de formació dels coixins des de l'inici fins al final, exclouent el creixement de la mida del dit. Font de la referència⁵.

2.2. FORMACIÓ DEL PATRÓ

S'observa en tot el món físic que les crestes tendeixen a alinear-se perpendicularment a la compressió física a través d'una superfície, **Figura 10**. Les crestes es formen també transversalment a les línies de tensió de creixement en la pell de fricció. El creixement predominant de la mà és **longitudinal** (al llarg) i les crestes cobreixen típicament la superfície **transversalment** (de costat a costat)⁵. Aquest fenomen s'observa en el flux

de crestes a través de les falanges.

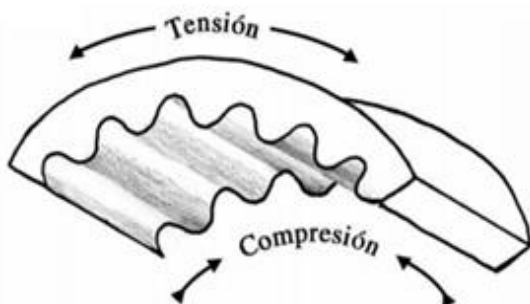


Figura 10. Aplicació de tensió a través de la part superior d'una membrana semiflexible, les forces de compressió es produeixen a la part inferior. El relleu natural de les forces de compressió crea crestes que es formen transversalment a la tensió. Font de la referència¹.

Al llarg de la història van haver-hi molts investigadors que hipotetitzaven sobre la formació dels patrons, però els de major importància van ser la Dra. Bonnevie i el Sr. Andre G. De Wilde.

La Dra. *Bonnevie* va hipotetitzar que l'altura del coixí palmar afectava als patrons de les crestes de fricció i que les interrupcions en la forma de la superfície palmar de les mans i peus creaven tensions en direccions diferents a la longitudinal.

El Sr. *Andre G. De Wilde* va proposar la teoria de que la formació de patrons es desenvolupava molt més aviat en la vida del fetus, abans de formar-se els coixins palmars. Es va plantejar la hipòtesi de que les crestes dirigien el tamany i la forma del coixí palmar. Tot i així per aquesta hipòtesi no es va trobar cap recolzament d'algun altre teòric o empíric.

La resta de les investigacions indiquen que les crestes de fricció s'alineen d'acord amb el coixí palmar segons la seva forma i simetria en aproximadament les 10,5 setmanes.

2.2.1. Coixí simètric

El creixement dels coixins palmars produeixen tensions físiques variables a través de la superfície, que afecten a la alineació de les crestes. Si el flux de les crestes s'ajusta a una espiral o un patró de bucle apareix correlacionat amb la simetria de la tensió a través de la superfície del dit, **Figura 11**. Les crestes es formen concèntricament al voltant del vèrtex d'un coixí.



Figura 11. Exemple de Coixí simètric. Font de la Brigada de la Policia Nacional.

2.2.2. Coixí asimètric

El grau d'asimetria del coixí del dit és quan les crestes comencen a formar-se per primera vegada determinant la asimetria del tipus de patró. Molts investigadors han informat de que els coixins asimètrics "s'inclinen" i formen patrons en bucle i que els coixins palmars formen patrons en arc, **Figura 12**.



Figura 12. Exemple de Coixí asimètric. Font de la Brigada de la Policia Nacional.

La **Figura 13** il·lustra varis patrons de diferents individus les quals els seus coixins són teòricament del mateix tamany aproximat en l'etapa crítica, és a dir, el coixins palmars tenen recomptes de crestes similars, però difereixen en el seu grau de simetria.



Figura 13. Sis patrons d'empremtes dactilars diferents, que representen la simetria dels coixins que van des de 1) quasi simètrica a 6) molt asimètrica. Font de la Brigada de la Policia Nacional.

Cada aspecte del creixement i desenvolupament d'una cèl·lula en un ser humà completament format és iniciat per un patró genètic. La capacitat per formar crestes de fricció és inherent dins de l'embrió en desenvolupament. Els patrons que formen aquestes crestes estan limitats per la naturalesa i són definits per la comunitat d'empremtes dactilars com verticils, bucles, arcs, combinacions i transicions d'aquests patrons bàsics o la falta d'un patró.

Com molts trets, la genètica influeix en la formació de patrons indirectament per contribuir a la temporització de l'aparició en la pell de crestes de fricció. Tensions al llarg de petites àrees de la pell no s'hereten, sinó que representen un dels factors ambientals que influeixen en la formació de patrons.

2.3. ESTUDIS FAMILIARS

2.3.1. Estudis antropològics

S'han realitzat milers d'estudis antropològics en diferents poblacions per identificar tendències en la formació de patrons d'empremtes dactilars. Una de les investigacions amb més pes es va dur a terme pel professor *Jamshed Mavalwala*. El principal resultat

d'aquest estudi va ser la demostració de que les variacions dins de la mateixa tribu (intratribals) en freqüències de patrons de crestes de fricció són majors que les variacions entre tribus. Així mateix, les variacions entre individus d'una mateixa espècie en primats eren majors que les variacions entre espècies. El cos de l'estudi suggereix que múltiples gens afecten a la formació de patrons i que aquests gens interactuen respecte a les característiques finals del patró.

2.3.2. Singularitat: Interferència de desenvolupament

Els coixins palmars fetals juguen un paper important que afecta a les tensions que influeixen directament en la formació de patrons (simetria del coixí) i la mida del coixí.

Cada secció individual en cada cresta és única. Per tant, qualsevol disposició de crestes és impossible de copiar, independentment de la quantitat. Grans variacions en la quantitat de detalls que es registren pot donar com a resultat la impossibilitat d'individualització d'impressions latents, tot i que la disposició de trets en la pell i en els detalls resultants de la impressió en una superfície encara és única.

Tot i que s'hagi demostrat que la genètica juga un paper en la formació de patrons, no determina la disposició de minúcies o forma de les crestes dins del patró.

En conclusió, conforme la pell avança en tot el procés de formació de crestes, molts factors contribueixen amb el resultat final: unicitat estructural completa, des del contorn fins la forma de la cresta. La morfogènesis d'aquests petits detalls és el resultat d'una interferència de desenvolupament que té lloc en una secció de la pell durant el període crític de formació de la cresta de fricció.

3. SISTEMES DE CLASSIFICACIÓ DE LES CRESTES DE FRICCIÓ

El concepte d'individualització de les crestes de fricció com a mitjà de personalització té les seves arrels en la història de l'ésser humà i de la nostra necessitat inherent d'individualitzar-nos i ser identificats en un món en constant expansió. La capacitat d'identificar amb precisió als reincidents va ser fonamental per la eficàcia de les institucions de justícia penal. Per tant era primordial el desenvolupament d'un mètode exacte d'individualització.

3.1. INICIS DE LA CLASSIFICACIÓ

Els dits són les extremitats articulades de les mans i els peus de l'èsser humà. Els dits humans són 5 per cada peu i mà. Col·loquialment els dits de la mà reben un nom diferents per a distingir-los, i són els següents: polze (o dit gros), índex, mig (o cor), anular, menovell (o petit). La part central del dit es veu realçada per la presència de carenes i espirals anomenades empremtes digitals.

Gràcies a aquesta classificació al llarg de la història han hagut diferents investigadors que han intentat i aconseguit classificar les empremtes dactilars. A continuació s'explicaran els diferents estudis de diferents autors per intentar demostrar la individualització personal mitjançant les empremtes dactilars⁶.

3.1.1. Johannes Evangelist Purkinje

Johannes Evangelist Purkinje, professor txec, al 1823 va publicar la seva tesi "*Commentatio de Examine Physiologico Organi Visus et Systematis Cutanei*". En aquesta tesi va arribar a descriure 9 patrons d'empremtes dactilars classificables: en 1) corba transversal, 2) estria longitudinal central, 3) línia obliqua, 4) presilla obliqua, 5) verticil en forma d'ametlla, 6) verticil en forma d'espiral, 7) el·lipse, 8) cercle i 9) doble verticil.

