

LÍMITS, MÀQUINES I CITOLOGIA

Isidre Munné-Bertran;
Universal DX, Madrid;

ABSTRACT

L'Intel·ligència Artificial (IA) és una àrea dinàmica de la ciència computacional dedicada a desenvolupar sistemes que imiten capacitats cognitives humanes. Aquestes capacitats inclouen la capacitat per aprendre, reconèixer patrons i prendre decisions, tot plegat possible mitjançant el Machine Learning i el Deep Learning. Aquests algoritmes avançats permeten a la IA processar i analitzar grans volums de dades per optimitzar processos en diversos camps com la robòtica, la visió per computador, el processament del llenguatge natural, i la bioinformàtica.

En termes de dades, l'IA maneja tant dades estructurades, com taules i bases de dades, com dades no estructurades, incloent text, imatges i sons. El Machine Learning es divideix en aprenentatge supervisat, no supervisat i per reforç, segons la naturalesa de les dades d'entrenament i els objectius d'aprenentatge. El Deep Learning, especialment a través de les xarxes neuronals profundes com CNNs i RNNs, excel·leix en tasques que requereixen anàlisi detallada i interpretació complexa, com en la visió per computador, on es realitzen tasques de detecció d'objectes i reconeixement facial.

La visió per computador, en particular, s'ha desenvolupat significativament des de les primeres investigacions en la percepció visual, com els estudis de Hubel i Wiesel amb gats. Aquesta disciplina transforma imatges digitals en dades numèriques analitzables, permetent als sistemes informàtics "veure" i "interpretar" el món de manera similar a com ho fan els humans.

Les aplicacions de l'IA en la citologia, especialment en la segmentació de nuclis i la classificació cel·lular, han redefinit els mètodes de diagnòstic clínic. A través de la segmentació, l'IA pot determinar característiques com el perímetre i la textura dels nuclis, essencial per a la diagnosi precisa. A més, les capacitats de classificació i reconeixement d'objectes de l'IA faciliten el cribratge en citologia ginecològica i la identificació de marcadors específics en proves diagnòstiques.

Finalment, la integració de l'IA en la pràctica citològica no només ha millorat la precisió diagnòstica sinó que també ha ampliat les funcions dels citòlegs, incloent el desenvolupament de protocols de IA, la gestió de dades de qualitat, i la formació educativa. L'IA, per tant, no substitueix els professionals sinó que els proporciona eines avançades per millorar la seva eficàcia i eficiència, redefinint la futura pràctica mèdica.

UNA BREU INTRODUCCIÓ A MACHINE LEARNING I LA SEVA APLICACIÓ EN CITOLOGIA.

Què és la IA?

L'Intel·ligència Artificial (IA) és una branca de la ciència computacional i tecnològica que s'especialitza en crear sistemes capaços de realitzar tasques que, normalment, requereixen intel·ligència humana. Aquests sistemes són impulsats per algoritmes avançats desenvolupats a través de disciplines com el Machine Learning i el Deep Learning (figura 1), que analitzen i aprenen de grans volums de dades per optimitzar i automatitzar processos.

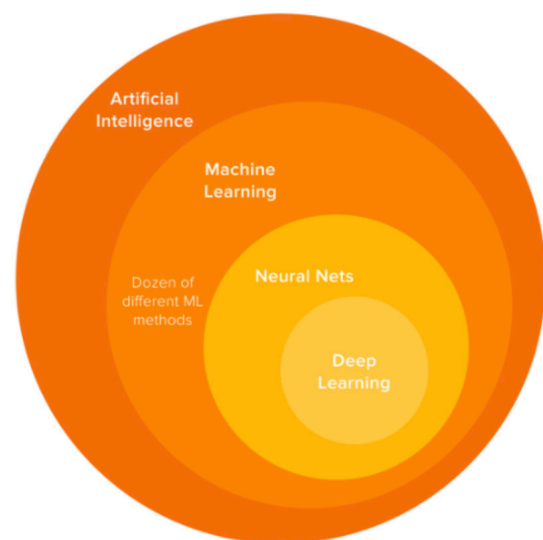


Figura 1. Machine Learning i Deep Learning són tècniques utilitzades per algoritmes avançats

