



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

Evaluación de Áreas Verdes en Valencia mediante
Técnicas Geoespaciales

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación

AUTOR/A: Sujar Cost, Adrián

Tutor/a: Coll Aliaga, Peregrina Eloína

Cotutor/a: Porres de la Haza, María Joaquina

Director/a Experimental: Lorenzo Sáez, Edgar

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



EVALUACIÓN DE ÁREAS VERDES EN VALENCIA MEDIANTE TÉCNICAS GEOESPACIALES.

Trabajo de Final de Máster.

Máster Universitario en Ingeniería Geomática y Geoinformación.

Autor: Adrián Sajar Cost

Tutores:

Eloina Coll Aliaga

María Joaquina Porres de la Haza

Director experimental:

Edgar Lorenzo Saez

Curso académico: 2023-2024

Agradecimientos.

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos los integrantes de la Cátedra de Governança de la Ciutat de València. Vuestro apoyo y la creación de un entorno de trabajo tan agradable y cooperativo han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos, gracias por estar a mi lado cada día, por compartir vuestros conocimientos y por ofrecerme momentos de desconexión tan necesarios. Vuestra amistad ha sido un pilar esencial durante este proceso.

A todos los docentes que me han guiado en el maravilloso mundo de la Geomática y la Topografía, les debo gran parte de mi formación. En particular, quiero agradecer a Ana Ánquela, cuyo apoyo incondicional ha sido crucial durante mi estancia en la ETSIGCT. Un agradecimiento especial a Eloina, Vicky y Edgar, por introducirme en el fascinante campo de los datos abiertos y la eficiencia energética, donde he aprendido innumerables conceptos nuevos. Su ayuda en las correcciones y la resolución de dudas ha sido invaluable en la elaboración de mi trabajo final de grado.

A mi pareja y a su familia, gracias por el amor y el tiempo que me han regalado cada día. Vuestro cariño ha sido una fuente constante de motivación y felicidad.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi familia. Gracias por creer siempre en mí, por vuestro apoyo incondicional y por hacerme sentir único. Vuestra fe en mí ha sido el motor que me ha impulsado a lo largo de esta aventura.

Compromisos.

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado se origen en el texto, así como referido en la bibliografía."

València 29/06/2024

Adrián Sujar Cost

Resumen.

El propósito del presente trabajo es llevar a cabo un análisis geoespacial de la distribución de la vegetación en el término municipal de València. Este análisis incluirá la evolución de la distribución de la vegetación en diversas fechas y mediante diferentes metodologías contemporáneas. Se buscará examinar las áreas verdes del término municipal de València utilizando múltiples métodos modernos, con el fin de evaluar las similitudes y diferencias entre las distintas metodologías empleadas.

El análisis se llevará a cabo mediante la adquisición de imágenes satelitales, aplicando algoritmos de enmascaramiento de nubes para obtener imágenes libres de nubosidad para cada metodología. Estas imágenes permitirán calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en cada píxel. De esta manera, se evaluará la eficacia y los resultados de cada metodología aplicada en el contexto urbano de València.

Además, se realizará una comprobación con la capa de datos abiertos del Ayuntamiento de València del servicio de parques y jardines, efectuándose análisis espaciales con diversas capas de información geográfica de la ciudad.

Finalmente, el estudio proporcionará recomendaciones sobre la gestión y planificación de las áreas verdes en València, destacando la importancia de utilizar técnicas geoespaciales avanzadas en la toma de decisiones ambientales y urbanísticas.

Resum.

El propòsit del present treball és dur a terme una anàlisi geoespacial de la distribució de la vegetació en el terme municipal de València. Aquesta anàlisi inclourà l'evolució de la distribució de la vegetació en diverses dates i mitjançant diferents metodologies contemporànies. Es buscarà examinar les àrees verdes del terme municipal de València utilitzant múltiples mètodes moderns, amb la finalitat d'avaluar les similituds i diferències entre les distintes metodologies emprades.

L'anàlisi es durà a terme mitjançant l'adquisició d'imatges satel·litàries, aplicant algoritmes de màscara de núvols per a obtenir imatges lliures de nuvolositat per a cada metodologia. Aquestes imatges permetran calcular l'Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada (NDVI) en cada píxel. D'aquesta manera, s'avaluarà l'eficàcia i els resultats de cada metodologia aplicada en el context urbà de València.

A més, es realitzarà una comprovació amb la capa de dades obertes de l'Ajuntament de València del servei de parcs i jardins, efectuant-se anàlisis espacials amb diverses capes d'informació geogràfica de la ciutat.

Finalment, l'estudi proporcionarà recomanacions sobre la gestió i planificació de les àrees verdes a València, destacant la importància d'utilitzar tècniques geoespacials avançades en la presa de decisions ambientals i urbanístiques.

Summary.

The purpose of this study is to carry out a geospatial analysis of the vegetation distribution in the municipal area of València. This analysis will include the evolution of vegetation distribution over various dates and through different contemporary methodologies. The aim is to examine the green areas of the municipal area of València using multiple modern methods to evaluate the similarities and differences between the various methodologies employed.

The analysis will be conducted by acquiring satellite images and applying cloud masking algorithms to obtain cloud-free images for each methodology. These images will allow the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for each pixel. In this way, the effectiveness and results of each methodology applied in the urban context of València will be evaluated.

In addition, a comparison will be made with the open data layer from the València City Council's parks and gardens service, performing spatial analyses with various layers of geographic information of the city.

Finally, the study will provide recommendations on the management and planning of green areas in València, highlighting the importance of using advanced geospatial techniques in environmental and urban decision-making.

Índice.

Agradecimientos.....	1
Compromisos.....	2
Resumen.....	3
Resum.....	4
Summary.....	5
Índice de Tablas.....	8
Índice de Figuras.....	9
Glosario.....	11
Conceptos clave y definiciones.....	12
Antecedentes de la iniciativa de la Capital Verde Europea:.....	12
Historia:.....	13
Proceso anual de premios:.....	13
Criterios de selección y evaluación.....	14
Beneficios de ganar los premios.....	15
Proyectos emblemáticos y casos de estudio.....	15
1. Introducción.....	16
1.1. Antecedentes.....	17
1.2. Estado del Arte.....	18
1.3. Justificación.....	19
1.4. Localización.....	20
2. Objetivos.....	22
2.1. Objetivo General.....	22
2.2. Objetivos Específicos.....	22
3. Metodología.....	23
3.1. Datos.....	24
3.2. Obtención de algoritmos de detección y enmascaramiento de nubes... 24	
Obtención del NDVI para cada algoritmo.....	42
4. Resultados.....	45
Comparación de los algoritmos generados de detección y enmascaramiento de nubes.....	46
Comparación del comportamiento de los algoritmos generados de detección de nubes en las mismas fechas.....	53
Algoritmo de detección de nubes: QA60.....	53
Algoritmo de detección de nubes: SCL.....	54
Algoritmo de detección de nubes: S2CloudLess.....	56
Algoritmo de detección de nubes: CloudScore+.....	57

Comparación visual de los algoritmos de detección de nubes.	58
Comparación de los algoritmos de enmascaramiento de nubes.....	62
Comparación de los NDVIs obtenidos con diferentes metodologías.	65
5. Presupuesto.	72
6. Conclusiones.	74
7. Bibliografía.	76
Citas:	76
Información consultada:	77

Índice de Tablas.

Tabla 1. Parámetros de los algoritmos QA60 y SCL. Fuente: Elaboración Propia.....	46
Tabla 2. Parámetros de los algoritmos S2CloudLess y CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.	47
Tabla 3. Tabla del porcentaje de detección de nubes de los algoritmos QA60 y SCL. Fuente: Elaboración Propia.	48
Tabla 4. Tabla del porcentaje de detección de nubes de los algoritmos S2CLOUDLES y CLOUDSCORE+. Fuente: Elaboración Propia.	49
Tabla 5. Representación visual de como detectan las nubes los algoritmos. Fuente: Elaboración Propia.	59
Tabla 6. Representación visual de como detectan las nubes los algoritmos. Fuente: Elaboración Propia.	60
Tabla 7. Representación del comportamiento al detalle de los algoritmos de detección de nubes. Fuente: Elaboración Propia.....	61
Tabla 8 . Distribución de las horas empleadas en el proyecto. Fuente: Elaboración Propia.	72
Tabla 9. Coste total del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.	73

Índice de Figuras.

Ilustración 1. Representación de la zona de estudio. Fuente: Elaboración Propia.	20
Ilustración 2. Representación de los barrios que componen el área de estudio. Fuente: Elaboración Propia.	21
Ilustración 3. Clasificación que emplea el algoritmo QA60. Fuente: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED	25
Ilustración 4. Visualización de la imagen con nubes. Fuente: Elaboración Propia.....	27
Ilustración 5. Visualización de cómo trabaja el algoritmo de detección de nubes QA60. Fuente: Elaboración Propia.	27
Ilustración 6. Visualización de la imagen con las nubes detectadas por el algoritmo de detección de nubes QA60. Fuente: Elaboración Propia.	28
Ilustración 7. Visualización con la imagen enmascarada mediante el algoritmo QA60 sin nubes recortada para la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.	29
Ilustración 8. Clasificación de píxeles realizada por SCL. Fuente: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED#bands	30
Ilustración 9. Visualización de la imagen con nubes. Fuente: Elaboración Propia.....	32
Ilustración 10. Visualización de cómo trabaja el algoritmo de detección de nubes SCL. Fuente: Elaboración Propia.	32
Ilustración 11. Visualización de la imagen con las nubes detectadas por el algoritmo de detección de nubes SCL. Fuente: Elaboración Propia.....	33
Ilustración 12. Visualización con la imagen enmascarada mediante el algoritmo SCL sin nubes recortada para la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.	33
Ilustración 13. Clasificación de píxeles de S2CloudLess. Fuente: https://medium.com/sentinel-hub/cloud-masks-at-your-service-6e5b2cb2ce8a	34
Ilustración 14. Visualización de la imagen con nubes. Fuente: Elaboración Propia.....	36
Ilustración 15. Visualización de cómo trabaja el algoritmo de detección de nubes S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.....	36
Ilustración 16. Visualización de la imagen con las nubes detectadas por el algoritmo de detección de nubes S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.....	37
Ilustración 17. Visualización con la imagen enmascarada mediante el algoritmo S2CloudLess sin nubes recortada para la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.	37
Ilustración 18. Visualización de imágenes con nubes. Fuente: Elaboración Propia.	40
Ilustración 19. Visualización de cómo trabaja el algoritmo de detección de nubes CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.	40
Ilustración 20. Visualización de la imagen con las nubes detectadas por el algoritmo de detección de nubes CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.	41
Ilustración 21. Visualización con la imagen enmascarada mediante el algoritmo CloudScore+ sin nubes recortada para la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.	41
Ilustración 22. NDVI obtenido por el algoritmo QA60. Fuente: Elaboración Propia.	42
Ilustración 23. NDVI obtenido por el algoritmo SCL. Fuente: Elaboración Propia.	43
Ilustración 24. NDVI obtenido por el algoritmo S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.	43
Ilustración 25. NDVI obtenido por el algoritmo CCloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.	44