3.1.2. Dr Henry Faulds

El Dr. Henry Faulds, metge escocès, estava decidit a demostrar que les empremtes dactilars eren la clau per a la individualització personal de forma precisa i confiable. Per provar la seva teoria, Faulds va investigar la permanència e individualitat de les empremtes. Per demostrar-ho va comprar milers de targetes amb empremtes dactilars que havia recollit i va determinar que les empremtes dactilars de cada targeta eren úniques. Per provar la permanència, Faulds va utilitzar diferents medis com: navalles d'afaitar, àcids... per eliminar les crestes de fricció. Tal i com esperava, les crestes de fricció van tornar a créixer exactament com estaven abans. Faulds també havia de demostrar que les empremtes dactilars no canviaven durant el procés de creixement. Per això, va observar les empremtes dactilars de nens en creixement durant un període de dos anys i va determinar que les crestes de fricció sí canviaven de mida però no en singularitat.

Seguidament Faulds va desenvolupar un sistema síl·làbic per classificar les empremtes dactilars. Aquest sistema es caracteritzava per: cada mà estava representada per 5 síl·labes, 1 síl·laba per cada dit i cada síl·laba separada per un guió. Les síl·labes es construïen a partir d'una llista establerta de 21 consonants i 6 vocals que representaven el conjunt de característiques de patrons d'empremtes dactilars; com podem veure a la següent taula, **Taula 1**.

Consonante	Descripción del patrón
CH	Gancho con la pata corta viendo hacia el lado derecho
J	Gancho con la pata corta viendo a el lado izquierdo
B	Curva convexa con lineación izquierda
P	Curva convexa con lineación derecha
T	Forma de pera con libre flotación
D	Forma de pera fijada por el tallo
K	Cabezal con un tallo
G	Cabezal con tallos en ambos lados
W	Verticilo en sentido de las manecillas del reloj
V	Verticilo en sentido opuesto a las manecillas del reloj
Q	Círculo/óvalo grande con elementos
M	Pico de montaña volcánica
N	Mástil de bandera en la cima de la montaña
L	Presilla con eje recto
R	Presilla con eje curvo
S	Sinuoso sin ángulos
Z	Zigzag con angulosidad
X	Indefinido

F	Aspirado utilizado estrictamente para la pronunciación
H	Aspirado utilizado estrictamente para la pronunciación
Vocal	Descripción del patrón
A	Interior vacío y simple
E	Tres crestas/puntos cortos
I	Línea simple separada/ no más de dos líneas en el corazón de un patrón envolvente
O	Círculo/óvalo/punto pequeño en el centro
U	Tenedor con 2 + puntas al centro
Y	Tenedor con puntas separadas de la concavidad

Taula 1. Descripció de les síl·labes de Faulds.

Font de la referència⁶.

3.1.3. Sir Francis Galton i la classificació tripartida

Tres són les qualitats establertes sobre les empremtes dactilars: perennes, que no es destrueixen al llarg de la vida, immutables, que tot i que ens tallem (i es creï una cicatriu petita) les empremtes es regeneren tal i com eren al principi i diversiformes perquè no es creu que existeixin dues persones amb les mateixes empremtes dactilars.

Aquest estudi el va fer el Sr. Galton que va prendre varies mostres de diferents dactilogrames (veure capítol 3.2.1.), i va concloure que hi havia 1 possibilitat entre 64 billons que coincidissin les empremtes de dues persones. I com que la població mundial és molt inferior, de 7000 milions de persones, es va deduir que mai no hi hauria dues persones que tinguessin els mateixos dactilogrames. Galton va desenvolupar un sistema de classificació que es basava en les enumeracions

alfabètiques dels 3 patrons d'empremtes dactilars: 1) L representava una presilla, 2) W representava el verticil i 3) A representava l'arc. Per classificar un conjunt d'empremtes dactilars, el patró per cada dit s'etiquetava amb una d'aquestes 3 lletres. Les lletres del dit índex, mitjà i anular de la mà dreta es van agrupar, seguits de les lletres dels dits índex, mitjà i anular de la mà esquerra. Després d'aquesta sèrie de lletres, es van registrar lletres pel polze dret i el dit petit dret, seguit de les lletres pel polze i dit petit esquerre. Per exemple, una persona que tingués tota la mà dreta amb verticils excepte pel dit petit amb presilla i la mà esquerra amb presilles excepte pel dit petit, tindria la següent classificació: WWLWLLW. Aquest codi de classificació seria registrat en una targeta la qual s'arxivaria alfabèticament en base a aquesta classificació.

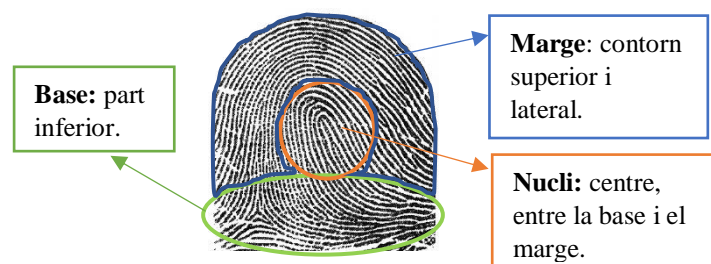
3.2. NAIXEMENT DELS SISTEMES DE CLASSIFICACIÓ MODERNS

3.2.1. Juan Vucetich i el sistema argentí

Vucetich es va donar compte que per què la ciència d'impressions dactilars fos acceptada en tot el món, havia de crear un sistema de classificació útil i manejable. Treballant amb el sistema general de Galton de 3 patrons, va crear un sistema de classificació que utilitzava subcategories per classificar, arxivar i localitzar targetes d'empremtes dactilars. En el 1896, li canviar el nom a sistema de **dactiloscòpia** (descripció del dit). El sistema dactiloscòpic és la forma que tenim per identificar els individus, i està basat en l'estudi dels dibuixos papil·lars de les puntes dels dits de les mans. El dactilograma és el dibuix de les puntes dels dits de les mans, que estan formats per crestes (relleus) i els solcs papil·lars. Existeixen 3 tipus de dactilogrames, el natural, latent i artificial. El dactilograma natural es refereix a les empremtes tal i com les observem; el dactilograma latent és aquell que deixem impregnat quan toquem alguna cosa (serien les que estudiariem en una escena d'un crim); i el dactilograma artificial és aquell que s'imprimeix.

El dactilograma està format per tres parts molt diferenciades, que són la base, el marge i el nucli, **Figura 14**.

Figura 14. Exemple de dactilograma. Font de la Brigada de la Policia Nacional.



El sistema de Vucetich va ser una expansió dels 3 patrons establerts per Galton: l'arc, la presilla i el verticil, tot i que, Vucetich divideix la presilla en dues subcategories: presilla interna (inclinació cap a la dreta) i presilla externa (inclinació cap a la esquerra). D'aquesta manera es crea quatre tipus de patrons: arc, presilla interna, presilla externa i verticil, representats per 4 lletres majúscules en el cas dels dits polzes i amb números per la resta dels dits, **Taula 2**. Aquesta classificació es basava en un sistema nuclear, segons la forma del nucli.

Patró	Polze	Altres dits
Arc	A	1
Presilla interna	I	2
Presilla externa	E	3
Verticil	V	4

Taula 2. Símbols de patrons de Vucetich. Font de la referència⁶.

3.2.2. Sistema Olóriz, Sistema Espanyol

En aquest país, Espanya, no es segueix el sistema de Vucetich sinó que es segueix el sistema d'Olóriz, el de l'estudi del delta. En aquest sistema igual que en el de Vucetich es fa una distinció entre els dits polzes i la resta. Denominarem adelto quan hi hagi una manca de deltes, dextrodelto quan el delta es trobi a la dreta de l'observador, sinistrodelto quan es trobi a l'esquerra de l'observador i bidelto quan existeixin més de dos deltes, **Taula 3**.

Delta	Polze	Altres dits
Adelto	A	1
Dextrodelto	D	2
Sinistrodelto	S	3
bidelto	V	4

Taula 3. Sistema Olóriz, sistema Espanyol. Font de la referència⁶.

3.3. AUTOMATITZACIÓ PER ORDINADOR

Quan al llarg del temps, les dependències federals, estatals i locals anaven rebent més i més exemplars coneguts, la necessitat d'un mitjà més eficient d'individualització d'impressions conegudes era fonamental. Anys enrere, eren els propis funcionaris que s'encarregaven de la recerca manual d'impressions de sospitosos amb impressions conegudes i sovint tardaven mesos per arribar a una decisió. Als pocs anys va néixer el

National Crime Information Center (NCIC).