- La IA troba aplicacions en una varietat de camps com la robòtica, on permet als robots executar tasques amb una eficiència i precisió que superen l'actuació humana en certes condicions.
- En la Visió per Computador, la IA interpreta i processa imatges de manera que les màquines poden reconèixer objectes, rostres, i escenes.
- El Processament del Llenguatge Natural permet a les màquines comprendre i generar llenguatge humà, facilitant la interacció entre usuaris i sistemes computacionals.
- A més, la IA juga un paper crucial en el maneig del Big Data, proporcionant eines que poden descobrir patrons i insights que serien inaccessibles manualment.
- En el camp de la bioinformàtica, la IA facilita l'anàlisi de dades complexes relacionades amb la genètica i la biologia molecular, accelerant descobriments i innovacions en medicina.

Aquesta tecnologia no només està redefinint els límits de què poden fer les màquines, sinó que també està remodelant com vivim, treballem i ens relacionem amb el món que ens envolta.

Tipus de Dades:

Per entendre **Machine Learning** i **Deep Learning**, cal conèixer els tipus de dades. Aquestes dades es poden classificar principalment en dues categories: estructurades i no-estructurades.

- 1. Estructurades:** Organitzades en un format ordenat i previsible, com per exemple taules o bases de dades. Aquests formats faciliten l'anàlisi i el processament. Els formats més comuns són: CSV (.csv), JSON (.json), Excel (.xl, .xlsx, .xlsm).
- 2. No-estructurades:** No segueixen un model o format predifinit, com el so, text o imatges. Són dades complexes i abstractes, que requereixen d'altres formats per extreure característiques útils. Els formats més comuns inclouen: Imatges (.jpg, .png, .tiff, .dicom, .svs), àudio (.wav, mp3), text

Tipus de Machine Learning:

Machine Learning es pot subdividir en tres categories principals segons el tipus d'aprenentatge (figura 2):

- 1. Supervised Learning (Aprentatge Supervisat):** Els models s'entrenen utilitzant un conjunt de dades estructurades etiquetades. Això significa que cada exemple de dades el conjunt d'entrenament té una etiqueta o resultat associat. L'objectiu es que el model aprengui a predir l'etiqueta a partir de les característiques de les dades. És útil per tasques de classificació i regressió.
- 2. Unsupervised Learning (Aprentatge No-Supervisat):** Utilitza dades que no estan etiquetades. El model identificarà patrons i estructures intrínseques en les dades. És freqüentment utilitzat per la clusterització i reducció de dimensionalitat.
- 3. Reinforcement Learning (Aprentatge per Reforç):** El model o agent aprèn a prendre decisions analitzant les conseqüències de les seves accions, en un entorn determinat, per maximitzar una recompensa o minimitzar una penalització. S'utilitza en àrees com la robòtica i els jocs.

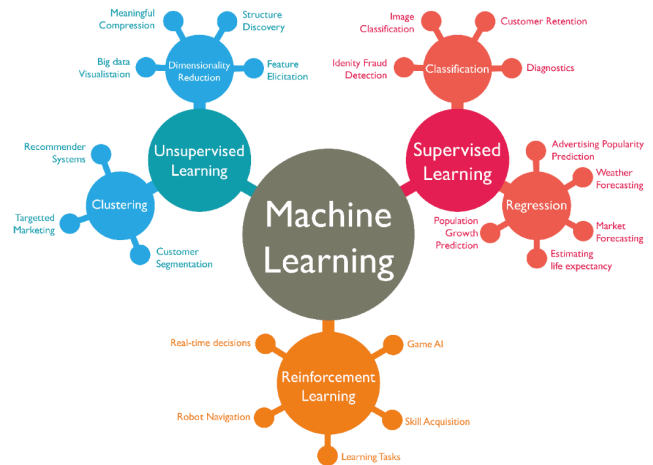


Figura 2. Tipus de Machine Learning principal i el tipus de problema que resol.