Ilustración 26. NDVI obtenido mediante Land Monitoring Service. Fuente: Elaboración Propia.	44
Ilustración 27. NDVI proporcionado por el geoportal de datos abiertos del Ayuntamiento de València. Fuente: Elaboración Propia.	45
Ilustración 28. Representación de la detección de nubes mediante el algoritmo QA60. Fuente: Elaboración Propia.	53
Ilustración 29. Representación de la detección de nubes mediante el algoritmo QA60. Fuente: Elaboración Propia.	54
Ilustración 30. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo SCL. Fuente: Elaboración Propia.	54
Ilustración 31. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo SCL. Fuente: Elaboración Propia.	55
Ilustración 32. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.	56
Ilustración 33. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.	56
Ilustración 34. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.	57
Ilustración 35. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.	57
Ilustración 36. Imagen elegida para aplicar algoritmos de detección de nubes. Fuente: Elaboración Propia.	58
Ilustración 37. Imagen elegida para aplicar algoritmos de detección de nubes. Fuente: Elaboración Propia.	60
Ilustración 38. Imagen satelital de la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.	62
Ilustración 39. Imagen satelital de la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.	63
Ilustración 40. Representación de cómo funciona el algoritmo de enmascaramiento QA60. Fuente: Elaboración Propia.	63
Ilustración 41. Representación de cómo funciona el algoritmo de enmascaramiento SCL. Fuente: Elaboración Propia.	64
Ilustración 42. Representación de cómo funciona el algoritmo de enmascaramiento S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.	64
Ilustración 43. Representación de cómo funciona el algoritmo de enmascaramiento CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.	65
Ilustración 44. Zona en la que se va a realizar el segundo estudio. Fuente: Elaboración Propia.	67
Ilustración 45. Representación de la capa de vegetación del Ayuntamiento de València. Fuente: Elaboración Propia.	67
Ilustración 46. Representación de la capa de vegetación del Land Monitoring Service. Fuente: Elaboración Propia.	68
Ilustración 47. Representación de la capa de vegetación del algoritmo QA60. Fuente: Elaboración Propia.	69
Ilustración 48. Representación de la capa de vegetación del algoritmo SCL. Fuente: Elaboración Propia.	69
Ilustración 49. Representación de la capa de vegetación del algoritmo S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.	70
Ilustración 50. Representación de la capa de vegetación del algoritmo CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.	71

Glosario.

EGC – European Green Capital.

EGL – European Green Leaf.

ETSI GCT – Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Geomática, Cartografía y Topografía.

JRC - Joint Research Center.

UPV – Universidad Politécnica de València.

COP - Community of Practices.

SCL - Scene Classification Layer.

ODS – Objetivo de Desarrollo Sostenible.

QA60 - Quality Assurance 60.

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index.

UE – Unión Europea.

Conceptos clave y definiciones.

Antecedentes de la iniciativa de la Capital Verde Europea:

Europa está experimentando una tendencia significativa hacia la urbanización, ya que un número creciente de europeos elige residir y trabajar en áreas urbanas, suburbanas y ciudades (Presidencia Española del Consejo de la Unión Europea, 2023). La calidad de vida en estos lugares urbanos está estrechamente relacionada con la condición del entorno local. Las ciudades son puntos focales de consumo de recursos y a menudo enfrentan numerosos desafíos ambientales. Reconociendo el papel fundamental de los gobiernos locales, se considera que las autoridades locales son socios indispensables en la implementación de legislaciones, políticas e iniciativas destinadas a combatir la contaminación y fomentar el desarrollo urbano sostenible. A través de esfuerzos colaborativos, las ciudades pueden avanzar hacia un futuro más sostenible y resiliente, asegurando el bienestar de sus habitantes y la preservación de su entorno como indica el objetivo de desarrollo sostenible número once: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles (Naciones Unidas, n.d.).

La Comisión Europea ofrece dos títulos prestigiosos bajo su programa de premios a las ciudades verdes: la Capital Verde Europea (EGC) para ciudades con más de 100,000 habitantes y el Hoja Verde Europea (EGL) para ciudades más pequeñas con poblaciones de hasta 20,000 habitantes. Estos premios sirven para reconocer y celebrar los esfuerzos locales hacia la consecución de un futuro más sostenible y ecológico. Las ciudades ganadoras involucran activamente a sus ciudadanos en esta transición, buscando mejorar el entorno urbano, combatir la contaminación y fortalecer la resiliencia al cambio climático. Una ciudad más renovable y sostenible atrae a inversores, turistas y proporciona una mejor calidad de vida (Europe Direct Navarra, n.d.).

El Premio a la Capital Verde Europea y el Premio Hoja Verde Europea tienen como objetivo fomentar y reconocer estos esfuerzos. Al reconocer y celebrar las iniciativas verdes en las ciudades europeas, los premios contribuyen al avance de las acciones ambientales. Esto se alinea estrechamente con los objetivos del Pacto Verde Europeo, la Nueva Bauhaus Europea y el Plan de Acción de Contaminación Cero, amplificando los esfuerzos hacia un futuro más sostenible (Consejo Europeo & Consejo de la Unión Europea, 2024).

Historia:

El Premio a la Capital Verde Europea se originó a partir de una iniciativa liderada por 15 ciudades europeas, incluidas Tallin, Helsinki, Riga, Vilna, Berlín, Varsovia, Madrid, Liubliana, Praga, Viena, Kiel, Kotka, Dartford, Tartu y Glasgow, junto con la Asociación de Ciudades de Estonia (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, n.d.). El 15 de mayo de 2006, en Tallin, Estonia, colectivamente visualizaron un futuro más sostenible formalizando su compromiso a través de un Memorando de Entendimiento conjunto. Este acuerdo estableció un premio destinado a reconocer a las ciudades que lideran el camino con una vida urbana respetuosa con el medio ambiente. La Comisión Europea lanzó la iniciativa en 2008 (Periodismo de datos & Real Estate & Brainsre.news, 2023).

El Premio Hoja Verde Europea nació del éxito del Premio a la Capital Verde Europea y de la necesidad de reconocer ciudades de menor tamaño en 2015. La competencia está abierta a todas las ciudades y pueblos de Europa con una población de 20,000 y hasta 100,000 habitantes (Wikipedia, 2024).

Proceso anual de premios:

Cada año, una ciudad europea es seleccionada como la Capital Verde Europea, mientras que hasta dos ciudades son designadas como receptoras del Hoja Verde Europea. Estos premios se otorgan a las ciudades que demuestran:

- Logro consistente de altos estándares ambientales reconocidos a través del reconocimiento público;
- Dedicación a objetivos continuos y ambiciosos para una mayor mejora ambiental y desarrollo sostenible;
- Capacidad para servir como modelos a seguir, inspirando a otras ciudades y difundiendo las mejores prácticas en toda Europa.

Las ciudades nominadas preparan y presentan aplicaciones completas que detallan sus iniciativas de sostenibilidad, logros y planes futuros. Estas aplicaciones sirven como una visión general de las políticas, prácticas y aspiraciones ambientales de la ciudad (Ayuntamiento de Elche & Pimesa, n.d.).

Criterios de selección y evaluación

Los premios a la Capital Verde Europea y al Hoja Verde Europea se evalúan en base a varios criterios ambientales clave que reflejan los desafíos y prioridades contemporáneos en la sostenibilidad urbana (Oficina de Desenvolupament & Ajuntament de Gavà, n.d.). Estos criterios incluyen:

- Cambio climático: mitigación: Las medidas implementadas por la ciudad para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.
- Cambio climático: adaptación: Las estrategias y acciones adoptadas para adaptarse a los efectos inevitables del cambio climático.
- Movilidad urbana sostenible: Iniciativas para promover modos de transporte sostenibles y reducir la dependencia de los vehículos privados.
- Uso sostenible del suelo: Políticas para la utilización eficiente y sostenible del suelo urbano, incluida la regeneración de áreas degradadas.
- Naturaleza y biodiversidad: Esfuerzos para proteger y mejorar los espacios verdes y la biodiversidad dentro del entorno urbano.
- Calidad del aire: Medidas para monitorear y mejorar la calidad del aire.
- Contaminación acústica: Estrategias para reducir la contaminación acústica en áreas urbanas.
- Residuos: Gestión de residuos eficiente, incluyendo la reducción, reutilización y reciclaje de materiales.
- Agua: Gestión sostenible de los recursos hídricos, incluyendo el suministro y el tratamiento de aguas residuales.
- Crecimiento verde e innovación ecológica: Fomento de la economía sostenible y las innovaciones ecológicas.
- Rendimiento energético: Medidas para mejorar la eficiencia energética y promover el uso de energías renovables.
- Gobernanza: Participación pública y transparencia en la toma de decisiones ambientales.

Beneficios de ganar los premios.

Ser nombrada Capital Verde Europea brinda múltiples beneficios a las ciudades premiadas (Consejo Europeo, 2023):

- Reconocimiento internacional: Las ciudades ganadoras reciben reconocimiento y visibilidad a nivel europeo e internacional por sus esfuerzos y logros en sostenibilidad.
- Aumento del turismo: Un reconocimiento de este estilo puede atraer visitantes interesados en el turismo sostenible.
- Atracción de inversiones: La reputación de una ciudad sostenible puede atraer inversiones y fomentar el desarrollo económico.
- Mejora de la calidad de vida: Las iniciativas verdes mejoran el entorno urbano, beneficiando directamente a los residentes.
- Inspiración y liderazgo: Las ciudades premiadas sirven como modelos a seguir, inspirando a otras ciudades a adoptar prácticas sostenibles.

Proyectos emblemáticos y casos de estudio.

Las ciudades ganadoras a menudo implementan proyectos emblemáticos que ejemplifican sus esfuerzos en sostenibilidad y sirven como casos de estudio para otras ciudades. Estos proyectos pueden incluir:

- Renovación de espacios verdes: Desarrollo de parques y áreas naturales dentro de la ciudad (Euronews Green & Euronews, 2024).
- Infraestructura de movilidad sostenible: Implementación de carriles bici, zonas peatonales y sistemas de transporte público eficientes (Movilidad Sostenible e Infraestructura Verde Urbana, 2020).
- Proyectos de energía renovable: Instalación de paneles solares, turbinas eólicas y otras fuentes de energía renovable (Parlamento Europeo et al., 2024).
- Edificios sostenibles: Construcción de edificios con alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental (Consejo de la Unión Europea: Secretaria General et al., 2023).
- Gestión de residuos y reciclaje: Programas avanzados de gestión de residuos y reciclaje (Costa de València & Andreas, 2024).

