



Programa de MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA ANÁLISIS DE BIOIMÁGENES

1. NOMBRE DE LA UNIDAD CURRICULAR

Métodos cuantitativos para análisis de bioimágenes.

2. CRÉDITOS

8 créditos

3. OBJETIVOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Al finalizar el curso, el estudiante:

- Adquirirá los conceptos principales de Procesamiento de Señales y Aprendizaje Automático aplicados al análisis de bioimágenes por computadora, con énfasis en ciencias de la vida.
- Comprenderá los fundamentos del procesamiento de señales, aprendizaje profundo y aprendizaje automático para el procesamiento y análisis de bioimágenes.
- Tendrá experiencia en el uso de software que implementa algoritmos de procesamiento de imágenes y análisis basado en aprendizaje automático.
- Será capaz de encarar proyectos de aplicación de alcance medio.
- Adquirirá la terminología específica del área que le permitirá dialogar con personal más experimentado para desarrollar proyectos de mayor envergadura.
- Tendrá en cuenta aspectos generales del Aprendizaje Automático, su impacto en la Inteligencia Artificial, los aspectos éticos de su aplicación y sus consideraciones en las publicaciones científicas.

4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Se realizarán catorce clases teórico/prácticas de cuatro horas. Los estudiantes aplicarán los conceptos teóricos mediante el uso de un software que implementa una biblioteca de algoritmos de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático y profundo a fin de impulsarlos a consolidar los conceptos a través de la práctica y el desarrollo de nuevos procedimientos (macros, scripts).



5. TEMARIO

1. Fundamentos de las bioimágenes. Procesamiento de imágenes: problemas y aplicaciones. Relaciones con disciplinas vecinas. Pasos fundamentales en el procesamiento de imágenes: Esquema general de un sistema de visión por computador.
2. Representación y visualización de imágenes. Arreglos de datos multidimensionales. Imágenes vectoriales. Discretización espacio-temporal. Cuantificación. Visualización de imágenes 2D, 3D, 3D+t. Formatos de almacenamiento.
3. Introducción a ImageJ/Fiji. Presentación del software ImageJ/Fiji. Comandos y operaciones. Manejo de memoria. Operaciones sobre imágenes, filtrado, manejo de regiones de interés.
4. Histogramas y operaciones de píxeles. Histogramas, operaciones con histogramas, ecualización de histograma, modificación brillo y contraste, cuantificación, umbralización global y local.
5. Macros y scripts en ImageJ/Fiji. Registro y ejecución de secuencias de comandos (macros). Modificación de macros. Comandos de entrada y salida. Ejecución en lotes (batch processing)
6. Adquisición y formación de imágenes. Relación con el modelo de la visión humana. Modelo de color. Modelo de ruido. Concepto de apertura. Relación con la resolución. Formación de imagen en microscopio óptico, de fluorescencia y confocal. OTF/PSF
7. Sistemas lineales y filtrado de señales. Filtros lineales, convolución. Filtros no lineales. Filtros en el espacio y en frecuencia. Difusión isotrópica y anisotrópica.
8. Análisis frecuencial. Teoría de Fourier. Descomposición en senos y cosenos. FFT. Transformada de Fourier. Propiedades. Ancho de banda. Módulo y fase. Teorema de convolución. Filtrado en el espacio y en frecuencia.
9. Restauración de ruido y degradaciones. Modelo de la degradación: desenfoque, borrono, ruido. Métodos de restauración. Filtro adaptivo. Filtro inverso. Medidas de desempeño.
10. Fundamentos del Aprendizaje Automático (AA). Planteo y diagrama de un sistema de AA. Tipos de problemas de AA. Etapas de desarrollo. Medidas de desempeño. Optimización y búsqueda de parámetros. Sobre-ajuste y medidas para evitarlo. Clasificadores: SVM, Decision Trees, Ensemble Learning, Random Forest, LDA, QDA.
11. Introducción a ilastik. Presentación del software ilastik. Flujos de trabajos. Formatos de salida para grandes volúmenes de datos. Ajuste de parámetros y procesamiento batch para imágenes. Comunicaciones con ImageJ/Fiji.
12. Clasificación de píxeles y objetos. Clasificación de píxeles y objetos con un enfoque de AA. Entrenamientos de clasificadores. Medida de desempeño.
13. Análisis de imágenes a color y textura. Teoría del color. Espacios de representación de color. Texturas estructurales y estadísticas. Métricas para texturas. Conceptos básicos de Aprendizaje Automático para clasificación de