El NCIC es compon de milions de registres que han estat ordenats en bases de dades diferents, on una part de la base de dades del NCIC és la classificació d'empremtes dactilars. El sistema presentat pel NCIC es basa en un sistema de classificació alfanumèric amb patrons específics per cada dit per separat; i per tant no implica la combinació de dits com en el sistema de Henry Faulds. El sistema consisteix en un codi de 20 caràcters, en el que cada dit (començant amb el polze dret i acabant amb el dit petit esquerre) està representat per 2 caràcters, com es pot veure a la **Taula 4**.

Pattern	NCIC Code
Número de crestas con presilla cubital (número real de crestas)	01-49
Radial loop ridge count (actual ridge count plus 50)	51-99
Arco plano	AA
Tented arch	TT
Verticilo plano, trazado interno	PI
Plain whorl, outer tracing	PO
Verticilo plano, trazado encontrado	PM
Central pocket whorl, inner tracing	CI
Verticilo de bolso interno, trazado externo	CO
Central pocket whorl, meet tracing	CM
Verticilo de doble presilla, trazado interno	di
Double loop whorl, outer tracing	dO
Verticilo de doble presilla, trazado encontrado	dM
Accidental whorl, inner tracing	XI
Verticilo accidental, trazado externo	XO
Accidental whorl, meet tracing	XM
Dedo faltante o amputado	XX
Complete scarring or mutilation	SR

Taula 4. Codis de classificació del NCIC. Font de la referència⁶.

Per exemple, una persona que tingués tot els dits amb arcs plans, excepte els dits índex que tenen arcs en forma de carpa, tindrien un codi de classificació del NCIC de: AATTAAAAAAATTAAAAAA.

3.3.1. Investigació automatitzada del FBI

En el 1972 es va instal·lar en la Divisió d'Identificació de Washington, DC un prototip conegut per SAID (Sistema Automatitzat d'Identificació Dactilar). El sistema es basava únicament en l'extracció computeritzada de minúcies, **Taula 5**. Aquesta extracció, creava mapes matemàtics de cada impressió en un bloc del dit i de la targeta amb un tot. Cada mapa contenia el tipus de patró determinat per l'ordinador, la ubicació i la direcció de les minúcies.

Taula 5. Classificació de patrons del SAID.

Font de la referència⁶.

Descripción	Código AFIS
Arco	AU
Presilla con inclinación a la izquierda	LS
Presilla con inclinación a la derecha	RS
Verticilo	WU
Amputación	XX
Cicatriz completa	SR
Imposible de clasificar	UC
Imposible de imprimir	UP

Conforme la població va créixer els sistemes rudimentaris es van anar convertint en sistemes avançats que avui en dia proporcionen a la comunitat de justícia penal una solució viable. Els avenços en programació d'equips i la unió d'impressions de crestes de fricció han permès buscar en minuts impressions conegudes.

4. SISTEMA AUTOMATITZAT D'IDENTIFICACIÓ D'EMPRESSES DACTILARS (SAID)

La pell és l'òrgan més gran del cos humà i constitueix la primera línia de protecció del mateix cos. Cobreix completament el cos des del cap fins als peus i la seva naturalesa és uniforme en totes les parts del cos, a excepció de les àrees que cobreixen totes les superfícies palmars dels dits i de les mans, així com les superfícies plantars dels dits dels peus i dels peus. La pell d'aquestes àrees es coneix com a pell amb crestes de fricció. L'obtenció de registres llegibles d'aquestes àrees de la pell era fonamental per a les comparacions posteriors amb impressions latents recuperades d'escenes de crims, per la comparació amb registres anteriors o per ingressar-los directament al sistema automàtic d'identificació dactilar.

Es necessitava un nou enfoc automatitzat per: extraure cada imatge d'empremtes dactilars d'una targeta decadactilar, processar cada una d'aquestes imatges per produir una plantilla de mida reduïda amb informació característica i buscar en una base de dades per produir automàticament una llista molt reduïda amb coincidències de possibles candidats.

Primer de tot els enginyers del NIST (Institut Nacional d'Estàndards i Tecnologia) van estudiar els mètodes manuals utilitzats pels tècnics en empremtes dactilars humanes per fer identificacions. Aquests mètodes com s'ha mencionat anteriorment, es basaven en la comparació de minúcies (finals, bifurcacions de les crestes) en les crestes de l'empremta

dactilar. Si les minúcies de dues empremtes es declaraven equivalents, ambdues empremtes eren determinades com idèntiques, és a dir, que s'havien registrat a partir del mateix dit de la mateixa persona.

Després d'això, creien que una solució computeritzada per fer coincidir i emparellar automàticament les minúcies s'havia de desenvolupar. Per aconseguir aquest objectiu, s'havia de desenvolupar un escàner que llegís de forma automàtica i capturés electrònicament la imatge de l'empremta entintada. Posteriorment, era necessari crear un programa per detectar i identificar de forma exacte les minúcies de la imatge capturada. Per últim, desenvolupar un mètode per comparar dues llistes de minúcies per així poder determinar si ambdues empremtes tenen o no la probabilitat de venir del mateix dit i de la mateixa persona.

4.1. FUNCIONS TÈCNIQUES

El SAID policial es compon de dos sistemes interdependents: el subsistema decadactilar (identificació penal) i el subsistema latent (investigació penal). El subsistema decadactilar s'encarrega d'identificar conjunts d'incidents d'empremtes dactilars tintades en un arrest o citació, o com a part d'un procés de sol·licitud per determinar si una persona té un registre existent.

El subsistema d'investigació penal o d'impressió latent s'encarrega de resoldre crims tot i la identificació d'impressions latents desenvolupades en el lloc dels fets i l'evidència física. El subsistema pot estar compost d'examinadors d'impressions latents, investigadors del lloc dels fets, o personal de laboratori o administratiu.

Una empremta latent és quelcom que existeix, però que està ocult i amagat. També es podria dir que és aquella empremta la qual es troba en el lloc dels fets, però que no pot ser observada per l'investigador, com es pot veure a la **Figura 15**. Quan un dit toca una superfície deixa un patró invisible d'oli anomenat empremta digital latent. Això es dona al posar en contacte les crestes papil·lars amb una superfície concreta degut a les excrecions de les glàndules sudorípares. Aquesta empremta latent està composta per aigua i matèria sebàcia a la que s'hi adheriran els reactius físics per un posterior revelat.



Figura 15. Empremta latent. Font de la Brigada de la Policia Nacional.

Una empremta no latent és aquella que pot ser observada a simple vista. Una empremta és no latent quan ja és fotografiada, escanejada i emmagatzemada ja que pot ser observada per l'investigador, com es pot veure a la **Figura 16**.



Figura 16. Empremta no latent. Font de la Brigada de la Policia Nacional.

La recerca d'una empremta latent consumeix més temps que una recerca de dactilars. Les impressions latents són sovint fragmentaries i tenen mala qualitat d'imatge.

És per això que la majoria d'instal·lacions SAID tenen la capacitat de realitzar les següents funcions:

- Comparar una empremta latent del lloc dels fets i latents en els arxius d'altres escenes de crims.
- Comparar empremtes dactilars conegudes (impressions de dactilars) i una base de dades de dactilars existent i obtenir resultats amb una gran precisió.
- Comparar una impressió latent en lloc dels fets amb evidència penal i una base de dades de dactilars.
- Comparar una nova adició de dactilars a la base de dades i totes les empremtes latents sense resoldre en l'arxiu....

En general, una impressió latent consisteix en un porció fragmentària d'un sol dit o d'un tros de palmell, on la quantitat d'informació present en la imatge és de menor qualitat i a vegades està contaminada amb interferències de fons (soroll de fons). Ingressar al SAID empremtes latents té un element subjectiu que es basa en l'experiència de l'investigador. La probabilitat de que una empremta latent trobi la seva coincidència dins el programa és del 70-80%, naturalment contra millor sigui la imatge latent, majors seran les possibilitats d'èxit. Per altra banda, la possibilitat de perdre una identificació (inclús quan el subjecte es troba dins de la base de dades) és del 25%.

4.2. DIGITALITZACIÓ I PROCESSAMENT D'EMPREMTES DACTILARS

4.2.1. Algoritmes

Un algoritme és un conjunt finit d'instruccions ben definides per poder dur a terme una feina. Un algoritme d'ordinador es tracta d'un algoritme codificat en un llenguatge de programació per funcionar dins d'un ordinador. Tot i que sigui una eina molt útil per a la identificació d'empremtes dactilars, els dissenyadors d'algoritmes identifiquen i investiguen 5 principals problemes en el disseny de sistemes automatitzats de processament d'empremtes: 1) l'adquisició d'empremta dactilar, 2) la millora de la imatge, 3) la extracció de característiques (minúcies), 4) l'emparellament i 5) la recuperació.