1. Introducción.

Este proyecto de final de máster se desarrolla en la Càtedra de Governança de la Ciutat de València (Dades València) de la Universitat Politècnica de València (UPV) financiada por la concejalía de Transparencia y Gobierno Abierto. Además, el presente trabajo se enmarca en un Acuerdo de Colaboración firmado entre el Joint Research Center (JRC) de la Comisión Europea, el Ayuntamiento de València y la Universitat Politècnica de València (UPV) dentro del programa Community of Practices on Cities (COP on Cities).

La COP-CITIES es una iniciativa de la Comisión Europea, abierta a partes interesadas externas (ciudades y redes de ciudades, organizaciones internacionales e intergubernamentales y organismos de investigación). Esta iniciativa reúne el trabajo y la experiencia en curso sobre ciudades de JRC y REGIO, para mejorar el intercambio de información y mejorar el trabajo colaborativo entre las partes interesadas relevantes en temas urbanos.

Recientemente, València ha sido nombrada Capital Verde Europea (Ajuntament de València, 2024), destacando su compromiso con el desarrollo urbano sostenible y la protección del medio ambiente. Este reconocimiento subraya la importancia de iniciativas como la COP-CITIES y proyectos de investigación como el presente, que buscan implementar políticas y tecnologías innovadoras para mejorar la calidad de vida urbana. Este trabajo no solo apoya los esfuerzos actuales de la ciudad hacia la sostenibilidad, sino que también se alinea con los objetivos estratégicos de València para consolidarse como un referente europeo en prácticas urbanas verdes y eficientes.

1.1. Antecedentes.

La vegetación urbana juega un papel crucial en el desarrollo sostenible de las ciudades al mejorar la calidad del aire, reducir la temperatura y proporcionar espacios recreativos. En València, la planificación y gestión de la vegetación urbana son esenciales debido a su impacto en el bienestar de los ciudadanos y el medio ambiente urbano. Los avances en tecnología geoespacial permiten un análisis más detallado y preciso de la vegetación en áreas urbanas, facilitando la toma de decisiones informadas.

La precisión en la detección de la vegetación a través de imágenes satelitales puede verse afectada por la presencia de nubes, lo que ha llevado al desarrollo de varios algoritmos de enmascaramiento de nubes. Entre estos algoritmos, el QA60 y el SCL (Scene Classification Layer) han sido ampliamente utilizados. QA60, por ejemplo, es un algoritmo que permite identificar y enmascarar píxeles afectados por nubes y sombras en imágenes de Sentinel-2, mejorando la precisión de los índices de vegetación. Del mismo modo, el algoritmo SCL clasifica los píxeles de una imagen en diferentes categorías, incluyendo nubes y vegetación, lo que facilita un análisis más limpio y preciso de la cobertura vegetal.

En resumen, los estudios realizados en València sobre la vegetación urbana y el uso de tecnologías avanzadas como el enmascaramiento de nubes proporcionan un contexto sólido para entender la importancia de estas áreas verdes y las metodologías empleadas para su análisis y gestión. Estos antecedentes son cruciales para desarrollar estrategias efectivas que promuevan la sostenibilidad y el bienestar en entornos urbanos.

1.2. Estado del Arte.

València ha sido objeto de varios estudios que analizan la distribución y el impacto de la vegetación urbana en la ciudad. Un estudio relevante es el que se centra en el efecto de la isla de calor urbana en València, que destaca cómo las áreas verdes pueden mitigar las temperaturas extremas durante el verano. Este estudio combinó datos de sensores remotos y mediciones in situ para evaluar la intensidad y el patrón espacial del efecto de isla de calor en València, encontrando que la vegetación urbana es clave para reducir el calor nocturno, especialmente durante los días de verano más calurosos (Lehoczky et al., 2017).

Otro estudio se enfocó en la rehabilitación de las playas urbanas de la costa mediterránea en València mediante el uso de imágenes de satélite. Este estudio observó una significativa reducción de las áreas de playa debido a la expansión del puerto de València, pero también destacó los esfuerzos de rehabilitación que han incrementado la superficie de playa mediante proyectos de restauración ecológica. Esta investigación subraya la importancia del monitoreo remoto para la gestión de ecosistemas urbanos y costeros (Molner et al., 2024).

1.3. Justificación.

Este estudio se enmarca en los objetivos de la Cátedra de Governança de la Ciutat de València, ya que tiene como objetivo localizar las áreas verdes y la vegetación de la ciudad para su control, cuidado y preservación. A medida que evolucione el proyecto, se visualizarán las diferentes áreas verdes obtenidas por diferentes metodologías que detectan las zonas nubosas y las enmascaran.

Este estudio es de gran interés debido a que es de vital importancia para la Agenda Urbana de València 2030, donde se han generado 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, también llamadas ODS. Concretamente, en el ODS número 15, denominado "Vida de Ecosistemas Terrestres", se establece el objetivo de proteger y restablecer los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, y detener la pérdida de biodiversidad. La localización y preservación de áreas verdes y vegetación en València no solo contribuirá a cumplir estos objetivos internacionales, sino que también fortalecerá la resiliencia urbana y mejorará la calidad de vida de los ciudadanos.

1.4. Localización.

El estudio se centra en la ciudad de València, ubicada en la Comunitat Valènciana, en el este de la península Ibérica. Esta región se caracteriza por un clima mediterráneo, con inviernos suaves y veranos calurosos, destacándose por la escasez de precipitaciones y una elevada cantidad de días soleados a lo largo del año.

La ciudad de València forma parte de un área metropolitana que incluye varios municipios situados en la fértil Huerta de València, un importante enclave agrícola. La urbe se extiende por casi cincuenta barrios distintos, albergando una población diversa donde el 14,16% está compuesto por residentes de nacionalidad extranjera. La mayoría de estos residentes provienen de países de Iberoamérica (49%) y otros países europeos (28,72%).

En la ilustración 1 se muestra las dimensiones del área de estudio de este proyecto.

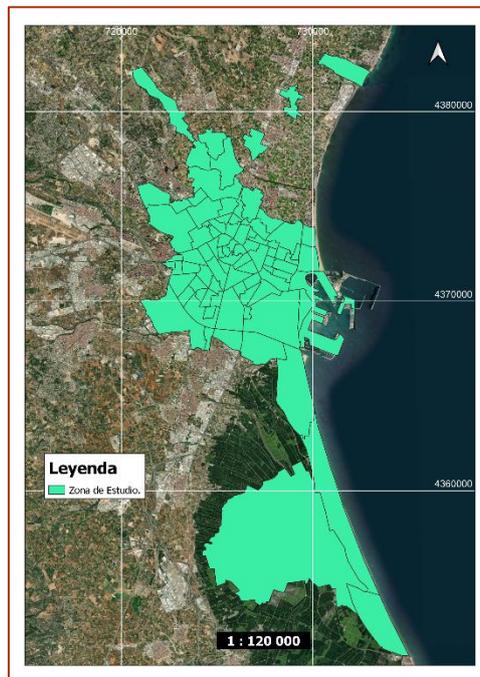


Ilustración 1. Representación de la zona de estudio. Fuente: Elaboración Propia.

2. Objetivos.

2.1. Objetivo General.

Evaluar y comparar diferentes métodos de detección y cuantificación de la vegetación urbana en el centro de la ciudad de València, identificando las áreas verdes y proporcionando recomendaciones para la gestión sostenible de la vegetación urbana.

2.2. Objetivos Específicos.

Objetivo Especifico número 1: Evaluar la precisión y cobertura de la vegetación urbana en València:

- Comparar y analizar la precisión de la información proporcionada por el Ayuntamiento de València respecto a la vegetación urbana, que cubre aproximadamente el 10.06% del área estudiada.

Objetivo Especifico número 2: Comparar diferentes métodos de detección de vegetación:

- Evaluar y comparar los resultados obtenidos del servicio de Copernicus (Land Monitoring Service), el algoritmo QA60, el algoritmo SCL, el algoritmo S2CloudLess y el algoritmo CloudScore+, que muestran diferentes niveles de cobertura vegetal .

Objetivo Especifico número 3: Determinar el método más efectivo para la identificación de vegetación urbana:

- Realizar una comparación exhaustiva de todos los métodos y algoritmos analizados para determinar cuál es el más preciso y efectivo para el mapeo de la vegetación urbana en València.

Objetivo Especifico número 4: Proporcionar recomendaciones para la gestión sostenible de áreas verdes:

- Basándose en los resultados obtenidos de la evaluación comparativa, formular recomendaciones específicas para mejorar la gestión y conservación sostenible de las áreas verdes en el centro de València.

3. Metodología.

Se ha realizado un análisis mediante algoritmos de detección y enmascaramiento de nubes para evaluar la evolución y monitorización de la vegetación en la ciudad de València. El software utilizado es Google Earth Engine, que permite realizar análisis geoespaciales usando procesamiento y acervos de datos en la nube. En cuatro diferentes scripts (uno para cada código) se han programado los distintos métodos de detección y enmascaramiento de nubes.

Para el análisis se han utilizado datos de imágenes Sentinel-2, empleando la capa Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument. Este enfoque ha permitido obtener datos de alta resolución y calidad para evaluar la cobertura vegetal y su evolución a lo largo del tiempo. La combinación de algoritmos avanzados de detección y enmascaramiento de nubes con la capacidad de procesamiento en la nube de Google Earth Engine ha facilitado la obtención de resultados precisos y detallados, proporcionando una herramienta eficaz para la monitorización ambiental en la ciudad de València.

Los resultados de los algoritmos nos mostrarán el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para cada metodología, un indicador crucial para el análisis y monitoreo de la vegetación, ampliamente utilizado en estudios medioambientales y de gestión del territorio. Obtenido a partir de datos satelitales, el NDVI mide la salud y densidad de la vegetación en una región, proporcionando información valiosa sobre la cobertura vegetal y su estado fenológico.

Posteriormente, se analizarán los resultados obtenidos para periodos con nubosidad notable para observar el comportamiento de los algoritmos entre sí, valorando cuál se comporta mejor. Estos resultados se compararán con la capa de vegetación publicada por el Ayuntamiento de València en su geoportal de datos abiertos. Además, se realizará una comparación con el NDVI obtenido por el Land Monitoring Service de Copernicus, ya que este indicador es crucial para:

- Monitoreo de la salud de la vegetación: Permite identificar áreas con vegetación saludable y aquellas bajo estrés.
- Evaluación de cambios temporales: Facilita la observación de cambios estacionales y anuales en la cobertura vegetal.
- Planificación y gestión urbana: Informa decisiones sobre la conservación y expansión de áreas verdes y la implementación de estrategias de reforestación.
- Investigación y educación: Proporciona una base de datos rica para la investigación científica y la educación ambiental.