- texturas.
14. Fundamentos del Aprendizaje Profundo. Perceptrón, Perceptrón Multicapa (MLP) y redes neuronales (NN). Redes neuronales convolucionales (CNN), arquitecturas basadas en U-Net.
 15. Introducción a DeeplImageJ. Presentación del plugin para ImageJ/Fiji DeeplImageJ y sus etapas de carga y ejecución de modelos. El Bioimage Model Zoo
 16. Seguimiento de objetos y partículas. Seguimiento de objetos (células, spots) en secuencias de imágenes. Planteo del diagrama detección-seguimiento. Métodos de AA en detección.
 17. Análisis de formas. Análisis de objetos detectados en imágenes. Factor de forma. Medidas geométricas Medidas estadísticas.
 18. Adaptación de dominio (transfer learning). Adaptación de modelos pre-entrenados a nuevos datos.
 19. Super-resolución en fluorescencia. Criterios de resolución. Influencia de la PSF. Técnicas modernas de nanoscopía. Métodos basados en luz estructurada (SIM). Métodos basados en depleción de fluorescencia (STED). Métodos estocásticos (PALM, STORM, SOFI). Método Mean-Shift Super Resolution (MSSR).
 20. Otras arquitecturas de redes neuronales y aplicaciones. Autoencoders. Redes generativas adversarias (GAN). Transformers. Restauración de imágenes.
 21. Software y aplicaciones de AA para bioimágenes. DL4MicEverywhere, StarDist, QuPath, Microscopy Image Analyzer, otros.
 22. Buenas prácticas en el uso de imágenes científicas.
 23. Aspectos éticos de la aplicación del AA. Consideraciones para las publicaciones científicas con métodos de AA, y la relación con la Inteligencia Artificial.

6. BIBLIOGRAFÍA

Tema	Básica	Complementaria
1. Fundamentos de las bioimágenes.	1-4	
2. Representación y visualización de imágenes.	1-4	
3. Introducción a ImageJ/Fiji.	4, 5	
4. Histogramas y operaciones de píxeles.	1-4	
5. Macros y scripts en ImageJ/Fiji.	4	
6. Adquisición y formación de imágenes.	4	
7. Sistemas lineales y filtrado de señales.	1-4	
8. Análisis frecuencial.	1-4	
9. Restauración de ruido y degradaciones.	1-4	
10. Fundamentos del Aprendizaje Automático (AA).	1, 5, 6	
11. Introducción a ilastik.	5	10
12. Clasificación de píxeles y objetos.	1, 5	7, 9
13. Análisis de imágenes a color y textura.	1, 3	7
14. Fundamentos del Aprendizaje Profundo.	1, 5	
15. Introducción a DeeplImageJ.	4	11, 12, 13



16. Seguimiento de objetos y partículas.		14
17. Análisis de formas.	1	7, 8
18. Adaptación de dominio (transfer learning).	5	15
19. Super-resolución.	25, 26, 27, 28, 29, 30, 31	
20. Otras arquitecturas de redes neuronales y aplicaciones.	16	
21. Software y aplicaciones de AA para bioimágenes.	17, 18	
22. Buenas prácticas en el uso de imágenes científicas.	19, 20, 21, 22	
23. Aspectos éticos de la aplicación del AA.	23, 24	