Deep Learning:

Deep Learning és una subcategoria de Machine Learning que utilitza xarxes neuronals profundes (figura 3) amb múltiples capes per aprendre de grans volums de dades. A diferència del Machine Learning tradicional, el Deep Learning pot automàticament descobrir característiques per predicció. Exemples de xarxes neuronals inclouen:

USO DE TWITTER EN CITOLOGIA

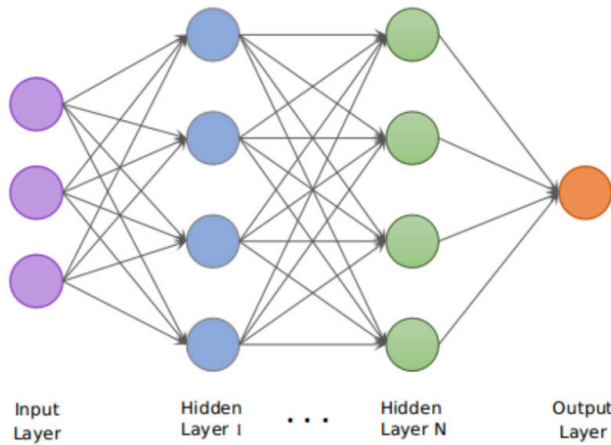


Figura 3. Convolutional Neural Network (CNN), és una xarxa neuronal especialitzada en problemes d'imatge.

- Perceptró: És el tipus més senzill de xarxa neuronal, format per una sola neurona amb pesos ajustables.
- Xarxes Neuronals Feed Forward (FNNs): En aquest tipus de xarxes, la informació només es mou cap endavant, des de l'entrada cap a la sortida, passant per diverses capes ocultes sense bucles.
- Perceptró Multicapa (MLP): Una extensió del perceptró, aquesta xarxa consta de múltiples capes de neurones en un format feed-forward. Cada capa està completament connectada a la següent, i la xarxa és capaç d'aprendre representacions no lineals complexes.
- Xarxes Neuronals Convolucionals (CNNs): Especialment potents en l'àmbit de la Visió per Computador, les CNNs són excel·lents per reconèixer patrons visuals com imatges. Utilitzen un mètode matemàtic anomenat convolució que permet a la xarxa filtrar i aprendre informació de les imatges de manera jeràrquica.
- Xarxes Neuronals Recurrents (RNNs): Útils per treballar amb dades sequencials com l'àudio i el text. Les RNNs tenen la capacitat de mantenir informació en el "loop", permetent-los processar entrades de dades on el context anterior és important, com és el cas del llenguatge.

Aplicacions de Deep Learning:

- Visió per Computador: Les CNNs són extensament utilitzades per tasques com la detecció d'objectes, reconeixement facial, i anàlisi de vídeo, aprofitant la seva capacitat per processar i interpretar imatges.

- Processament de Senyals d'Àudio: Les RNNs, amb la seva habilitat per tractar seqüències de dades, són ideals per a la reconeixió de veu, generació de música, i altres formes d'anàlisi d'àudio.

- Processament del Llenguatge Natural (NLP): Tant les RNNs com les CNNs poden ser aplicades en NLP per tasques com la traducció automàtica, generació de text, i anàlisi de sentiments, entre d'altres.

Què és Computer Vision?

La Visió per Computador (Computer Vision) és un subcamp de la intel·ligència artificial que es centra en ensenyar als ordinadors a veure i interpretar el món com ho fan els humans. Està inspirada en la nostra comprensió dels sistemes visuals biològics dels animals i engloba camps com la informàtica, matemàtiques, l'enginyeria, la biologia, la psicologia i la física.

Com va començar la Visió per Computador:

Amb un gat.

El 1959, dos científics, David H. Hubel i Torsten N. Wiesel (figura 4), van realitzar un experiment amb un gat col·locant-lo en un arnès i inserint un elèctrode al seu còrtex visual primari. Llavors, li van mostrar algunes imatges en una pantalla. El còrtex visual del gat, no va respondre a cap de les imatges