Este estudio no solo busca identificar el algoritmo más eficaz para el enmascaramiento de nubes, sino también contribuir al conocimiento y gestión sostenible de la vegetación urbana en València, mejorando la calidad de vida de sus habitantes y la resiliencia de sus ecosistemas.

3.1. Datos.

Los datos empleados en este proyecto han sido de descarga gratuita y se encuentran disponibles de forma libre. A continuación, se detallan las fuentes de los datos utilizados:

- **Imágenes Sentinel-2:**

Las imágenes de Sentinel-2 se obtuvieron mediante el software Google Earth Engine, utilizando el mismo código empleado para el análisis de detección y enmascaramiento de nubes. Este enfoque permite acceder a imágenes de alta resolución y calidad para evaluar la cobertura vegetal y su evolución temporal.

- **Capa Vectorial de Vegetación del Ayuntamiento de València:**

La capa vectorial de vegetación fue descargada gratuitamente desde el geoportal de datos abiertos del Ayuntamiento de València. Esta capa proporciona información detallada sobre la cobertura vegetal en la ciudad, utilizada para comparar los resultados obtenidos con los algoritmos.

- **Capa de NDVI del Land Monitoring Service:**

Para obtener la capa de NDVI del Land Monitoring Service, fue necesario registrarse en la plataforma de Copernicus. Una vez registrados, se solicitó la descarga de la imagen correspondiente a la fecha especificada. Esta capa es crucial para la comparación y validación de los resultados de NDVI obtenidos con los diferentes algoritmos.

Todos estos datos, al ser de acceso libre y gratuito, facilitan la replicabilidad del estudio y permiten a otros investigadores y profesionales del área realizar análisis similares o complementarios.

3.2. Obtención de algoritmos de detección y enmascaramiento de nubes.

La detección como el enmascaramiento de nubes en teledetección es un paso crucial para preparar las imágenes satelitales antes de su procesamiento, mejorando así la calidad y precisión de los productos generados. Las nubes pueden ocultar áreas de interés y proyectar sombras que disminuyen la capacidad de reflectancia de los objetos en estudio, lo que afecta la visibilidad y la interpretación de las imágenes.

Las nubes, y las sombras que proyectan, varían en forma, tamaño y altitud dependiendo de la posición geográfica y las condiciones climáticas de la región estudiada. Esta variabilidad hace que la detección y enmascaramiento de nubes sea un desafío complejo y esencial para garantizar la precisión de los datos obtenidos de las imágenes satelitales.

Es importante señalar que mientras la información sobre las nubes puede obtenerse de múltiples fuentes, la información sobre sus sombras es menos accesible, aunque igualmente vital para la precisión de la imagen. Además, la escalabilidad de la máscara de nubes es fundamental; la resolución debe ser suficiente para permitir el análisis tanto a nivel de campo amplio como en áreas específicas y detalladas. La falta de detalle en las imágenes puede llevar a errores significativos en la interpretación y análisis de datos.

En este contexto, varios algoritmos han sido desarrollados para la detección y enmascaramiento de nubes, cada uno con sus propias metodologías y enfoques. Entre los más destacados se encuentran QA60, SCL, S2CloudLess y CloudScore+.

a. Algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes: QA60.

El algoritmo QA60 está basado en el producto de calidad de Sentinel-2 que proporciona una máscara de nubes utilizando un umbral fijo sobre el canal de calidad. Este canal es parte de la información auxiliar proporcionada con cada imagen de Sentinel-2, donde se etiquetan los píxeles que representan nubes. Utiliza la banda de calidad (Quality Assurance) de Sentinel-2, específicamente la banda QA60. Esta banda proporciona información binaria sobre la presencia de nubes, donde los píxeles etiquetados indican que están cubiertos por nubes o no.

Esta banda mencionada proporciona información sobre los bits específicos que detecta para nubes y cirros de las nubes. La clasificación que sigue es la que se muestra a continuación en la Ilustración 3.

QA60 Bitmask	<ul style="list-style-type: none">• Bits 0-9: Unused• Bit 10: Opaque clouds<ul style="list-style-type: none">◦ 0: No opaque clouds◦ 1: Opaque clouds present• Bit 11: Cirrus clouds<ul style="list-style-type: none">◦ 0: No cirrus clouds◦ 1: Cirrus clouds present
--------------	--

Ilustración 3. Clasificación que emplea el algoritmo QA60. Fuente:
https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED .

Si el píxel detectado supera el umbral establecido por la clasificación será catalogado como nube o cirros de nube. Para el caso de los bits catalogados con el valor 10, corresponderán con las nubes, siendo el valor binario del píxel cero cuando no hay nube y siendo uno cuando existe una nube. Para el caso del bit con valor 11 ocurre lo mismo, pero con los cirros de las nubes, siendo el valor binario del píxel cero cuando no hay cirro de las nubes y siendo el valor uno cuando se detecta cirros de las nubes.

El algoritmo programado en Google Earth Engine funciona de la siguiente manera:

En primer lugar, se define el área de interés (ROI) como València, utilizando la variable *roi* que contiene la geometría correspondiente. Además, se establece el periodo de tiempo de interés, que en nuestro caso serán días individuales, pero existe la posibilidad de poner un rango de fechas, como pueden ser días, meses o estaciones, utilizando las variables *startDate* y *endDate*.

Se carga la colección de imágenes Sentinel-2 utilizando el comando *ee.ImageCollection*, filtrando específicamente por la región de interés y el periodo de tiempo definidos previamente. Esto se logra con el método *filterBounds(roi)* y *filterDate(startDate, endDate)*.

Para generar una máscara de nubes, se define la función QA60. Esta función toma cada imagen de la colección y selecciona la banda QA60. Luego, utiliza operaciones bitwise (*bitwiseAnd*, *eq*) para identificar píxeles afectados por nubes opacas y cirrosas. La máscara resultante (*mask*) combina estas bandas y se aplica para enmascarar las imágenes originales, eliminando las áreas nubladas.

Se visualizan dos capas en el mapa interactivo: la imagen satelital original de la colección Sentinel-2 y la máscara de nubes generada (*vismask*), que muestra áreas identificadas como nubes y cirros. De esta manera se puede comparar la imagen original, es decir, con nubes, cirros de nubes y sombras de nubes, junto con la máscara que son todas las nubes, sombras de nubes y cirros de nubes detectadas.

Posteriormente, se define la función *maskQA60*, que aplica la máscara QA60 a todas las imágenes de la colección. Esto se realiza mediante el método *map(maskQA60)* sobre *sentinelCollection*, generando así una nueva colección de imágenes enmascaradas libres de nubes.

Además de los resultados visuales generados en los mapas se pretenden conocer datos estadísticos del resultado de detección y enmascaramiento de nubes obtenido por ello:

Se calcula el área total de la región de interés (*roiArea*) en hectáreas, utilizando el método *geometry().area().divide(10000)* para convertir el área de metros cuadrados a hectáreas.

Se genera una imagen binaria (*visibleArea*) que representa las áreas visibles (sin nubes) como uno y las áreas nubladas como cero (esto es un método propio que no tiene que ver con el BitMask y que sirve para clasificar las áreas). Esto se logra mediante el método *reduce(ee.Reducer.min())* sobre la máscara de la imagen enmascarada y se recorta con la geometría de la región de interés.

Se calcula el área visible sin nubes en hectáreas (*visibleAreaHectares*) multiplicando la imagen binaria por el área real de cada píxel (*pixelArea*). Esto se realiza mediante el método *multiply(pixelArea)* y *reduceRegion()* para sumar los valores de píxeles visibles.

Finalmente, se calcula y se imprime el porcentaje de área visible sin nubes sobre la región de interés (*percentageVisible*), proporcionando una medida cuantitativa de la cobertura de nubes en el área seleccionada.

Procedimiento brevemente explicado:

1. Descargar y preprocesar las imágenes de Sentinel-2.
2. Extraer la banda QA60.
3. Aplicar un umbral binario para identificar píxeles nubosos.
4. Crear una máscara de nubes a partir de esta identificación.

La ilustración 4 muestra la detección de nubes según este método en una imagen donde hay mucha nubosidad.

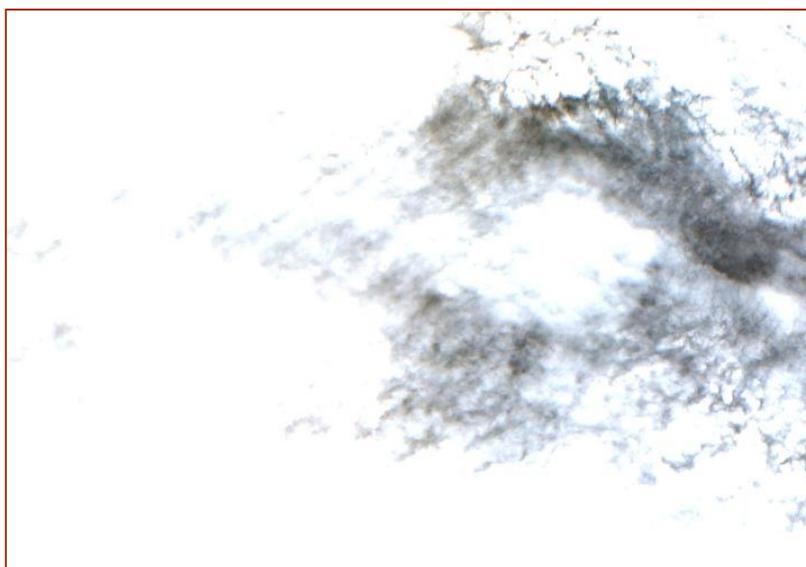


Ilustración 4. Visualización de la imagen con nubes. Fuente: Elaboración Propia.

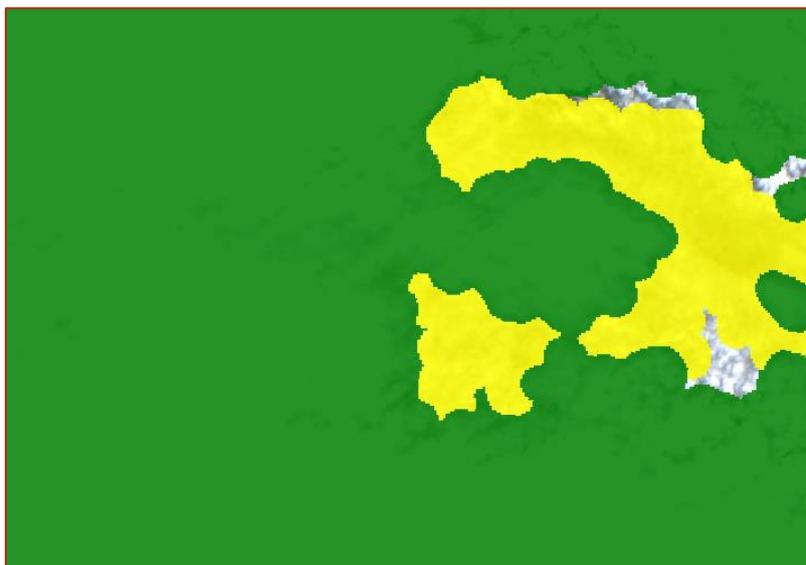


Ilustración 5. Visualización de cómo trabaja el algoritmo de detección de nubes QA60. Fuente: Elaboración Propia.