4.2.2. Adquisició de la imatge

Les dades d'empremtes dactilars conegudes es poden recollir mitjançant l'aplicació d'una capa fina de tinta sobre un dit i el balanceig del dit d'un extrem de la ungla fins l'altre extrem de la ungla, mentre es pressiona el dit contra una targeta de paper. Això donaria lloc a un entintat "laminat" d'impressions d'empremtes dactilars a la targeta, **Figura 17**. Si per altra banda, el dit es pressiona simplement cap a baix en comptes de rodar, la impressió de la empremta dactilar resultant només contendria una zona central més petita del dit en comptes de l'empremta dactilar completa, resultant en una "impressió plana" o "normal" d'empremtes dactilars entintades.



Figura 17. Exemples de targetes d'impressions decadactilars, a l'esquerra targeta per a homes (negre) i a la dreta targeta per a dones (vermell). Font de la Brigada de la Policia Nacional.

Aquestes impressions latents poden ser químically o físicament revelades i poden ser capturades manualment o electrònicament des de la superfície mitjançant tècniques químiques, físiques i d'il·luminació. L'empremta pot ser obtinguda amb una cinta o

fotografiada. Les impressions d'empremtes dactilars es desenvolupen i es conserven utilitzant qualsevol dels mètodes mencionats anteriorment, i poden digitalitzar-se mitjançant un escaneig de la targeta de l'entintat, article o fotografia.

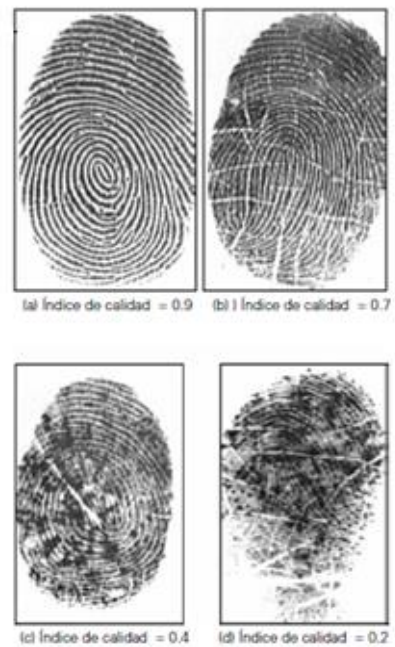
Hi ha una sèrie de mecanismes de detecció *livescan* (òptics, capacitius, tèrmics, ultrasons...) que poden utilitzar-se per detectar les crestes i solcs presents en la punta dels dits. Però, molts d'aquests mètodes no proporcionen imatges que continguin la mateixa representació de detalls necessaris per algunes comparacions d'empremtes dactilars latents. Per exemple, una imatge tèrmica pot representar els bordes i porus d'una manera molt diferent a una impressió de tinta. En la **Figura 18** es mostra una empremta dactilar adquirida mitjançant diferents tècniques.



Figura 18. Imatges d'empremtes dactilars de: a) un escàner òptic *livescan*, b) un escàner capacitiu *livescan*, c) un escàner elèctric *livescan*, d) un escàner tèrmic *livescan*, e) una impressió entintada, f) empremta dactilar latent. Font de la referència⁷.

Els algorismes solen utilitzar un sistema de gestió per proporcionar vistes prèvies en temps real per ajudar a l'operador en la col·locació o alineació correcta dels dits o dels palmells de les mans. Normalment, un algorisme de revisió de qualitat de la imatge d'una empremta també s'utilitza per avisar a l'operador sobre l'adquisició d'una imatge dactilar de mala qualitat, i així poder tornar a adquirir una de millor qualitat. En la **Figura 19** es mostra les diferents qualitats d'una empremta dactilar.

Figura 19. a) empremta dactilar de bona qualitat, b) empremta dactilar de qualitat mitjana amb plecs, c) empremta dactilar de baixa qualitat i d) empremta dactilar de molt baixa qualitat que conté soroll de fons. Font de la referència⁸.



4.2.3. Millora de la imatge

Les imatges d'empremtes dactilars procedents de diferents fonts poden tenir diferents característiques de soroll i per tant poden requerir alguns algorismes de millora basats en el tipus de soroll. Les empremtes dactilars entintades poden contenir taques o crestes trencades que es donen a una quantitat excessiva o inadequada de tinta. L'objectiu dels algorismes de millora es produir una imatge que no contingui una estructura de cresta generada artificialment, la qual més tard podria donar lloc a falses minúcies.

Una empremta dactilar pot tenir àrees de baixa qualitat en la que els algorismes d'orientació de la cresta i de l'estimació de freqüència estan completament equivocats. Un algorisme de millora que pot localitzar de forma fiable aquestes àrees de mala qualitat és molt útil per les etapes posteriors de detecció de característiques i les etapes d'individualització al evitar que es creïn característiques falses o no fiables. Les imatges d'empremtes dactilars a vegades poden ser de mala qualitat degut al soroll introduït durant el procés d'adquisició. Per exemple un dit pot estar brut, una empremta latent pot adquirir-se d'una superfície difícil, el mitjà d'adquisició (targeta de paper o livescan) pot estar brut o el soroll pot introduir-se durant la interacció del dit amb la superfície de detecció. Quan es presenta una imatge de mala qualitat, l'operador forense utilitzaria una lupa i intentaria desxifrar les característiques de les empremtes en presència de soroll.

Els algoritmes de millora de la imatge no afegeixen cap informació externa a la imatge de l'empremta. Aquests algoritmes utilitzen únicament la informació que ja està present en la imatge de l'empremta. Aquests poden suprimir diferents tipus de soroll (per ex: una altra empremta latent, el color de fons...) en la imatge de l'empremta i posar en relleu les característiques útils existents. N' existeixen dos tipus d'algoritmes de millora de la imatge:

4.2.3.1. Millora de les impressions latents per la recerca del SAID

En el cas de buscar empremtes latents en el SAID forense, l'algoritme és interactiu que significa que l'expert forense es capaç d'utilitzar varis algoritmes per escollir la regió d'interès en la imatge, retallar la imatge, invertir el color, ajustar la intensitat, girar la imatge, ampliar-la... Un exemple de millora del contrast de l'àrea local es mostra en la **Figura 20**.

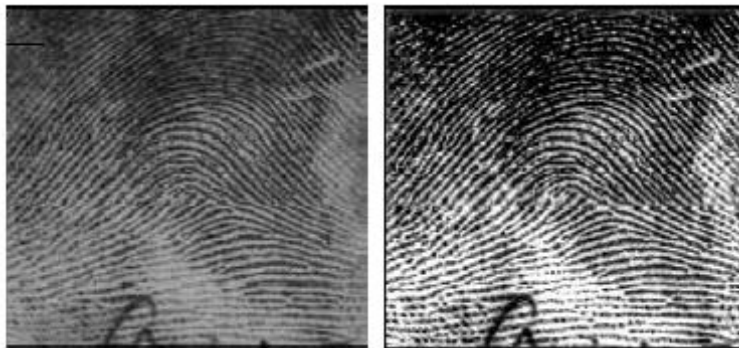


Figura 20. Exemple de millora en el contrast de l'àrea local.

Font de la referència⁸.

4.2.3.2. Millora automàtica de les imatges d'empremtes dactilars

Els algoritmes de millora s'utilitzen en mode completament automàtic per millorar les estructures de les crestes de les empremtes dactilars en imatges de baixa qualitat. En la **Figura 21** podem veure un algoritme de millora totalment automàtic de la imatge d'una empremta dactilar.



Figura 21. Etapes d'un algoritme de millora de la imatge de l'empremta dactilar. Font de la referència⁸.

4.2.4. Extracció de les característiques

Les singularitat de les crestes de les empremtes dactilars, conegudes com punts de minúcies, s'han utilitzat pels experts forenses com característiques discriminants en imatges d'empremtes dactilars. Les singularitats locals més comuns són les terminacions de les crestes i les bifurcacions de la cresta. Existeixen altres tipus de minúcies com el llac, l'illa, estímuls, encreuaments... que són molt comuns en les crestes. A tot això, existeixen minúcies compostes formades per dos a quatre punts característics que també són molt comuns en les crestes de fricció d'una empremta dactilar.