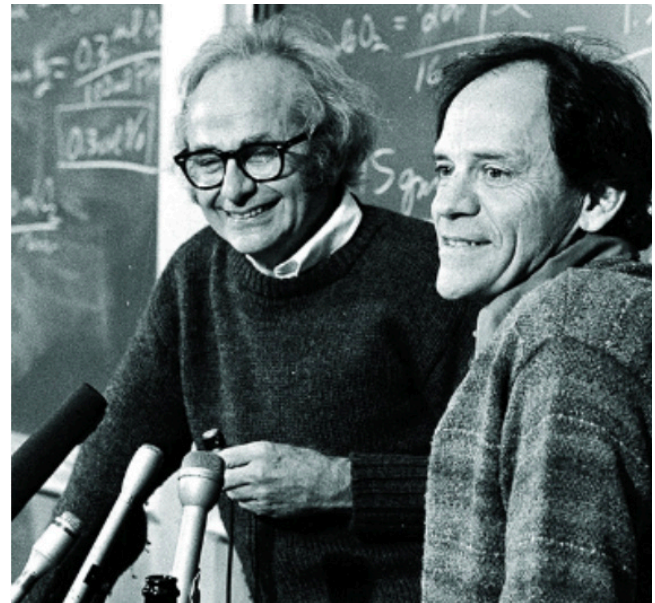


Figura 4. El treball de David Hubel (esquerra) i Torsten Wiesel (dreta) els va premiar amb el Nobel de Medicina en 1981 per els seus descobriments sobre com es processa l'informació visual.

El moment EUREKA va arribar més tard, quan van apagar la pantalla, les neurones del gat van respondre a una simple línia horitzontal de llum (figura 5) que va aparèixer.

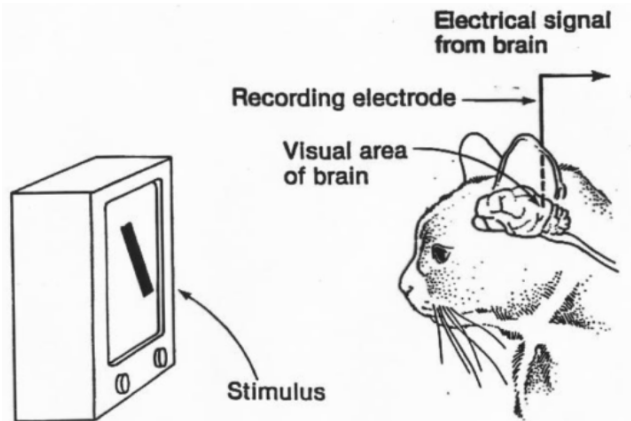


Figura 5. Esquema del experiment.

Aquesta investigació va establir les bases per Computer Vision i per entendre la visió animal, ja que va suggerir que percebem el món com una combinació de línies i vores o límits que finalment formen formes més complexes.

Com funciona la visió humana:

La visió humana depèn dels ulls i del cervell: capturem imatges del nostre entorn, i el nostre cervell treballa per interpretar-les i entendre-les.

L'ull humà captura la llum i la enfoca a la retina, que conté cèl·lules sensibles a la llum anomenades bastons i cons.

- Bastons (figura 6): Responsables de la visió amb poca llum.
- Cons: Processen la visió del color (vermell, verd i blau) i els detalls.

La retina converteix la llum en senyals elèctrics a través d'aquestes cèl·lules, i aquests impulsos elèctrics viatgen a través del nervi òptic i finalment són transmesos al cervell. El cervell processa aquest senyal en el nostre còrtex visual primari, situat al lòbul occipital, que és responsable de la detecció bàsica de línies i vores.

Nivells superiors del processament visual humà ocorren en altres regions del cervell per reconèixer objectes, cares, formes i informació visual més complexa.

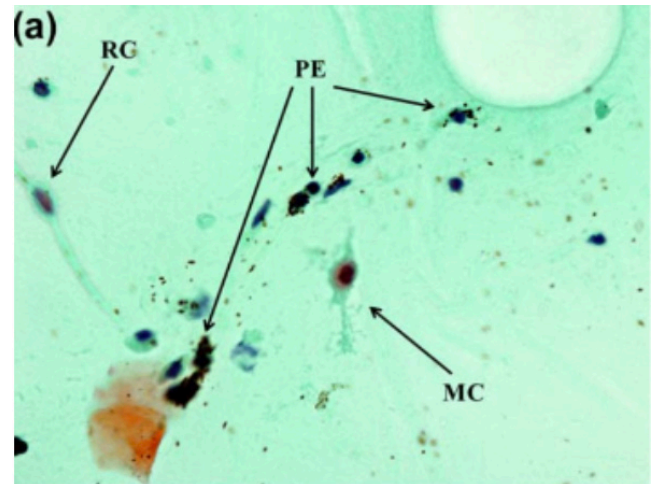


Figura 6. Cèl·lules normals de la retina. Es poden observar bastons (RC o rod cells en anglès) mitjançant citologia de fluid vitri (tinció de Papanicolau x400). Font: adaptat de Kinoshita et al.,2015.