6.1 Básica

1. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital image processing. Pearson.
2. Burger, W., & Burge, M. (2009). Principles of digital image processing: Fundamental techniques. Springer-Verlag.
3. Burger, W., & Burge, M. (2009b). Principles of digital image processing: Fundamental techniques. Springer-Verlag.
4. Bankhead, Peter (2014). Analyzing fluorescence microscopy images with ImageJ. Disponible online en <https://petebankhead.gitbooks.io/imagej-intro/content/>
5. Bishop, C. M. (2006). Pattern recognition and machine learning. Springer.
6. Kubitschek, U. (Ed.). (2013). Fluorescence microscopy: From principles to biological applications. Wiley-Blackwell.

6.2 Complementaria

6.2.1 Libros

7. Russell, S. J., Norvig, P., Chang, M., Devlin, J., Dragan, A., Forsyth, D., Goodfellow, I., Malik, J., Mansinghka, V., Pearl, J., & Wooldridge, M. J. (2022). Artificial intelligence: A modern approach (Fourth edition, global edition). Pearson.
8. Burger, W., & Burge, M. J. (2022). Digital image processing: An algorithmic introduction (Third edition). Springer.
9. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press.

6.2.2 Artículos relevantes de la literatura

10. Berg, S., Kutra, D., Kroeger, T., Straehle, C. N., Kausler, B. X., Haubold, C., Schiegg, M., Ales, J., Beier, T., Rudy, M., Eren, K., Cervantes, J. I., Xu, B., Beuttenmueller, F., Wolny, A., Zhang, C., Koethe, U., Hamprecht, F. A., & Kreshuk, A. (2019). ilastik: Interactive machine learning for (bio)image analysis. Nature Methods, 16(12), 1226–1232. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0582-9>



11. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In N. Navab, J. Hornegger, W. M. Wells, & A. F. Frangi (Eds.), *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015* (Vol. 9351, pp. 234–241). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
12. Hallou, A., Yevick, H., Dumitrascu, B., & Uhlmann, V. (2021). Deep learning for bioimage analysis. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2107.02584>
13. Gómez-de-Mariscal, E., García-López-de-Haro, C., Ouyang, W., Donati, L., Lundberg, E., Unser, M., Muñoz-Barrutia, A., & Sage, D. (2021). DeepImageJ: A user-friendly environment to run deep learning models in ImageJ. *Nature Methods*, 18(10), 1192–1195. <https://doi.org/10.1038/s41592-021-01262-9>
14. Romero-Ferrero, F., Bergomi, M. G., Hinz, R. C., Heras, F. J. H., & De Polavieja, G. G. (2019). idtracker.ai: Tracking all individuals in small or large collectives of unmarked animals. *Nature Methods*, 16(2), 179–182. <https://doi.org/10.1038/s41592-018-0295-5>
15. Matskevych, A., Wolny, A., Pape, C., & Kreshuk, A. (2022). From Shallow to Deep: Exploiting Feature-Based Classifiers for Domain Adaptation in Semantic Segmentation. *Frontiers in Computer Science*, 4, 805166. <https://doi.org/10.3389/fcomp.2022.805166>
16. Boothe, T., Ivanković, M., Grohme, M. A., Markus, M. A., Dullin, C., Xu, X., & Rink, J. C. (2023). Content aware image restoration improves spatiotemporal resolution in luminescence imaging. *Communications Biology*, 6(1), 518. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04886-z>
17. Hidalgo-Cenalmor, I., Pylvänäinen, J. W., Ferreira, M. G., Russell, C. T., Arganda-Carreras, I., AI4Life Consortium, Jacquemet, G., Henriques, R., & Gómez-de-Mariscal, E. (2023). DL4MicEverywhere: Deep learning for microscopy made flexible, shareable, and reproducible [Preprint]. *Bioinformatics*. <https://doi.org/10.1101/2023.11.19.567606>
18. Von Chamier, L., Laine, R. F., Jukkala, J., Spahn, C., Krentzel, D., Nehme, E., Lerche, M., Hernández-Pérez, S., Mattila, P. K., Karinou, E., Holden, S., Solak, A. C., Krull, A., Buchholz, T.-O., Jones, M. L., Royer, L. A., Leterrier, C., Shechtman, Y., Jug, F., ... Henriques, R. (2021). Democratising deep learning for microscopy with ZeroCostDL4Mic. *Nature Communications*, 12(1), 2276. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22518-0>
19. Rossner, M., & Yamada, K. M. (2004). What's in a picture? The temptation of image manipulation. *The Journal of Cell Biology*, 166(1), 11–15. <https://doi.org/10.1083/jcb.200406019>
20. Lopes, C. D., Gomez-Lazaro, M., & Pêgo, A. P. (2015). Seeing is believing but quantifying is deciding. *Nanomedicine*, 10(15), 2307–2310. <https://doi.org/10.2217/nnm.15.101>