En els processos d'impressió latent manual, l'operador forense localitzaria visualment les minúcies en una imatge d'una empremta dactilar i assenyalaria la seva ubicació, orientació i el tipus de minúcia. En els algoritmes d'extracció automàtica de minúcies d'empremtes només consideren les terminacions de les crestes i les bifurcacions perquè altres tipus de detalls de les crestes són molt difícils d'extraure automàticament. A més a més, la majoria d'algoritmes no diferencien entre les terminacions de les crestes i les bifurcacions, ja que poden ser indistingibles.

Cadascun dels algoritmes utilitzats en la millora de la imatge de l'empremta i de l'extracció de minúcies té la seva limitació, i per tant es converteix en un procés

imperfecte, especialment quan la imatge inclou soroll. Moltes falses minúcies poden ser detectades per l'algoritme de detecció de minúcies. Per minimitzar aquest problema, s'utilitza un algoritme de post processat de minúcies per confirmar o validar les minúcies detectades. Només aquelles minúcies que passin aquest algoritme de post processat es guardaran, la resta s'eliminaran.

En la **Figura 22** es mostren els diferents passos en un algoritme típic d'extracció de característiques de l'empremta dactilar ja millorada on les minúcies extrems es mostren una sobre l'altre.

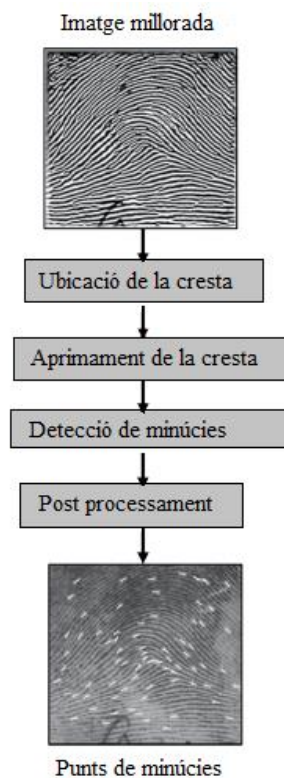


Figura 22. Etapes d'un algoritme típic d'extracció de minúcies. Font de la referència⁸.

4.2.5. Emparellament

L'emparellament de l'empremta dactilar tracta de trobar la similitud o la no similitud entre dues imatges d'empremtes dactilars. L'emparellament de l'empremta pot visualitzar-se millor agafant una còpia a paper d'una imatge de l'empremta amb les seves minúcies marcades o superposades i una transparència d'una empremta dactilar de recerca amb les seves minúcies marcades o superposades. Al col·locar la transparència de la impressió de recerca sobre la còpia de paper de l'empremta dactilar d'arxiu es poden localitzar els punts de minúcies que són comuns en ambdues impressions. L'emparellament manual de l'empremta dactilar és una feina molt tediosa⁷.

Els algoritmes automàtics d'emparellament d'empremtes dactilars treballen en el resultat dels algoritmes d'extracció de característiques de l'empremta dactilar. L'emparellament automàtic pot realitzar comparacions a una velocitat elevada i els resultats poden ser organitzats d'acord al nivell de similitud i combinar-se amb qualsevol altre criteri, tot sense la intervenció humana.

Cal destacar que els algoritmes automàtics d'emparellament d'empremtes dactilars són significativament menys exactes que un perit forense amb experiència. Per exemple, en el cas de l'emparellament d'impressions latents on només tenim una imatge parcial de l'empremta dactilar, de molt baixa qualitat, l'algoritme d'emparellament pot no ser molt exacte. Tot i així, l'algoritme pot generar una llista de candidats coincidents, i és llavors quan el perit forense necessita emparellar manualment les dues imatges.

Els algoritmes automàtics d'emparellament d'empremtes dactilars donen lloc a resultats imperfectes degut al problema de les variacions dins de les classes (variacions en impressions diferents del mateix dit) presents en les empremtes dactilars. Aquestes variacions poden ser: desplaçaments, rotacions, superposicions parcials, pressions, condicions de la pell, soroll introduït per l'entorn d'imatge i errors introduïts per algoritmes automàtics d'extracció de característiques.

A continuació es mostra els diferents passos en un algoritme típic d'emparellament d'una empremta dactilar, **Figura 23**.

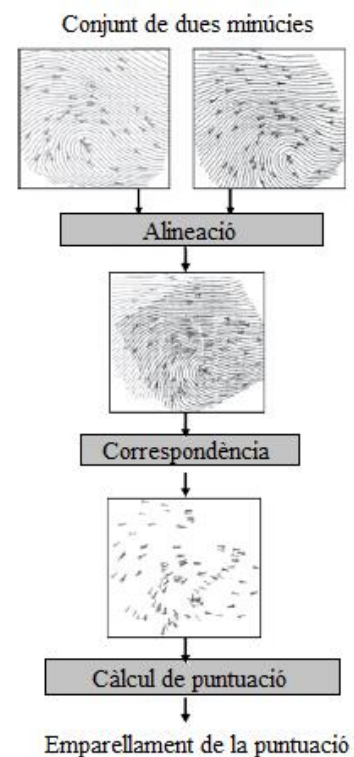


Figura 23. Etapes d'un algoritme d'emparellament de minúcies de la empremta dactilar. Font de la referència⁸.

4.2.6. Recuperació

La classificació de patrons d'empremtes dactilars pot determinar-se mitjançant la caracterització de les regions d'una empremta. Les formes singulars (nuclis i deltes) de la imatge d'una empremta es detecten normalment utilitzant algoritmes basats en la imatge d'orientació de les empremtes dactilars. Els sistemes explícits de classificació

d'empremtes detecten primer les singularitats de les empremtes dactilars (nuclis i deltes) i després apliquen un conjunt de regles (arcs i arcs en forma de carpa sense nuclis, presilles amb un nucli i un delta, verticils amb dos nuclis i dos deltes...) per determinar el tipus de patró de la imatge, **Figura 24**.

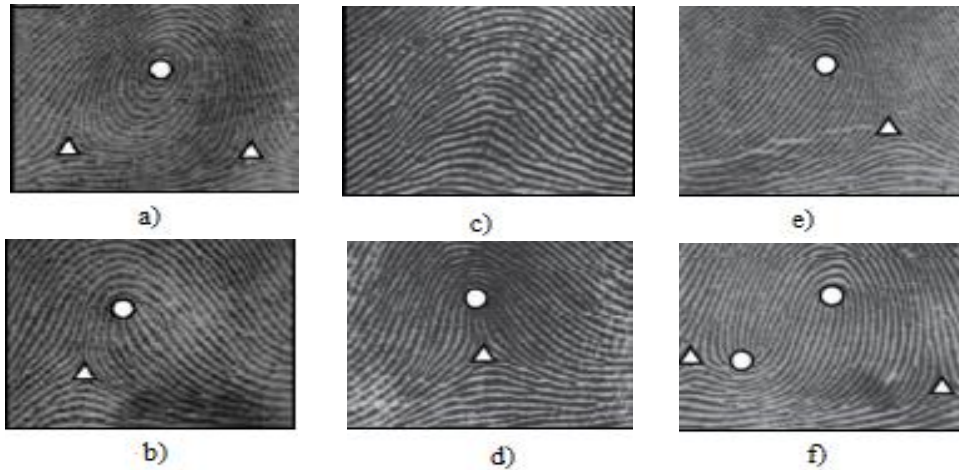


Figura 24. Sis classes d'empremtes dactilars més comuns: a) verticil, b) presilla dreta, c) arc, d) arc en forma de carpa, e) presilla esquerra i f) verticil de presilla doble. Font de la referència⁸.

Les empremtes dactilars estan associades a vectors numèrics que resumeixen les seves principals característiques. Aquests vectors de característiques es creen a través d'una transformació de semblança de preservació, de manera que les empremtes dactilars similars s'assignen a punts propers (vectors) en l'espai multidimensional. La recuperació es duu a terme fent coincidir l'empremta dactilar d'entrada amb les de la base de dades els quals els seus vectors corresponents estan propers a la de recerca⁸.

La tecnologia d'empremtes dactilars ha crescut molt des dels seus inicis, fa més de 100 anys. Hi ha una sèrie de reptes que queden per superar en quan al disseny d'un sistema d'individualització d'empremtes dactilars totalment automatitzat i fiable, en especial quan les imatges són de mala qualitat. La investigació en el reconeixement automàtic d'empremtes dactilars s'ha basat sobretot en un exercici d'imitar el comportament d'un pèrit en empremtes dactilars humanes⁸.