Com funciona la Visió per Computador:

L'ull de la Visió per Computador funciona convertint imatges digitals en representacions numèriques que es poden processar i analitzar.

Qualsevol imatge digital es pot convertir en un array de NumPy (figura 7), que tradueix la imatge com una matriu de píxels, amb cada píxel contenint els valors d'intensitat de tres canals de color bàsics: vermell, verd i blau.

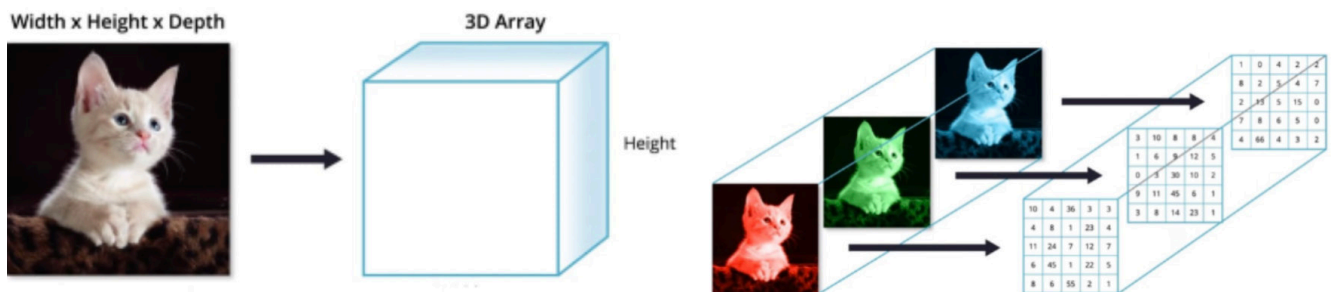


Figura 7. Esquema de la representació d'imatges per ordinador. La imatge es divideix en píxels i la matriu de píxels conté valors de l'intensitat amb els tres colors bàsics per poder fer operacions numèriques amb llenguatges de programació.

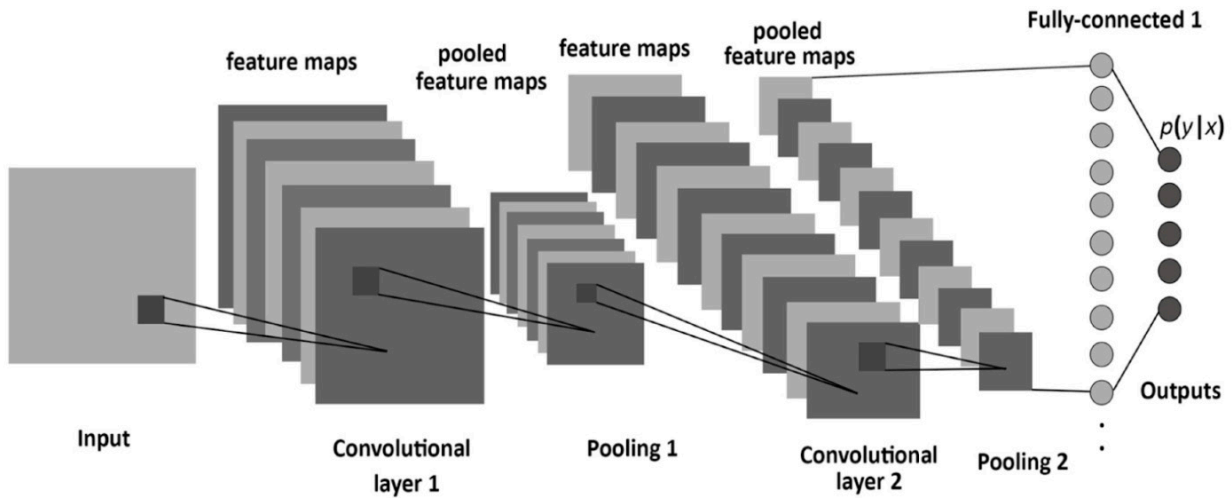


Figura 8. Estructura d'una Convolutional Neural Network o CNN.