Siendo el color verde las nubes detectadas y el color amarillo las sombras de la misma nube, tal y como se puede observar en la ilustración 5.

Una vez identificados los píxeles nubosos utilizando el algoritmo QA60, se aplica una máscara para ocultar estos píxeles en las imágenes.

Procedimiento brevemente explicado:

1. Utilizar la función QA60 para obtener la máscara de nubes.
2. Crear una máscara inversa para identificar los píxeles no nubosos.
3. Aplicar la máscara inversa sobre las imágenes originales para enmascarar las áreas afectadas por nubes.

Como se observa en la ilustración número 6 el enmascaramiento de nubes según este método en una imagen medianamente nubosa:



Ilustración 6. Visualización de la imagen con las nubes detectadas por el algoritmo de detección de nubes QA60. Fuente: Elaboración Propia.

Las nubes se clasifican con un color verde.



Ilustración 7. Visualización con la imagen enmascarada mediante el algoritmo QA60 sin nubes recortada para la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.

El resultado obtenido es la ilustración 7 sin nubes ni sombras de nubes ni cirrus, obtenida de la ciudad mediante enmascaramiento de nubes QA60, recortada en la ciudad de València.

b. Algoritmo de detección y enmarcamento de nubes: SCL.

El SCL es una banda de clasificación de escenas proporcionada en los productos Sentinel-2, que clasifica los píxeles en diversas categorías, incluyendo nubes. Es un método que se basa en la banda 'Scene Classification Layer (SCL)' que es capaz de clasificar con bastante acierto en función de su contenido atmosférico y de superficie hasta once tipos de cobertura, como son: Píxeles saturados o defectuosos, Píxeles en áreas oscuras, Sombras proyectadas por nubes, Áreas cubiertas por vegetación, Áreas de suelo expuesto, Superficies cubiertas por agua, Nubes con baja probabilidad o no clasificadas, Nubes con probabilidad media, Nubes con alta probabilidad, Nubes cirrosas y Superficies cubiertas por nieve o hielo.

Esta clasificación la realiza en función del valor de cada pixel, como se puede observar en la ilustración 8.

Value	Color	Color Value	Description
1		#ff0004	Saturated or defective
2		#868686	Dark Area Pixels
3		#774b0a	Cloud Shadows
4		#10d22c	Vegetation
5		#ffff52	Bare Soils
6		#0000ff	Water
7		#818181	Clouds Low Probability / Unclassified
8		#c0c0c0	Clouds Medium Probability
9		#f1f1f1	Clouds High Probability
10		#bac5eb	Cirrus
11		#52fff9	Snow / Ice

Ilustración 8. Clasificación de píxeles realizada por SCL. Fuente:
https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED#bands .

En cuanto al procedimiento realizado para la obtención del algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes mediante SCL en Google Earth Engine se ha realizado de la siguiente manera:

En primer lugar, como con todos los algoritmos, se define el área de interés (ROI) como València, utilizando la variable *roi* que contiene la geometría correspondiente. Además, se establece el periodo de tiempo de interés, que en nuestro caso serán días individuales, pero existe la posibilidad de poner un rango de fechas, como pueden ser días, meses o estaciones, utilizando las variables *startDate* y *endDate*.

Se carga la imagen Sentinel-2 utilizando *ee.ImageCollection*, filtrando específicamente por la región de interés y el periodo de tiempo definidos previamente mediante *filterBounds(roi)* y *filterDate(startDate, endDate)*.

La función SCL se define para crear una máscara utilizando la banda SCL de la imagen. Esta función selecciona la banda SCL y categoriza los píxeles según los siguientes valores:

- Píxeles con valor 9 corresponden a nubes.
- Píxeles con valor 10 corresponden a cirros de nubes.
- Píxeles con valor 3 corresponden a sombras de nubes.

La función combina estas categorías (*clouds*, *cirrus*, *shadows*) y genera una máscara binaria (*mask*) que en caso de ser cero existe nube, cirrus o shadows y en el caso de ser uno no existiría nube, que indica las áreas con presencia de nubes, cirros y sombras.

Se visualizan dos capas en el mapa interactivo: la imagen satelital original de la colección Sentinel-2 y la máscara de nubes, cirros y sombras generada (*clippedImage1*) que esta recortada a la ciudad de València, que es el área de interés, que permite comparar las áreas identificadas por el algoritmo SCL con la imagen original.

Posteriormente, se define la función *maskSCL* que aplica la máscara SCL a toda la imagen de la colección Sentinel-2. Esta función utiliza *map(maskSCL)* sobre *sentinelCollection* para generar una nueva imagen enmascarada, eliminando las áreas afectadas por nubes, cirros y sombras.

Como se ha comentado anteriormente, se pretende conocer datos estadísticos del resultado de detección y enmascaramiento de nubes obtenido. Debido a esto el proceso a realizar será el siguiente:

Se calcula el área total de la región de interés (*roiArea*) en hectáreas, utilizando el método *geometry().area().divide(10000)* para convertir el área de metros cuadrados a hectáreas.

Se genera una imagen binaria (*visibleArea*) que representa las áreas visibles (sin nubes) como 1 y las áreas nubladas como 0 mediante el método *reduce(ee.Reducer.min())* sobre la máscara de la imagen enmascarada, recortada con la geometría de la región de interés.

Se calcula el área visible sin nubes en hectáreas (*visibleAreaHectares*) multiplicando la imagen binaria por el área real de cada píxel (*pixelArea*) y sumando los valores de píxeles visibles mediante *reduceRegion()*.

Finalmente, se calcula y se imprime el porcentaje de área visible sin nubes sobre la región de interés (*percentageVisible*), proporcionando una medida cuantitativa de la cobertura de nubes, cirros y sombras en el área seleccionada.

Procedimiento brevemente explicado:

1. Descargar y preprocesar las imágenes de Sentinel-2.
2. Extraer la banda SCL.
3. Identificar los píxeles clasificados como nubes.
4. Crear una máscara de nubes basada en esta clasificación.

La ilustración 9 muestra la detección de nubes según este método para una fecha con alta nubosidad:



Ilustración 9. Visualización de la imagen con nubes. Fuente: Elaboración Propia.



Ilustración 10. Visualización de cómo trabaja el algoritmo de detección de nubes SCL. Fuente: Elaboración Propia.

Siendo el color verde las nubes detectadas y el color amarillo las sombras de la misma nube en la ilustración 10.

El algoritmo SCL clasifica los píxeles en diversas categorías, incluyendo nubes. Posteriormente, se aplica una máscara utilizando esta clasificación para enmascarar las áreas de nubes.

Procedimiento brevemente explicado:

1. Utilizar la función SCL para obtener la máscara de nubes.
2. Crear una máscara inversa para identificar los píxeles no nubosos.
3. Aplicar la máscara inversa sobre las imágenes originales para enmascarar las áreas afectadas por nubes.

En la ilustración 11 se visualiza el proceso de enmascaramiento de nubes según este método para una fecha con algo de nubosidad.

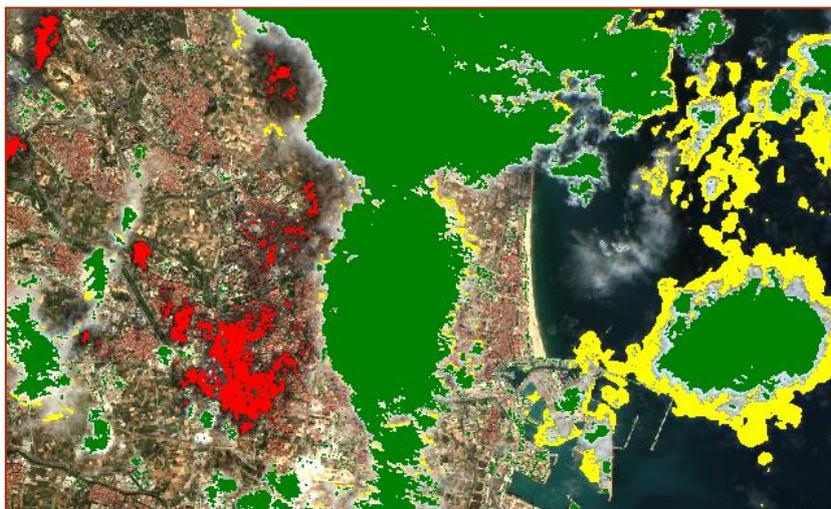


Ilustración 11. Visualización de la imagen con las nubes detectadas por el algoritmo de detección de nubes SCL. Fuente: Elaboración Propia.

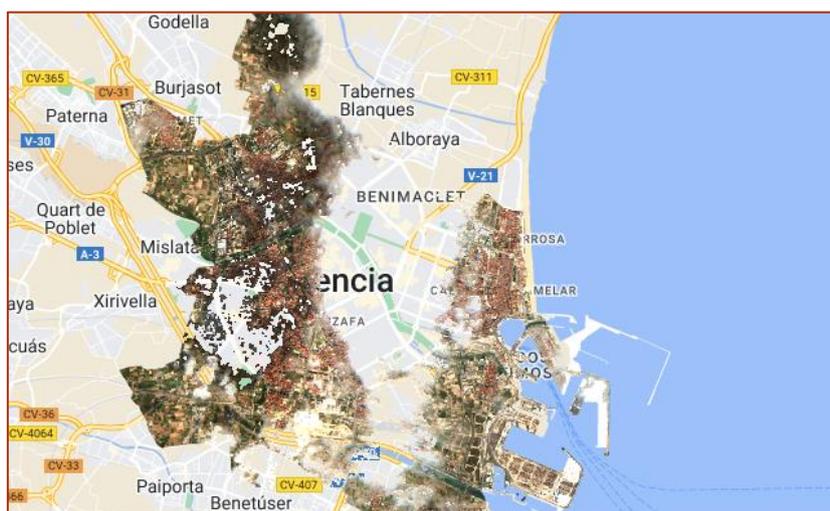


Ilustración 12. Visualización con la imagen enmascarada mediante el algoritmo SCL sin nubes recortada para la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.

Las nubes se clasifican en color verde, mientras que en color amarillo se clasifican los cirros de las nubes y en rojo las sombras. En la ilustración 12 se observa el resultado de enmascarar las nubes detectadas con la metodología anterior.

c. Algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes:
S2CloudLess.

El algoritmo S2CloudLess es una herramienta de aprendizaje automático diseñada específicamente para la detección de nubes en imágenes de Sentinel-2. Desde su lanzamiento, ha recibido comentarios muy positivos por su precisión, flexibilidad y velocidad de ejecución. Ha sido descargado más de 47,000 veces y es utilizado en diversas aplicaciones, destacándose como una solución líder en la detección de nubes.