5. DESENVOLUPAMENT DE LA IMPRESSIÓ LATENT

El revelat d'una empremta dactilar latent pot aconseguir-se amb una àmplia gamma de processos òptics, físics i químics. Pels investigadors és important la seva seguretat ja sigui en el lloc dels fets com en el mateix laboratori. També és important pels treballadors que

treballen amb materials o equips potencialment perillosos, portar un equip de protecció adequat com guants, bates de laboratori, ulleres protectores, respiradors, campanes d'extracció, controls d'enginyeria...

5.1. TIPUS D'IMPRESSIONS

Les empremtes dactilars trobades en un lloc dels fets o revelades al laboratori es classifiquen com visibles, latents per part dels operadors. Una impressió visible és simplement una impressió patent. Moltes d'aquestes impressions són totalment perceptibles a simple vista i només necessita un tipus de formació d'imatges per la seva conservació (fotografiar). Un exemple d'impressió visible seria una impressió greixosa en un vidre. Les impressions visibles també es poden trobar en sang, pintura, tinta, fang o pols. La il·luminació es considera un element molt important en la recerca d'aquest tipus d'empremtes dactilars, i per això en el kit d'un operador no podrà faltar una llanterna de mà o una font de llum forense. Com s'ha mencionat anteriorment latent vol dir ocult o invisible. Les empremtes latents són indetectables fins que es descobreixen amb un procés físic o químic dissenyat per millorar el residu de la impressió.

5.2. TIPUS DE SUPERFÍCIE

La identificació del tipus de superfície on es troba una empremta dactilar és un dels passos més importants en el revelat d'una empremta. Generalment les superfícies es separen en dues classes: poroses i no poroses. Aquesta separació és necessària per seleccionar la tècnica, reactiu i ordre seqüencial adequat pel seu processament.

Els substrats porosos són generalment absorbents, com el paper, cartró, fusta i altres formes de cel·lulosa. Les empremtes dactilars depositades sobre aquests medis s'absorbeixen en el substrat i són duradores. La tècnica més útil és la dels aminoàcids ja que aquests tendeixen a romandre estacionats quan s'absorbeixen i no migren.

Els substrats no porosos no absorbeixen, com el vidre, metall, plàstic, fusta lacada o pintada i cautxú. Aquestes superfícies repelen la humitat i freqüentment apareixen polides. Les impressions latents sobre aquests substrats són més susceptibles al dany degut a que el residu de l'empremta dactilar roman a la superfície més externa. Les tècniques del cianocrilat (CA), les taques de tinta, solen ser les millors en aquestes superfícies.

També existeix un substrat que no es troba en cap d'aquests dos grups i és el semiporós. Aquest tipus de substrat es caracteritza per la seva naturalesa de resistir i absorbir residus d'empremtes dactilars. El residu sobre aquesta superfície pot o no absorbir-se a causa de les propietats absorbents del substrat i les propietats viscoses variables del residu de les empremtes dactilars. Dins aquestes superfícies hi trobem el cartró setinat, portades de revistes setinades, algunes fustes amb acabats...

5.3. SELECCIÓ DEL PROCÉS

Els reactius d'empremtes dactilars i les tècniques de revelat s'utilitzen en combinació i amb un ordre seqüencial. Aquests mètodes són (normalment) específics a substrats porosos o no porosos, tot i que algunes tenen aplicacions universals. A continuació es mostra els procediments generals durant la recerca sistemàtica de proves d'empremtes dactilars latents:

- 1) Inspecció visual amb llum brillant, una font de llum forense o làser.
- 2) Procés d'impressió latent seqüencial.
- 3) Documentació de les impressions revelades en cada pas.

Els següents factors poden influir en la selecció de les tècniques de revelat: el tipus de residu de l'empremta latent sospitosa, el tipus de substrat, l'estat del substrat (si està net, brut, viscos, greixós...), les condicions ambientals durant i després de la deposició de la impressió latent, exàmens forenses posteriors, ordenament seqüencial de reactius, gravetat del delictes, entre d'altres.

5.4. MANIPULACIÓ DE L'EVIDÈNCIA

La correcta manipulació comença amb l'ús de guants de làtex, nitril o PVC. L'ús de guants protegeix la evidència de la contaminació i a l'operador de l'exposició a agents patògens o substàncies químiques perilloses. Tot i així no garanteix que les empremtes latents siguin preservades perquè inclús una mà amb guants pot destruir les empremtes latents fràgils en contacte. Aquesta situació es sol donar en superfícies no poroses on l'empremta es troba en la superfície externa de les proves.

5.5. EMMAGATZEMATGE

L'emmagatzematge ajuda a garantir la integritat de les proves mantenint els contaminants lluny i d'aquesta manera mantenir l'evidència intacte i ajudant a garantir la cadena de custòdia. Les caixes de cartró, bosses de paper o bosses de plàstic són les

formes més comuns d'emmagatzemar les proves. Qualsevol article que ha estat mullat cal assecar-lo a l'aire abans de ser emmagatzemat, ja que l'excés d'humitat atrapada en qualsevol paquet augmentarà la probabilitat de creixement de fongs destructius. Una vegada que l'evidència estigui assegurada, el paquet s'ha de segellar amb cinta de manera que no hi hagi cap punt d'entrada.

5.6. COMPOSICIÓ DEL RESIDU D'IMPRESSIÓ LATENT

La composició de la suor que es depositada quan la cresta de fricció de la pell té contacte amb una superfície és una mescla complexa, com podem veure a la **Taula 6**. Tres glàndules primàries contribueixen a la producció del suor. Aquestes són les glàndules sudorípares i les glàndules sebàcies com ja s'ha vist al capítol 1.1. Cada glàndula contribueix a una única mescla de compostos químics. Els aminoàcids són d'elevada importància pel revelat de la cresta d'impressió latent.

Taula 6. Abundància relativa d'aminoàcids en la suor².

Amino Acid	Average Abundance
Cerina	100
Glycine	60
Ornitina-Lisina	45
Ornithine	41
Alanina	30
Aspartic acid	18
Treonina	15
Histidine	15
Valina	10
Leucine	9
Àcido glutàmic	8
Isoleucine	7
Fenilalanina	6
Lysine	75
Tirosina	5

5.6.1. Residu de la Impressió Latent

Una impressió latent és una mescla d'alguna o totes les secrecions dels 3 tipus de glàndules. Quan es diposita sobre una superfície, quasi el 99% de la impressió es compon d'aigua. A mesura que l'aigua es comença a evaporar, la impressió comença a assecar-se. Aquest procés comença a alterar la capacitat de certs reactius per visualitzar la impressió. La pols de les empremtes dactilars, per exemple no funcionaria tan bé en una impressió latent resseca. El residu de la impressió latent generalment es divideix en dos categories, solubles i no solubles en aigua. La porció soluble es compon normalment de sals (NaCl) i aminoàcids (serina, glicina). Els productes químics com la nitrat de plata i la ninhidrina són reactius eficaços per la visualització d'aquesta part soluble en aigua del residu, en sals i aminoàcids respectivament⁹.

La porció insoluble en aigua es pot dividir en dues subcategories que serien: una fracció del residu està composta de molècules grans, insolubles en aigua (proteïnes) i una altra fracció es compon principalment de lípids no polars (àcids grassos).

5.7. POLS D'IMPRESSIÓ LATENT

La visualització de la impressió latent amb pols consisteix en l'aplicació de partícules finament dividides que s'adhereixen físicament als components aquosos i oliosos en els residus d'impressió latent sobre les superfícies no poroses per proporcionar una bona visibilitat i alta definició dels detalls de les empremtes. Aquesta tècnica és una de les més antigues i comuna en detecció d'empremtes latents ja des del 1891. La atracció mecànica entre les partícules, humitat i components oliosos provoca l'adhesió de la pols a la impressió, sent l'absorció un dels factors claus. La majoria de pols comercials es basen en almenys dos elements essencials per proporcionar aquesta adhesió als residus d'impressió latent, que són el pigment i l'aglutinant. El pigment ofereix una visualització efectiva, contrast i definició envers la superfície de fons. L'aglutinant ofereix l'adhesió màxima i preferencial al residu de la impressió latent. La visualització de la impressió es produirà sota llum reflectida (pols de llum), llum absorbida (pols fosca) i luminiscència (pols fluorescents).