Per simplificar el processament i reduir els requisits computacionals, sovint l'imatge es converteix en escala de grisos. Els valors dels píxels en escala de grisos representen nivells d'intensitat que van de 0 (negre) a 255 (blanc).

El "cervell" de la Visió per Màquina funciona utilitzant "Xarxes Neuronals Convolucionals" (CNNs figura 8) i tècniques d'Aprenentatge Profund (Deep Learning), ambdues profundament arrelades en com processem la informació amb el nostre propi cervell.

Les CNNs pretenen replicar l'estructura jeràrquica del cervell processant les imatges en una sèrie de capes i utilitzant pesos per ajustar la importància de les característiques d'entrada.

Durant el procés d'entrenament, cada capa es centra en característiques específiques com línies i vores. Els pesos es van actualitzant en cada bucle, afegint complexitat al procés de trobar patrons i característiques de les imatges d'entrada.

Les CNNs són comúment utilitzades per tasques complexes i similars a les humanes com la classificació d'imatges, detecció d'objectes i segmentació.

Aplicacions de IA en Citologia:

En el camp de la Computer Vision i la segmentació d'imatges, una de les aplicacions més útils és la segmentació de nuclis (figura 9), que permet analitzar-los mitjançant mètriques numèriques específiques com perímetre, simetria, radi, textura i concavitat, a més d'incorporar una etiqueta de diagnòstic.

Això transforma dades brutes en informació valuosa per a decisions clíniques.

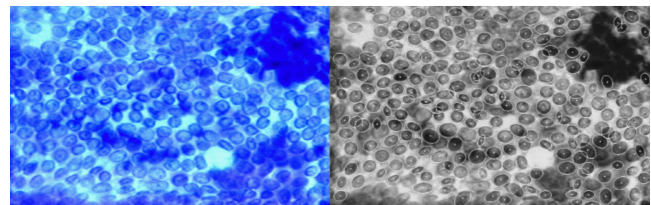


Figura 9. La segmentació de nuclis és una de les aplicacions amb més potencial per citologia.

En l'àmbit de la classificació, la IA pot distingir entre diferents tipus cel·lulars i materials en una mostra. Això inclou la diferenciació entre elements de fons com el colòide, sang, flora i microorganismes, així com entre tipus d'inflamació, cèl·lules normals i atípiques. Aquests mètodes s'utilitzen actualment en citologia ginecològica per als nous sistemes de cribratge (figura 10).

En el reconeixement d'objectes, les aplicacions inclouen el comptatge automàtic de marcadors nuclears com Ki67 i PG64, i de marcadors de membrana com CD8 i HER2. També s'utilitzen en l'anàlisi de les senyals de FISH amb ALK, identificant llums vermelles i verdes en un nombre específic de cèl·lules, i en el comptatge de la inflamació en els broncoalveolar lavages (BAL).

Depenent de l'aplicació i el problema a resoldre, es poden utilitzar tant mètodes com Computer Vision, Machine Learning o fins i tot tècniques de segmentació més simples, com morphological snakes i Hough transformation.