S2CloudLess procesa cada píxel de una imagen de Sentinel-2 individualmente, asignando una probabilidad de nube basada en los valores de diez bandas de Sentinel-2. A diferencia de las redes neuronales convolucionales, que consideran el contexto espacial, S2CloudLess se basa únicamente en los valores de las bandas de cada píxel. Esta simplicidad y la invariancia a la escala de las nubes hacen que S2CloudLess sea una herramienta versátil y potente.

S2CloudLess es fundamental en el preprocesamiento de imágenes de Sentinel-2, siendo una pieza clave en la biblioteca *eo-learn* para el procesamiento de imágenes satelitales. Es ampliamente utilizado en aplicaciones de producción, incluyendo sistemas de monitoreo de cobertura terrestre a nivel nacional y el observatorio *BlueDot* para monitorear los niveles de agua en cuerpos de agua abiertos.

Debido a los resultados obtenidos y su buen recibimiento, S2CloudLess y las máscaras de nubes precomputadas están disponibles para todo el archivo de Sentinel-2 a través del servicio Sentinel Hub. Las máscaras de nubes (CLM) y las probabilidades de nubes (CLP) se comportan como cualquier otra banda de Sentinel-2 y pueden integrarse fácilmente en aplicaciones mediante scripts simples en EO Browser.

El CloudMask cataloga con el valor cero el píxel que no corresponda con la nube. Y el que se clasifique como uno lo asignan a nubes. Y el valor 255 corresponde con 'NO_DATA', que serían píxeles que no tienen valor como se observa en la ilustración 13.

The CLP and CLM layers have the following return values:

- CLM: 0 (no_cloud), 1 (cloud), 255 (no_data)
- CLP: 0-255 (cloud_proba)

Ilustración 13. Clasificación de píxeles de S2CloudLess. Fuente:

<https://medium.com/sentinel-hub/cloud-masks-at-your-service-6e5b2cb2ce8a> .

El procedimiento empleado en Google Earth Engine para el algoritmo de detección y enmascaramiento S2CloudLess es el siguiente:

Se define el área de interés, así como la fecha que se pretende estudiar y se carga la colección de Sentinel 2, como se han realizado en casos anteriores.

La función *classifyPixels* se define para clasificar los píxeles en diferentes categorías usando la banda SCL. Esta banda clasifica cada píxel en categorías como:

- Sombras de nubes (valor 3).
- Vegetación (valor 4)
- Suelo desnudo (valor 5)
- Agua (valor 6)
- Nubes (valor 9)
- Cirros de las nubes (valor 10)

Se crean nuevas bandas para cada categoría y se combinan en una sola banda de clasificación (Clasificación).

Esta función se aplica a toda la imagen Sentinel-2 mediante *map(classifyPixels)*, generando imagen clasificada de nubes, cirros de nubes y sombra de nubes, porque solo se cargan los píxeles con valores tres, nueve y diez .

Para crear una máscara de nubes, sombras de nubes y cirros, se seleccionan los píxeles correspondientes en la banda de clasificación (Clasificación). La máscara resultante (*maskClouds*) identifica nubes (valor nueve), sombras de nubes (valor tres) y cirros de nubes (valor diez) y además, píxeles con valores bajos en la banda B8, que pueden representar cirros.

Se invierte la máscara (*invertedMask*) para mostrar las áreas sin nubes, sombras o cirros, creando así una imagen en color real enmascarada (*maskedTrueColor*).

Además, se crea otra máscara específica para suelo desnudo y agua en la banda de clasificación (*maskSoilWater*). Esta máscara también se invierte (*invertedMask2*) para mostrar las áreas sin suelo desnudo ni agua, generando otra imagen en color real enmascarada (*maskedTrueColor2*).

Las imágenes en color real y sus respectivas versiones enmascaradas se añaden al mapa interactivo para su visualización, permitiendo comparar las áreas identificadas por el algoritmo S2CloudLess con las imágenes originales.

Como se ha comentado en los algoritmos anteriores se pretenden conocer datos estadísticos del resultado de detección y enmascaramiento de nubes obtenido por ello:

Se calcula el área total de la región de interés (*roiArea*) en hectáreas, utilizando el método *geometry().area().divide(10000)* para convertir el área de metros cuadrados a hectáreas.

Se genera una imagen binaria (*visibleArea*) que representa las áreas visibles (sin nubes) como 1 y las áreas nubladas como 0 mediante el método *reduce(ee.Reducer.min())* sobre la máscara de la imagen enmascarada, recortada con la geometría de la región de interés.

Se calcula el área visible sin nubes en hectáreas (*visibleAreaHectares*) multiplicando la imagen binaria por el área real de cada píxel (*pixelArea*) y sumando los valores de píxeles visibles mediante *reduceRegion()*.

Finalmente, se calcula y se imprime el porcentaje de área visible sin nubes sobre la región de interés (*percentageVisible*), proporcionando una medida cuantitativa de la cobertura de nubes, sombras y cirros en el área seleccionada.

Procedimiento brevemente explicado:

1. Descargar y preprocesar las imágenes de Sentinel-2.
2. Aplicar el modelo S2Cloudless para cada imagen.
3. Generar un mapa de probabilidad de nubes.
4. Aplicar un umbral de probabilidad para crear una máscara binaria de nubes.

En la ilustración 14 se muestra la detección de nubes según este método:



Ilustración 14. Visualización de la imagen con nubes. Fuente: Elaboración Propia.

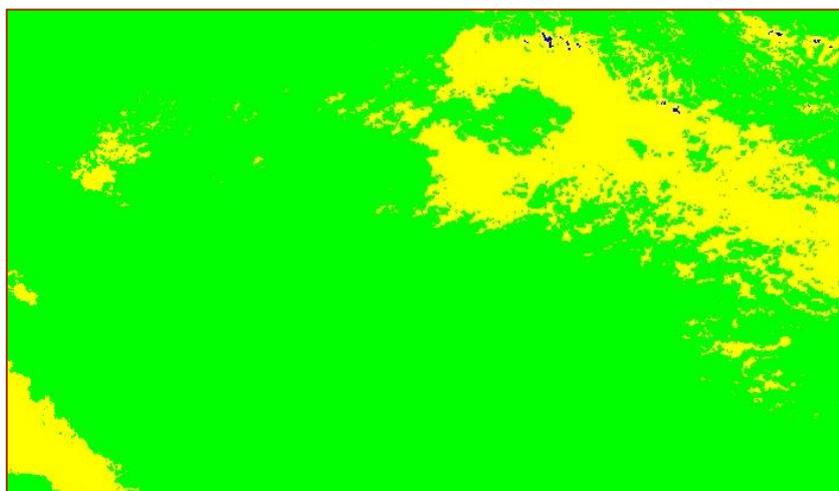


Ilustración 15. Visualización de cómo trabaja el algoritmo de detección de nubes S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 15 se comprueba el funcionamiento del algoritmo, siendo el color verde las nubes detectadas, el color amarillo las sombras de la misma nube y el color azul el agua que se observa en la imagen.

Después de predecir la probabilidad de nubes utilizando el modelo S2Cloudless, se aplica una máscara utilizando un umbral de probabilidad para enmascarar las áreas de alta probabilidad de nubes.

Procedimiento brevemente explicado:

1. Aplicar el modelo S2Cloudless para obtener el mapa de probabilidad de nubes.
2. Aplicar un umbral de probabilidad para obtener una máscara binaria de nubes.
3. Aplicar la máscara binaria sobre las imágenes originales para enmascarar las áreas afectadas por nubes.

En la ilustración 16 se representa el enmascaramiento de nubes según este método:

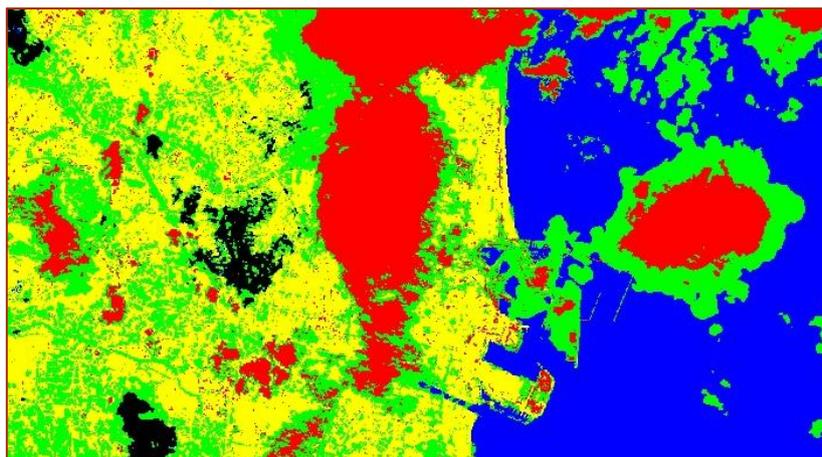


Ilustración 16. Visualización de la imagen con las nubes detectadas por el algoritmo de detección de nubes S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.

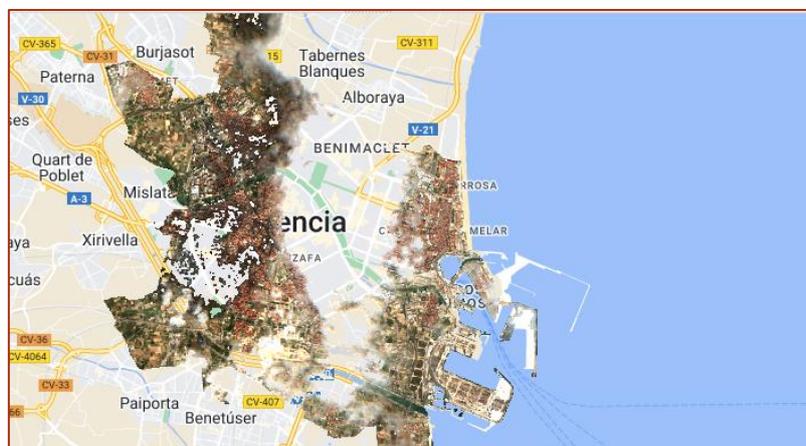


Ilustración 17. Visualización con la imagen enmascarada mediante el algoritmo S2CloudLess sin nubes recortada para la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.

En color verde se clasifican los cirros de las nubes, en color amarillo el suelo de la imagen, en color rojo se clasifican las nubes, en color azul se clasifica el agua que se visualice en la imagen y el color negro es para las sombras de las nubes que aparecen en la imagen. En la ilustración 17 aparece como sería el resultado en la zona de estudio del resultado del proceso de enmascarar la zona de estudio con esta metodología.

d. Algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes:
CloudScore+.