Una de les pols més comunes d'empremtes latents és el negre de carbó. Aquesta pols treballa en una ampla gamma de superfícies i causa poca pintura de substrat (quantitat excessiva de pols s'adhereix sobre el substrat i empremta latent i dificulta la seva detecció). Aquesta pols produeix una imatge fosca (gris-negra) que pot ser visualitzada en varies superfícies de color.

5.7.1. L'aplicació de diferents tipus de pols

Les pols s'apliquen típicament a superfícies no poroses amb un pinzell, **Figura 25**. Cal recordar que les empremtes latents amb un alt contingut d'humitat o d'oli es danyen fàcilment si s'utilitza un pinzell massa rígid o si s'utilitza amb molta força. Els pinzells convencionals es fan amb pèl d'animal, filaments de fibra de vidre o inclús de plomes.

La pols aplicada amb el pinzell consisteix en partícules molt fines i de baixa densitat. Això permet que les partícules siguin fàcilment recollides o carregades en els filaments del pinzell.



Figura 25. Pinzell convencional per a revelar impressions latents. Font de la referència⁹.

És important mantenir els pinzells nets, secs i lliures d'embolics. Per aplicar la pols d'empremtes, les puntes dels filaments es submergeixen en un recipient estèril que conté una petita quantitat de pols. Això s'anomena carrega del pinzell. L'excés de pols, s'agita, i s'extrau del pinzell. La pols s'aplica de manera uniforme a totes les àrees del substrat.

Un altre tipus de pols, denominat pols magnètica o magna, permet l'aplicació dels pols amb una barra imantada que no té pèls, **Figura 26**. Aquest tipus de pols pot ser fosca, lleugera i fluorescent i utilitza les propietats ferromagnètiques del Fe en pols. És la més utilitzada.



Figura 26. Aplicador magnètic. Font de la referència⁹.

Per començar a revelar una empremta és important escampar lleugerament la pols i així minimitzar el dany a les empremtes dactilars, com es mostra en la **Figura 27**. Cal esmentar que la bola de pols magnètica formada amb un pinzell magna és molt més suau que els pinzells de filaments convencionals i causen menys danys a les empremtes.



Figura 27. Exemple de revelat d'impressions latents amb aplicador magnètic. Font de la referència⁹.

Un altre tipus de pols que produeix excel·lents resultats és el revelat amb pols fluorescent, **Figura 28**. Aquesta pols es basa en el principi de luminiscència per proporcionar un contrast entre l'empremta dactilar i els fons. Les pols fluorescentes són creats per l'addició d'un colorant làser en la solució a un aglutinant i permeten que la mescla s'evapori. La massa seca resultant es converteix en pols d'empremta latent¹¹.

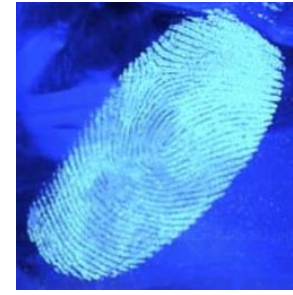


Figura 28. Revelat amb pols fluorescent. Font de la referència¹¹.

La **Taula 7** és una llista dels reactius més comuns i les seves longituds d'ona corresponents al pic d'absorció i emissió¹².

Reactivo/Sustancia	Máximo de absorción (nm)	Máximo de emisión (nm)
DFO	560 (Champod et al., 2004, pág. 129-130)	580 (Champod et al., 2004, pág. 129-130)
1,2-Indaneodina	515	
5-MTN	550 (Wallace-Kunkel et al., 2006, pág. 4-13)	
Ninhidrina	415-560* (Champod et al., 2004, pág. 117-118)	
Ninhidrina/ZnCl	490	540 (Champod et al., 2004, pág. 120-124)
Ardrox	380	500 (Lee and Gaennslen, 2001, pág. 124)
Amarillo básico 40	445 (Champod et al., 2004, pág. 142-145, 228-229) 440 (Lee and Gaennslen, 2001, pág. 124)	495 (Champod et al., 2004, pág. 142-145, 228-229) 490 (Lee and Gaennslen, 2001, pág. 124)
MBD	465	515 (Lee and Gaennslen, 2001, pág. 124)
Rojo básico 28	495	585 (Champod et al., 2004, pp 142-145, 228-229; Lee and Gaennslen, 2001, pág. 124)
Rodamina 6G	490-530 (Champod et al., 2004, pág. 142-145, 228-229) 525 (Lee and Gaennslen, 2001, pág. 124)	565 (Champod et al., 2004, pág. 142-145, 228-229) 555 (Lee and Gaennslen, 2001, pág. 124)
Violeta cristal	532**	
Amarillo ácido 7	527	550 (Sears et al., 2005, pág. 741-763)
Amarillo ácido 7 + Sangre	445-480	485-500 (Sears et al., 2005, pág. 741-763)
Sangre seca sin tratar	415* (Champod et al., 2004, pág. 168)	

Taula 7. Reactius comuns i les seves longituds d'ona dels pics d'absorció i emissió. Font de la referència¹².

Existeixen dues maneres de registrar o conservar una empremta en pols. El mètode més comú és "l'aixecament". Per aixecar una empremta es col·loca una cinta transparent sobre la superfície que conté la empremta. Mentre s'aplica la cinta s'ha de pressionar per treure les bombolles d'aire i assegurar-nos una bona adherència de les empremtes latents. Es retira i es posa en una targeta base que li dona contrast amb el color de la pols. Cal tenir en compte que durant el procés de comparació la empremta apareix invertida¹⁰.

*No fa fluorescència però apareix fosc.

**Fluorescència baixa i requereix il·luminació làser.

6. PROCÈS D'EXAMINACIÓ

El propòsit d'un examinador és determinar o descartar la font d'una impressió mitjançant la comparació de les crestes generals de dues empremtes dactilars, les seqüències i configuracions de rutes de les crestes. Per tant és necessària una comprensió de l'examinador de la pell amb crestes de fricció i les característiques associades de les crestes, solcs, arrugues, cicatrius, talls, berrugues, arrugues, ampolles i les diferents imperfeccions abans de que l'examen de les imperfeccions es dui a terme. Els verticils, presilles, arcs, crestes terminals, bifurcacions i punts, són algunes de les etiquetes genèriques utilitzades per descriure en general les estructures morfològiques de les crestes de fricció i els seus detalls de les impressions.

Els examinadors han d'estar atents a la singularitat real de les característiques de la cresta. Si un examinador està buscant únicament finals de crestes o bifurcacions, l'examinador només podrà veure una cresta que acaba o que es bifurca. En canvi, si un examinador busca la morfologia general de la cresta, les formes i dimensions d'aquesta, on comença, el camí que fa, on acaba, l'amplada, els bordes, les posicions del porus, etc, l'examinador a mesura que passi el temps es farà més perspicaç en impressions. Cal remarcar que hi ha una gran quantitat d'influències que es produeixen durant el processament, emmagatzematge, gravació i visualització d'impressions.

L'examinador s'ha d'adonar d'això quan examini impressions. Així com la formació de patrons a la naturalesa són únics, els gravats realitzats pels oficials produiran un patró que no serà com qualsevol altre. A la **Figura 29** es mostra una mateixa empremta dactilar amb diferents impressions entintades.



Figura 29. a) impressió típica, b) més pressió exercida, provocant canvi de color i superfície més gran, c) impressió rodada d'un costat a un altre, d) impressió amb més pressió a la part superior del dit, e) impressió amb pressió excessiva, provocant una impressió mal gravada. Font de la referència ¹³.

No existeix una coincidència perfecte o exacte entre dues impressions o gravacions independents de la mateixa font. Cada impressió és única, i és per això que l'examinador ha de saber determinar si les impressions úniques s'han generat per la mateixa font¹³.

6.1. NIVELLS DE DETALLS DE LES IMPRESSIONS

La manera de descriure les característiques de les impressions utilitzant tres nivells va ser presentada per *David Ashbaugh*. Ashbaugh definia els nivells com simples descripcions dels diferents tipus d'informació en tota la impressió. Depenent de la claredat de la impressió, els diferents nivells podran ser detectables o no.

6.1.1. Detalls del primer nivell

El detall del primer nivell és la direcció general del flux de les crestes en la impressió. Les impressions de dits, falanges, puntes, costats, palmes o plantes dels peus tenen detall de primer nivell. La **Figura 30** mostra les direccions generals del flux de la cresta.



Figura 30. Flux de les crestes visible (Primer nivell). Font de la referència¹³.