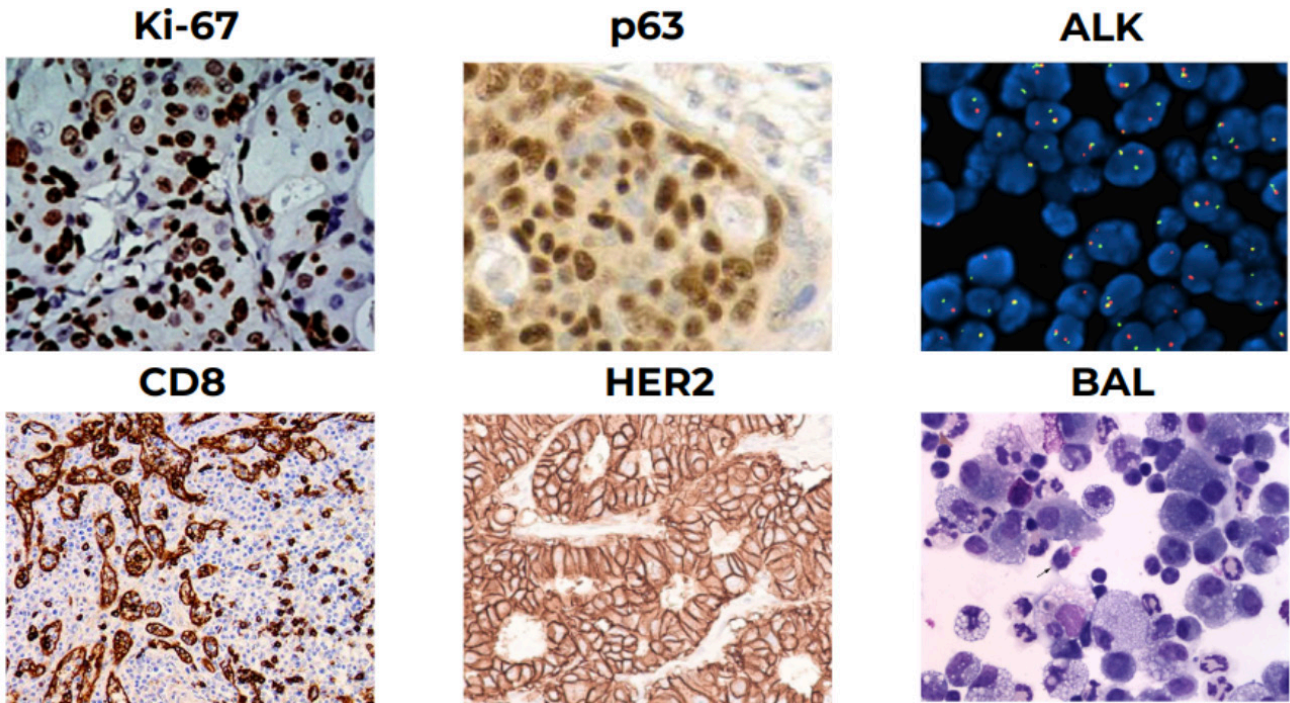


Figura 10. Object Detection, una solució de Computer Vision, pot aplicar-se per fer comptatge de IHQ, FISH i altres proves específiques.

Seguint la primera normativa de Google per a desenvolupadors, no cal temer llançar un producte sense integrar Machine Learning.

Funcions del Citòleg amb la IA:

En un món on la tecnologia avança a passos agigantats, la integració de la intel·ligència artificial (IA) en el camp de la Citologia és una realitat, redefinint els rols tradicionals dels professionals en aquest camp. Els citòlegs, lluny de veure les seves posicions amenaçades, es troben davant l'oportunitat de potenciar la seves habilitats diagnòstiques amb la IA i ampliar les seves eines professionals:

Desenvolupament de Protocols de IA i Millora de Models Semi-automàtics: Col·laborar en el disseny i millora dels algorismes de IA. Citopatòlegs i citotecnòlegs poden treballar junts per ajustar la precisió i eficàcia dels models, aportant el seu coneixement especialitzat i experiència en la verificació de dades i feedback continu.

Gestió de Bases de Dades i Qualitat de Dades: Administrar les bases de dades de mostres citològiques, assegurant que la IA tingui accés a dades d'alta qualitat i ben organitzades per al seu processament.

Educació i Formació: Utilitzar sistemes basats en IA per a la formació de nous professionals, facilitant simulacions i anàlisi de casos reals per a educació i proves.

Interpretació de Casos Difícils: Utilitzar la IA per realitzar un pre-anàlisi de les mostres, especialment per casos inusuals, depenen del judici expert dels professionals per interpretar casos complexos on la IA pot tenir limitacions.

Recursos en Línia:

Dataquest (<https://www.dataquest.io/>) i **freeCodeCamp** (<https://www.freecodecamp.org/>): Per aquells que busquen formació en línia i gratuïta, aquestes dues plataformes ofereixen cursos exhaustius que van des dels fonaments de la programació fins a conceptes avançats en ciències de dades i IA.

Ironhack (<https://www.ironhack.com/>): Com escola privada, Ironhack ofereix cursos intensius que cobreixen Python i els fonaments de les ciències de dades, ideal per a aquells que prefereixen un entorn d'aprenentatge més estructurat.