Cloud Score+ emplea un método de aprendizaje profundo débilmente supervisado para evaluar la calidad de los píxeles en imágenes individuales, asignando puntuaciones de calidad a nivel de píxel. El modelo Cloud Score+ fue desarrollado a partir de tres observaciones fundamentales:

- Las imágenes relativamente despejadas de un mismo lugar tienden a parecerse entre sí.
- Es esencial distinguir entre los efectos terrestres y atmosféricos para determinar si las imágenes provienen de la misma ubicación.
- La atmósfera tiene un volumen y las nubes, junto con sus efectos de oclusión, son fenómenos continuos.

Este algoritmo se destaca por su capacidad para analizar cada píxel individualmente, proporcionando una evaluación precisa de la calidad basada en la probabilidad de que un píxel esté libre de nubes y otros efectos atmosféricos. Su enfoque de aprendizaje profundo requiere una supervisión mínima, lo que permite una gran flexibilidad y precisión en la detección de nubes.

Principales características del Cloud Score+:

1. Evaluación de calidad por píxel: Cloud Score+ asigna una puntuación de calidad a cada píxel, permitiendo una interpretación detallada y precisa de las imágenes satelitales.
2. Reducción de artefactos atmosféricos: El algoritmo está diseñado para minimizar el impacto de las nubes y otros artefactos atmosféricos, mejorando la claridad y la utilidad de las imágenes satelitales.
3. Aprendizaje profundo débilmente supervisado: Este enfoque permite que el modelo aprenda a distinguir entre nubes y otros elementos con una supervisión mínima, optimizando el proceso de análisis de imágenes.

El procedimiento empleado en Google Earth Engine para el algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes S2CloudLess es el siguiente:

Se define el área de interés (*ROI*) en València, utilizando la geometría previamente definida (*geometry*), y se carga la imagen en la fecha a estudiar.

Se utiliza la colección 'GOOGLE/CLOUD_SCORE_PLUS/V1/S2_HARMONIZED' para obtener los resultados de puntuaciones QA (*Quality Assessment*) de la imagen y se vincula con la colección Sentinel-2 mediante *linkCollection*.

Se define la función *maskLowQA* para enmascarar píxeles con puntuaciones QA SCL bajas, utilizando la banda SCL para clasificación de la escena y un umbral de claridad de 8 para marcar píxeles sin nubes.

Se calcula un mosaico mediano (*composite*) de las imágenes filtradas por fecha y enmascaradas por *maskLowQA* para representar las nubes totales en la escena.

Se define la función *maskLowQA2* para enmascarar píxeles con puntuaciones bajas de CS+ (Cloud Score Plus), utilizando un umbral de 0.60 para identificar áreas claras.

Se genera *composite2* utilizando *linkedCollection*, filtrando por fecha y aplicando *maskLowQA2*, y se recorta la imagen resultante con la geometría de la *ROI*.

Se añade una capa de compuesto de color verdadero al mapa (*Map.addLayer*) utilizando la imagen enmascarada (*clipped_image*), para visualizar las áreas sin nubes.

Se define la función *cloudMask* para crear una máscara binaria de nubes, sombras y cirros, utilizando la banda SCL y diferentes umbrales para cada tipo de cobertura.

Se aplica la función *cloudMask* a la colección Sentinel-2, filtrada por fecha y mediana obteniendo *cloudMaskImage*, que representa las áreas enmascaradas de nubes, sombras y cirros.

Se resta *cloudMaskImage* de *composite* para obtener *finalImage*, que muestra la imagen final de nubes en la ROI.

Para obtener datos estadísticos del resultado de detección y enmascaramiento de nubes:

Se calcula el área total de la región de interés (ROI) en hectáreas (*roiArea*), utilizando el método *geometry().area().divide(10000)* para convertir el área de metros cuadrados a hectáreas.

Se crea una imagen binaria (*visibleArea*) que representa las áreas visibles (sin nubes) como 1 y las áreas enmascaradas (nubes) como 0 mediante el método *reduce(ee.Reducer.min())* sobre la máscara de *finalImage*, recortada con la geometría de la región de interés.

Se calcula el área visible sin nubes en hectáreas (*visibleAreaHectares*) multiplicando la imagen binaria por el área real de cada píxel (*pixelArea*) y sumando los valores de píxeles visibles mediante *reduceRegion()*.

Finalmente, se calcula y se imprime el porcentaje de área visible sin nubes sobre la región de interés (*percentageVisible*), proporcionando una medida cuantitativa de la cobertura de nubes, sombras y cirros en el área seleccionada.

Procedimiento brevemente explicado:

1. Descargar y preprocesar las imágenes de Sentinel-2.
2. Calcular el índice CloudScore utilizando combinaciones de bandas espectrales.
3. Aplicar análisis estadísticos para refinar la detección.
4. Crear una máscara de nubes a partir del índice calculado.

La ilustración 18 muestra las nubes que aparecen en la escena para el día seleccionado en la zona de estudio, mientras que la ilustración 19 muestra la detección de nubes según este método en una zona con mucha nubosidad.



Ilustración 18. Visualización de imágenes con nubes. Fuente: Elaboración Propia.



Ilustración 19. Visualización de cómo trabaja el algoritmo de detección de nubes CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 19 se observa en color verde las zonas detectadas como nubes, mientras que en amarillo se observan zonas detectadas como sombras de nubes.

El algoritmo CloudScore+ utiliza un índice específico calculado a partir de combinaciones de bandas espectrales y análisis estadísticos para detectar y refinar las áreas de nubes. Luego, se aplica una máscara utilizando este índice para enmascarar las áreas afectadas por nubes.

Procedimiento brevemente explicado:

1. Calcular el índice CloudScore utilizando combinaciones de bandas espectrales.
2. Aplicar análisis estadísticos para refinar la detección de nubes.
3. Crear una máscara de nubes a partir del índice calculado.
4. Aplicar la máscara sobre las imágenes originales para enmascarar las áreas afectadas por nubes.

En la ilustración 20 se muestra como se muestra el enmascaramiento de nubes según este método en una zona con nubosidad.



Ilustración 20. Visualización de la imagen con las nubes detectadas por el algoritmo de detección de nubes CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.

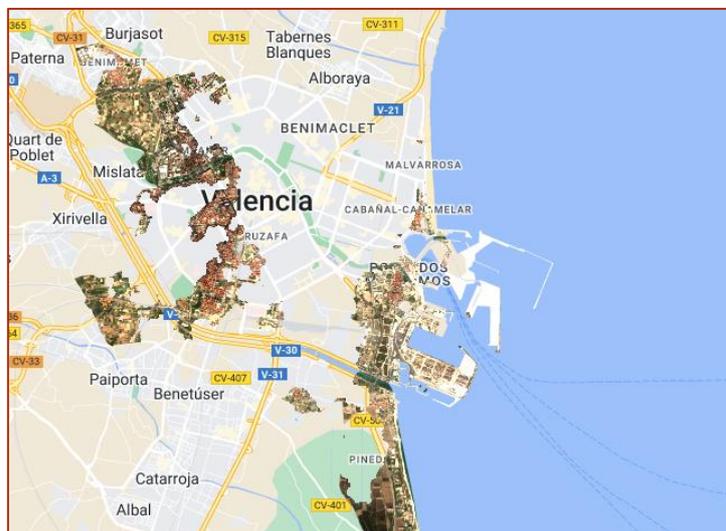


Ilustración 21. Visualización con la imagen enmascarada mediante el algoritmo CloudScore+ sin nubes recortada para la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 20, en color verde se clasifican las nubes, mientras que en color amarillo se clasifican los cirros de las nubes.

Mientras que la ilustración 21 muestra el resultado de aplicar el algoritmo de enmascaramiento de nubes CloudScore+ en la zona de estudio.

Obtención del NDVI para cada algoritmo.

Se obtienen para la misma fecha, en este caso la fecha aproximada con la capa en la que se creó la capa de vegetación de la ciudad de València subida al Geoportal de datos abiertos por el ayuntamiento de València, ya que es con la que se va a comparar los resultados obtenidos. De esta manera, obtenemos para cada algoritmo cuatro NDVIs diferentes:

El NDVI obtenido con el algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes QA60 es el que se observa en la ilustración 22.

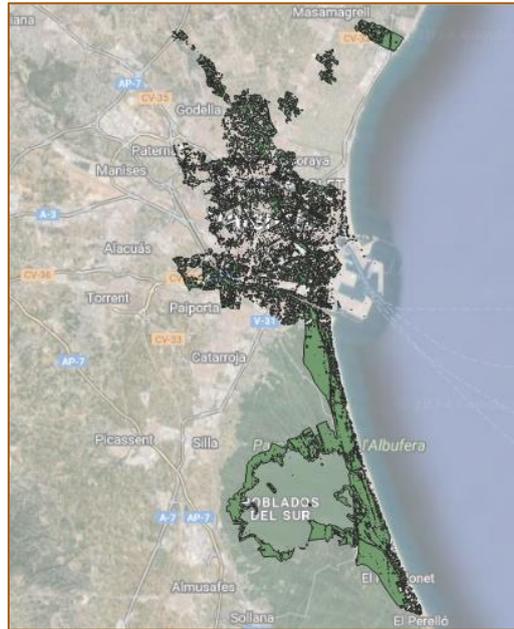


Ilustración 22. NDVI obtenido por el algoritmo QA60. Fuente: Elaboración Propia.

El NDVI obtenido con el algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes SCL corresponde con la ilustración 23.

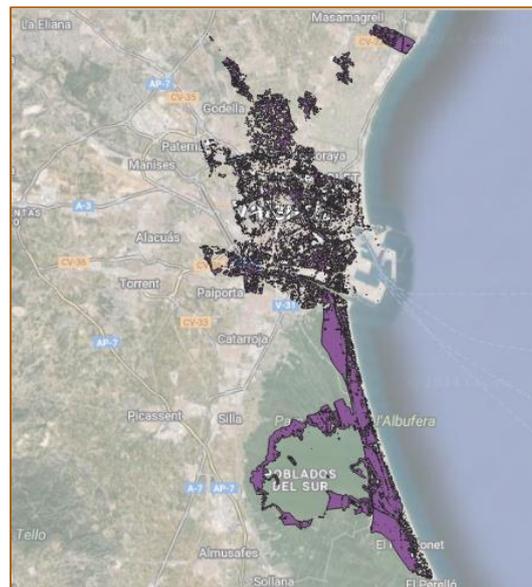


Ilustración 23. NDVI obtenido por el algoritmo SCL. Fuente: Elaboración Propia.

El NDVI obtenido con el algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes S2CloudLess es el que aparece en la ilustración 24.



Ilustración 24. NDVI obtenido por el algoritmo S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.

El NDVI obtenido con el algoritmo de detección y enmascaramiento de nubes CloudScore+ es el que se muestra en la ilustración 25.



Ilustración 25. NDVI obtenido por el algoritmo CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.