21. Jonkman, J., Brown, C. M., Wright, G. D., Anderson, K. I., & North, A. J. (2020). Tutorial: Guidance for quantitative confocal microscopy. *Nature Protocols*, 15(5), 1585–1611. <https://doi.org/10.1038/s41596-020-0313-9>
22. Cromey, D. W. (2012). Digital Images Are Data: And Should Be Treated as Such. In D. J. Taatjes & J. Roth (Eds.), *Cell Imaging Techniques* (Vol. 931, pp. 1–27). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-056-4_1
23. Chen, J., Viana, M. P., & Rafelski, S. M. (2023). When seeing is not believing: Application-appropriate validation matters for quantitative bioimage analysis. *Nature Methods*, 20(7), 968–970. <https://doi.org/10.1038/s41592-023-01881-4>
24. Nogare, D. D., Hartley, M., Deschamps, J., Ellenberg, J., & Jug, F. (2023). Using AI in bioimage analysis to elevate the rate of scientific discovery as a community. *Nature Methods*, 20(7), 973–975. <https://doi.org/10.1038/s41592-023-01929-5>
25. Gustafsson, N., Culley, S., Ashdown, G., Owen, D. M., Pereira, P. M., & Henriques, R. (2016). Fast live-cell conventional fluorophore nanoscopy with ImageJ through super-resolution radial fluctuations. *Nature Communications*, 7(12471), 1–9. <https://doi.org/10.1038/ncomms12471>
26. Betzig, E., Patterson, G. H., Sougrat, R., Lindwasser, O. W., Olenych, S., Bonifacino, J. S., Davidson, M. W., Lippincott-Schwartz, J., & Hess, H. F. (2006). Imaging intracellular fluorescent proteins at nanometer resolution. *Science (New York, N.Y.)*, 313(5793), 1642–1645. <https://doi.org/10.1126/science.1127344>
27. Huang, B., Bates, M., & Zhuang, X. (2010). Super resolution fluorescence microscopy. *Annual Review of Biochemistry*, 78, 993–1016. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.77.061906.092014>
28. Hess, S. T., Girirajan, T. P. K., & Mason, M. D. (2006). Ultra-high resolution imaging by fluorescence photoactivation localization microscopy. *Biophysical Journal*, 91(11), 4258–4272. <https://doi.org/10.1529/biophysj.106.091116>
29. Rust, M. J., Bates, M., & Zhuang, X. (2006). Sub-diffraction-limit imaging by stochastic optical reconstruction microscopy (STORM). *Nature Methods*, 3(10), 793–795. <https://doi.org/10.1038/nmeth929>
30. Torres-García, E., Pinto-Cámara, R., Linares, A., Martínez, D., Abonza, V., Brito-Alarcón, E., Calcines-Cruz, C., Valdés-Galindo, G., Torres, D., Jabłoński, M., Torres-Martínez, H. H., Martínez, J. L., Hernández, H. O., Ocelotl-Oviedo, J. P., Garcés, Y., Barchi, M., D'Antuono, R., Bošković, A., Dubrovsky, J. G., ... Guerrero, A. (2022). Extending resolution within a single imaging frame. *Nature Communications*, 13(1), 7452. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34693-9>
31. Agarwal, K., & Macháň, R. (2016). Multiple signal classification algorithm for super-resolution fluorescence microscopy. *Nature Communications*, 7(1), 13752. <https://doi.org/10.1038/ncomms13752>