Kaggle (<https://www.kaggle.com/>): Ofereix datasets públics i competicions que inclouen problemes específics de Computer Vision.

USO DE TWITTER EN CITOLOGIA

GitHub (<https://github.com/>): El lloc ideal per accedir a datasets públics i codi open source. A més, GitHub serveix com una plataforma de networking, permetent als professionals connectar amb altres en la indústria i col·laborar en projectes.

Papers with Code (<https://paperswithcode.com/>): Aquesta plataforma ofereix un accés directe al codi d'implementació de molts papers de recerca importants, facilitant la comprensió i replicació d'avancs recents en IA.

Curs de Harvard a edX per Computer Vision (HarvardX: CS50's Introduction to Artificial Intelligence with Python | edX): Aquest curs ofereix una introducció sòlida als principis i aplicacions de la visió per computador, directament des d'una de les universitats més prestigioses del món.

LearnPyTorch. (<https://www.learnpytorch.io/>): Per a aquells interessats específicament en aprendre PyTorch, una de les biblioteques més populars per a desenvolupament en IA, aquesta plataforma ofereix tutorials detallats i exemples de codi.

Missatges clau:

- Machine Learning i Deep Learning són algoritmes avançats d'Intel·ligència Artificial.
- Existeixen 3 tipus principals de Machine Learning; Supervisat (etiquetes), No Supervisat (sense etiquetes), i de Reforçament.

- Les xarxes neuronals són típiques de Deep Learning.

- Depenent de la xarxa, podem realitzar diferents tasques; per exemple, en Computer Vision, podem resoldre problemes de Classificació, Segmentació i Detecció d'Objectes utilitzant CNNs.

- En nivells més primaris, els ordinadors i els humans processen les imatges com línies i vores, per després obtenir i interpretar informació més complexa.

- Els ordinadors processen les imatges com matrius de píxels amb tres canals de color bàsic: vermell, verd i blau representant la seva intensitat.

- La IA en Citologia ens pot permetre segmentar nuclis per obtenir informació més precisa, classificar cèl·lules o realitzar recomptes automàtics.

- La IA és una eina més en Citologia, amb noves funcions relacionades com l'anotació per ground truth, la gestió de bases de dades, l'educació i la interpretació de casos difícils.

- Existeixen molts recursos educatius en línia que són gratuïts per formar-se en Python, Ciència de Dades i Computer Vision, els quals poden ser útils per la pràctica clínica diària. ■

Bibliografia

- Kinoshita Y, Takasu K, Kobayashi TK, Yuri T, Tsubura A, Shikata N. Diagnosis of intraocular lesions using vitreous humor and intraocular perfusion fluid cytology: Experience with 83 cases. *Diagn Cytopathol*. 2015;43(5):353-9. doi: 10.1002/dc.23222.
- Wolberg WH, Street WN, Mangasarian OL. Machine learning techniques to diagnose breast cancer from fine-needle aspirates. *Cancer Letters*. 1995;77(2-3):163-171.
- isahit. Why to use grayscale conversion during image processing. Disponible a: <https://www.isahit.com/blog/why-to-use-grayscale-conversion-during-image-processing>.
- EBP F, et al. Effect of grayscale conversion on the diagnostic quality of digital images. *Vet Clin Pathol*. 2013 Sep;42(3):321-7. doi: 10.1111/vcp.12046.
- V7 Labs. What is computer vision? Disponible a: <https://www.v7labs.com/blog/what-is-computer-vision>.
- W3Schools. Artificial Intelligence - AI. Disponible a: <https://www.w3schools.com/ai/>.
- Brownlee J. Object Recognition with Deep Learning. *Machine Learning Mastery*. Disponible a: <https://machinelearningmastery.com/object-recognition-with-deep-learning/>.
- Sharma A. Computer Vision and Image Processing. *The Startup, Medium*. Disponible a: <https://medium.com/swlh/computer-vision-and-image-processing-470ceea06b91>.
- Martin R. Performing object detection without localization. *Stack Exchange*. Disponible a: <https://stats.stackexchange.com/questions/532998/performing-object-detection-without-localization>.