6.1.2. Detalls de segon nivell

El segon nivell és el camí d'una cresta específica, inclou la posició de partida de la cresta, el camí de la cresta, la longitud de la trajectòria de la cresta i on la cresta es para. El segon nivell és molt més que la ubicació específica de que una cresta acaba en un extrem o bifurcació o els punts de Galton. La **Figura 31** representa els detalls de primer i segon nivell.



Figura 31. Primer i segon nivell de detall. Font de la referència¹³.

6.1.3. Detalls de tercer nivell

El tercer nivell es refereix a les formes de les estructures de la cresta. Aquest nivell de detall abasta la morfologia (costats, textures i posicions dels porus) de la cresta. La claredat de la impressió pot limitar la capacitat d'un examinador de percebre la morfologia, seqüències i configuracions de detalls de tercer nivell. Els detalls del tercer nivell no poden existir sense els detalls del primer i segon nivell. La **Figura 32** representa 3 impressions amb primer, segon i tercer nivell de detall.



Figura 32. Impressions amb primer, segon i tercer nivell de detall. Font de la referència¹³.

Les decisions es prenen al llarg del procés perceptiu. El mètode d'examen necessita que l'examinador prengui decisions durant tot el procés. L'examinador cal que faci i contesti totes les preguntes pertinents per arribar a la conclusió correcta.

7. EQUIPS

Les empremtes dactilars són molt fràgils i fàcilment destruïdes. Un tècnic ha d'estar ben informat sobre l'equip que té disponible tant en el camp com en el laboratori. Amb aquest coneixement, el tècnic serà capaç de seleccionar el millor mètode pel revelat i la preservació d'una impressió¹⁴.

7.1. EQUIP DEL LLOC DELS FETS

7.1.1. Fonts d'il·luminació

Quan es refereix a una font de llum s'inclou qualsevol element que produeix radiació electromagnètica de qualsevol longitud d'ona (des de UV fins IR). Una llanterna és un dels elements importants que ha d'estar en cada kit d'empremtes dactilars. Ha de ser de bona qualitat i produir una llum forta. Típicament és de mà, lleugera i amb bateries, **Figura 33**.



Figura 33. Exemple de llanterna d'ús forense. Font de la referència¹⁴.

7.1.2. Aplicadors de pols per empremtes dactilars

Els tipus d'aplicadors de pols per empremtes dactilars es discuteix a la secció 6.7.1, aplicadors de pols.

7.1.3. Targetes de suport d'empremtes dactilars i materials d'un kit forense

7.1.3.1. Targetes de suport d'impressions latents i targetes decadactilars

Aquestes targetes s'utilitzen per registrar les impressions que han estat aixecades amb la cinta adhesiva. Per lo general tenen una cara brillant i un costat no brillant, i les tenim blanques o negres. Les targetes estan pre impreses amb àrees per obtenir informació (data, número de cas, ubicació...), **Figura 34**. Per distingir els sexes, les targetes de les dones són de color vermell mentre que la dels homes de color negre.

necessàries les llums d'inundació fotogràfica o un sistema de flash fora de la càmera, **Figura 36.**

Figura 36. Kit de fotografia forense.
Font de la referència¹⁴.



7.1.3.5. Elements addicionals

Solen haver elements addicionals que s'inclouen en un kit d'evidència del lloc dels fets com: una cinta de mesurar retractable, regles (de metall i petites i inclús una regla làser), escales per indicar les dimensions en les fotografies (n'hi ha d'adhesives i no adhesives), recipients d'emmagatzematge (per preservar l'evidència i evitar la contaminació com els sobres de manila, bosses de paper, bosses de plàstic/d'evidència, tubs d'evidència (per guardar ganivets,...), cintes adhesiva o d'embalatge, etiquetes d'avertència, respiradors i mascaretes, ulleres transparents per l'ús de pols, guants, lupa d'augment de mà, bolígrafs i marcadors permanents, serra alternant, barreta, joc de claus, etc¹⁴ . **Figura 37.**



Figura 37. Kit d'evidències. Font de la referència¹⁴.

7.2. EQUIP DE LABORATORI

L'equip d'un laboratori consta de varis aparells per a facilitar el revelat de les impressions latents. Dins d'aquests aparells hi trobem: cabines d'extracció de cianocrilat, làsers, càmeres d'humitat, càmeres, eines de comparació (lupes, comptadors de crestes, caixa de llums, etc.

En conclusió ja sigui pel processament d'una escena del crim o el processament d'una evidència en el laboratori, és important tenir un bon coneixement dels equips i el que poden fer per obtenir els millors resultats possibles en cada cas¹⁴.

8. CONCLUSIONS

Com s'ha pogut veure al llarg del treball, les empremtes dactilars no són més que rugositats amb diferents formes que adopta la pell i que no varien les seves característiques al llarg de tota la vida de l'individu. S'han pogut solucionar varies de les qüestions que es plantejaven a l'inici del treball, com si són o no úniques i singulars, i per què, si estan determinades en els nostres gens, etcètera.

El revelat de les empremtes dactilars en la pell humana forma part d'una àrea d'investigació de la ciència criminalística que ha despertat un gran interès al llarg dels anys. És per això, que les empremtes dactilars s'han reforçat en la nostra societat com un identificador i cercadors d'individus. Fer ressò de la importància d'aquest tema per demostrar que no són simples dibuixos en les puntes dels dits, sinó que un futur està escrit en nosaltres.

Així doncs, animem al lector a endinsar-se en el món de la dactiloscòpia, a comprendre cadascun dels sistemes de classificació, i a millorar el sistema de revelat, des de l'aixecament en l'escena del crim fins al procés d'examinació i la posterior comparació.

Com va dir Edmond Locard: *“Sempre que dos objectes entren en contacte transfereixen part del material que incorporen a l'altre objecte”*.

9. BIBLIOGRAFIA

¹ Chacko, L. W.; Vaidya, M. C. **The Dermal Papillae and Ridge Patterns in Human Volar Skin.** *ACTA Anatomica (Basel)* 1968, 70 (1), 99–108.

² Flaxman, B. A.; Nelson, B. K. **Ultrastructural Studies of the Early Junctional Zone Formed by Keratinocytes Showing Contact Inhibition of Movement in Vitro.** *J. Invest. Dermatol.* 1974, 63 (4), 326–330.

³ Lavker, R. M.; Sun, T. T. **Epidermal Stem Cells.** *J. Invest. Dermatol.* 1983, 81 (1) (Suppl.), 121–127.

⁴ Babler, W. J. **Prenatal Selection and Dermatoglyphic Patterns.** *Am. J. Physical Anthropol.* 1978, 48 (1), 21–28.

⁵ Carlson, B. **Human Embryology and Development Biology;** Mosby: New York, 1999.

⁵ <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/225323.pdf>

⁶ Alexander, H. **Classifying Palmprints: A Complete System of Coding, Filing, and Searching Palmprints;** Charles C. Thomas: Springfield, IL, 1973.

⁷ **AFIS Committee Report.** *J. Forensic Ident.* 1998, 48 (4), 489–500.

⁸ **AFIS Committee Report.** International Association for Identification: Mendota Heights, MN, 1994.

⁹ Bratton, R. M.; Juhala, J. A. DFO-Dry. *J. Forensic Ident.* 1995, 45 (2), 169–172.

¹⁰ Bramble, S. K.; Brennan, J. S. **Fingerprints (Dactyloscopy): Chemistry of Print Residue.** In *Encyclopedia of Forensic Science*; Siegel, J., Saukko, P., Knupfer, G., Eds.; Academic Press: London, 2000; pág 862–869.

¹¹ Dalrymple, B.; Duff, J. M.; Menzel, E. R. **Inherent Finger-print Fluorescence-Detection by Laser.** *J. Forensic Sci.* 1977, 22 (1), 106–115.

¹² Guerrero, M. B. L. **The Transparent, Liquid Adhesive, Latent Print Lifter.** *J. Forensic Ident.* 1992, 42 (2), 101–105.

¹³ <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/225329.pdf>

¹⁴ <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/225331.pdf>

<https://criminalistica.mx/areas-forenses/dactiloscopia/600-dactiloscopia>

<http://www.dactiloscopia-dactiloscopia.blogspot.com.es/2007/12/dactiloscopia.html>

<https://es.slideshare.net/EELIEZERR/dactiloscopia-40361073>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Lofoscopia>

<http://psicologiacriminologica.blogspot.com.es/2009/11/lofoscopia.html>

<https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/249575.pdf>

<http://quimicaforense1.blogspot.com.es/p/pagina-n-4.html>