7. CONOCIMIENTOS PREVIOS EXIGIDOS Y RECOMENDADOS

7.1 Conocimientos Previos Exigidos: Probabilidad, programación.

7.2 Conocimientos Previos Recomendados: Manejo básico de imágenes digitales.



ANEXO A Para todas las Carreras

A1) INSTITUTO

Instituto de Ingeniería Eléctrica

A2) CRONOGRAMA TENTATIVO

Semana 1	<ul style="list-style-type: none">• Presentación (0.5 horas)• Adquisición de bioimágenes (3.5 horas)• Representación y visualización de imágenes (1 hora)• ImageJ/FIJI (3 horas)• Histograma y operaciones de píxel (4 horas)• Sistemas lineales y filtrado de señales (3.5 horas)• Macros (0.5 horas)
Semana 2	<ul style="list-style-type: none">• Análisis frecuencial (4 horas)• Restauración de ruido y degradaciones (4 horas)• Machine Learning 101. ilastik (1 hora)• Bioimágenes. Clasificación de píxeles (3 horas)• Imágenes a color y textura (4 horas)• Seguimiento de objetos en secuencias (4 horas)
Semana 3	<ul style="list-style-type: none">• Modelos. Clasificación de objetos (4 horas)• Segmentación I. Análisis de formas (4 horas)• Deep Learning 101 (1 hora)• Segmentación II (3 horas)• Transfer Learning (2.5 horas)• Super-resolución (2 hora)• GANs. VAEs. Restauración. Más aplicaciones (2 hora)• Buenas prácticas en el uso de imágenes científicas (1.5 horas)

A3) MODALIDAD DEL CURSO Y PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Se realizarán catorce clases teórico/prácticas de cuatro horas cada una con una pausa de 20 minutos. Los estudiantes aplicarán los conceptos teóricos mediante el uso de softwares que implementan algoritmos de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático y profundo a fin de impulsarlos a consolidar los conceptos a través de la práctica y el desarrollo de nuevos procedimientos (macros, scripts).

La parte práctica se cubrirá con hojas de ejercicios, algunos de los cuales serán resueltos en conjunto en clase. Estos ejercicios son para entrenamiento y preparación del estudiante, no son parte de la evaluación.



Se dispondrá de horarios de consulta para la preparación de la evaluación posterior a la finalización de las clases presenciales.

La evaluación tendrá dos instancias.

- (1) La primera prueba con ejercicios a ser resueltos de forma individual presencial/síncrona en fecha a acordar con los estudiantes.
- (2) La segunda prueba tendrá dos modalidades alternativas:
 - a. Ejercicios para resolver de forma individual y asíncrona; o
 - b. Para los estudiantes con experiencia de programación pueden realizar un trabajo final (monografía) donde se aborde un problema de procesamiento y análisis de bioimágenes.

La dedicación horaria estimada para la aprobación del curso es de 124 horas desglosadas de la siguiente manera:

- Horas de clase (teórico): 28
- Horas de clase (práctico): 28
- Horas de evaluación: 4
 - o Subtotal horas presenciales: 60
- Horas de estudio: 32
- Horas de resolución de ejercicios: 32
 - o Subtotal horas no presenciales: 64

A4) CALIDAD DE LIBRE

No adhiere a la calidad de libre.

A5) CUPOS DE LA UNIDAD CURRICULAR

Cupos mínimos: 1

Cupos máximos: Tiene cupo, se definirá en cada edición.

APROBADO POR RES. DE CONSEJO DE FACULTAD DE INGENIERIA
FECHA 19/05/2026 EXP:061100-000145-25