Además, se han obtenido dos capas vectoriales de vegetación, una la obtenida mediante el geportal de Copernicus (Land Monitoring Service), donde se puede descargar el NDVI obtenido para una fecha determinada, en este caso se selecciona la fecha correspondiente con la creación e importación de la capa vectorial de vegetación al geportal de datos abiertos del ayuntamiento de València:



Ilustración 26. NDVI obtenido mediante Land Monitoring Service. Fuente: Elaboración Propia.

Y, por último, se obtiene la capa vectorial con la vegetación de València, generada por el ayuntamiento de València y accesible mediante el geoportal de datos abiertos que se puede visualizar en la ilustración 27.

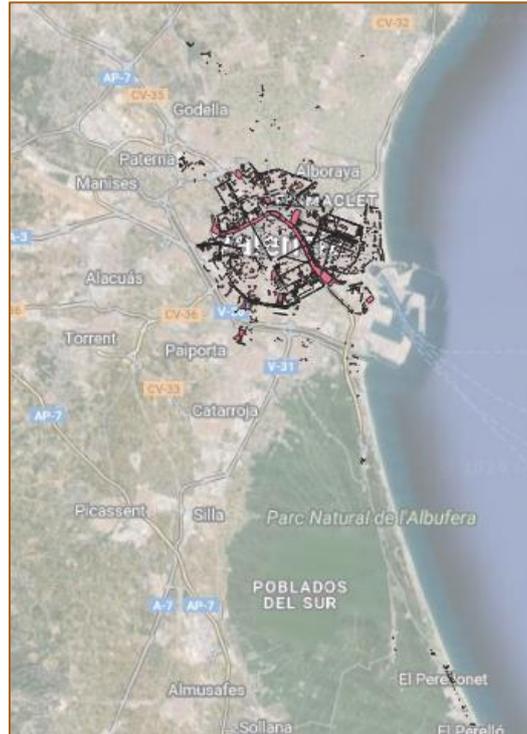


Ilustración 27. NDVI proporcionado por el geoportal de datos abiertos del Ayuntamiento de València. Fuente: Elaboración Propia.

4. Resultados.

Cada uno de estos algoritmos se ha implementado y aprobado usando Google Earth Engine, aprovechando su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y realizar análisis geoespaciales de manera eficiente.

La implementación de estos algoritmos sigue los pasos descritos y se validó con datos de referencia para asegurar su precisión y efectividad. Posteriormente, se compararon los resultados de los diferentes métodos en términos de su capacidad para detectar y enmascarar nubes en las imágenes de Sentinel-2, contribuyendo así a la mejora en el monitoreo de la vegetación en València.

Estos algoritmos se evalúan no solo por su precisión en la detección de nubes, sino también por su impacto en la calidad del NDVI resultante, lo que permite determinar cuál de ellos es más adecuado para el análisis de la cobertura vegetal en áreas urbanas como València.

Hay que tener en cuenta, que cuando se habla de nubes o nubosidad en este estudio se incluye los cirrus y las sombras de nubes también.

Comparación de los algoritmos generados de detección y enmascaramiento de nubes.

En primer lugar, se ha realizado una tabla donde se almacenan las características de cada algoritmo, se han realizado los siguientes parámetros para comparar y encontrar diferencias y semejanzas entre los algoritmos.

La tabla 1 analiza estas características de los algoritmos QA60 y SCL.

CRITERIO	QA60	SCL
Definición	Método basado en la banda de calidad QA60 que contiene información sobre nubes y cirros.	Método basado en la banda de clasificación de escena (SCL) que clasifica cada píxel en diferentes categorías incluyendo nubes.
Método de enmascaramiento	Utiliza la banda QA60 que contiene bits específicos para nubes y cirros.	Utiliza la banda SCL que clasifica píxeles en varias categorías incluyendo nubes, sombra de nubes y otras.
	Bits 0-9: Unused Bit 10: Opaque clouds 0: No opaque clouds 1: Opaque clouds present Bit 11: Cirrus clouds 0: No cirrus clouds 1: Cirrus clouds present	Nubes = valor 3 y Nubes y sombras = valores 7-10
Filtro de porcentaje de nubes	CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE < 20	
Precisión en detección de nubes	Moderada, depende de la calidad de la banda QA60.	Alta, ya que la SCL ofrece una clasificación detallada de las escenas.
Dependencia de datos adicionales	No requiere datos adicionales fuera de la banda QA60.	Depende de la banda SCL que proporciona una clasificación detallada de la escena.
Complejidad de implementación	Baja, sencillo de implementar con operaciones bitwise.	Moderada, requiere entender y utilizar la clasificación de escena.
Fuente de datos Sentinel-2	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED
Filtro espacial y temporal	✓	✓
Ventajas	Método sencillo y eficiente basado en operaciones bitwise. Requiere menos procesamiento adicional.	Usa la banda de clasificación de escena que proporciona un mapa detallado de diferentes tipos de superficies, lo que puede mejorar la precisión en la detección de nubes y sombras.
Desventajas	Puede ser menos preciso en la detección de nubes y sombras comparado con métodos más avanzados.	Depende de la precisión de la clasificación de escena, lo que puede variar.

Tabla 1. Parámetros de los algoritmos QA60 y SCL. Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 2 muestra las características para los algoritmos S2CloudLess y CloudScore+:

CRITERIO	S2CLOUDLESS	CLOUDSCORE
Definición	Algoritmo que combina probabilidad de nubes con detección de sombras para identificar y enmascarar nubes en imágenes Sentinel-2.	Algoritmo que utiliza una puntuación de calidad de cielo claro para identificar y enmascarar nubes en imágenes Sentinel-2.
Método de enmascaramiento	Usa una combinación de probabilidad de nubes y detección de sombras, integrando múltiples bandas para mejorar la precisión.	Utiliza una puntuación de calidad de cielo claro que evalúa la probabilidad de que un píxel esté libre de nubes.
	Usa probabilidad de nubes de la colección COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY y proyecta sombras de nubes basado en la banda NIR y SCL	Usa una puntuación de calidad de cielo claro (GOOGLE/CLOUD_SCORE_PLUS) para enmascarar píxeles con baja calidad
Filtro de porcentaje de nubes	CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE <= 100	
Precisión en detección de nubes	Alta, combina probabilidad y sombras para mejorar la precisión.	Muy alta, utiliza una puntuación avanzada para evaluar la calidad de cielo claro.
Dependencia de datos adicionales	Requiere datos adicionales de probabilidad de nubes y puede integrar múltiples bandas (NIR, SWIR).	Requiere datos adicionales para calcular la puntuación de calidad de cielo claro.
Complejidad de implementación	Alta, necesita combinar datos de probabilidad y realizar proyecciones de sombras.	Alta, requiere cálculo de una puntuación de calidad de cielo claro y manejo de múltiples capas de datos.
Fuente de datos Sentinel-2	COPERNICUS/S2_SR, COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY	COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED, GOOGLE/CLOUD_SCORE_PLUS/V1/S2_HARMONIZED
Filtro espacial y temporal	✓	✓
Ventajas	Método avanzado que combina probabilidad de nubes y detección de sombras, lo que mejora la precisión en la identificación de áreas afectadas por nubes y sombras. Usa directionalDistanceTransform para proyectar sombras.	Utiliza una puntuación de calidad de cielo claro (Cloud Score Plus), lo que puede ser más robusto en la identificación de áreas libres de nubes. También incluye análisis adicionales como histograma de NDVI.
Desventajas	Requiere más procesamiento y puede ser más complejo de implementar y ajustar. Uso intensivo de recursos computacionales.	Dependencia de la disponibilidad y precisión de la puntuación de calidad de cielo claro.

Tabla 2. Parámetros de los algoritmos S2CloudLess y CloudScore+.
Fuente: Elaboración Propia.

En las tablas puede verse, sin realizar ningún estudio en particular, las diferencias que existen entre las diversas metodologías planteadas. Solo el algoritmo QA60 utiliza la banda QA60, mientras que los otros métodos utilizan la banda SCL para clasificar las escenas en la imagen. Los algoritmos QA60 y S2CloudLess utilizan el filtro de porcentaje de nubes, los demás no.

Se presenta también el apartado de ventajas y desventajas de cada algoritmo.

Se ha realizado un estudio exhaustivo para diferentes fechas para comprobar cómo se comporta cada algoritmo en diferentes condiciones climatológicas y en períodos diferentes de tiempo.

En la página web de Sentinel, a través del servicio EOBROWSER, se pueden seleccionar imágenes que permiten verificar el porcentaje de cobertura nubosa de la imagen. Este dato se obtiene para toda la imagen, y aunque se ha calculado específicamente para la zona de la ciudad de València, puede servir como referencia. De esta manera se han seleccionado fechas desde 2019 hasta 2024.

Se han realizado los cálculos del porcentaje nuboso que detecta y el área visible sin nubes para poder saber el % de nubosidad en la zona de València (tabla 3).

FECHAS	QA60			SCL			% Nubosidad de la imagen según EOBROWSER (zona total no de la zona de València)
	Área Visible sin nubes	% del área sin nubes	% detección de nubes	Área Visible sin nubes	% del área sin nubes	% detección de nubes	
22/11/2019	0	0	100	392.099624	2.86553969	97.1344603	94.7
29/08/2019	8545.7053	62.4536629	37.5463371	9888.92578	72.2701773	27.7298227	55
20/06/2019	12431.4105	90.8511462	9.14885379	11128.7039	81.3307151	18.6692849	11.5
11/12/2020	0	0	100	0	0	100	94
07/03/2020	11805.57	86.2773828	13.7226172	9991.62575	73.0207285	26.9792715	43.1
09/06/2020	13101.4016	95.7475701	4.25242988	13030.9319	95.2325645	4.76743554	15.6
11/11/2021	13344.9329	97.5273438	2.47265619	11211.7197	81.9374106	18.0625894	17.5
15/01/2021	13141.295	96.0391193	3.96088072	12343.7898	90.2107973	9.78920272	30.2
04/07/2021	12960.2937	94.7163268	5.2836732	12657.6259	92.5043716	7.4956284	18.4
21/12/2022	13620.3735	99.5403174	0.45968264	5499.93556	40.1945901	59.8054099	85.8
15/04/2022	13622.4476	99.555475	0.44452498	11257.8451	82.2745041	17.7254959	66.6
19/02/2023	13622.4076	99.5551828	0.44481716	10976.6848	80.2197298	19.7802702	52.5
06/03/2023	13622.4376	99.555402	0.44459803	10806.0367	78.9726007	21.0273993	25.9
16/03/2024	13621.3443	99.5474116	0.45258837	13621.2075	99.5464123	0.45358767	8.4
04/05/2024	13620.624	99.542148	0.45785202	13599.627	99.3886978	0.6113022	46.8

Tabla 3. Tabla del porcentaje de detección de nubes de los algoritmos QA60 y SCL.
Fuente: Elaboración Propia.

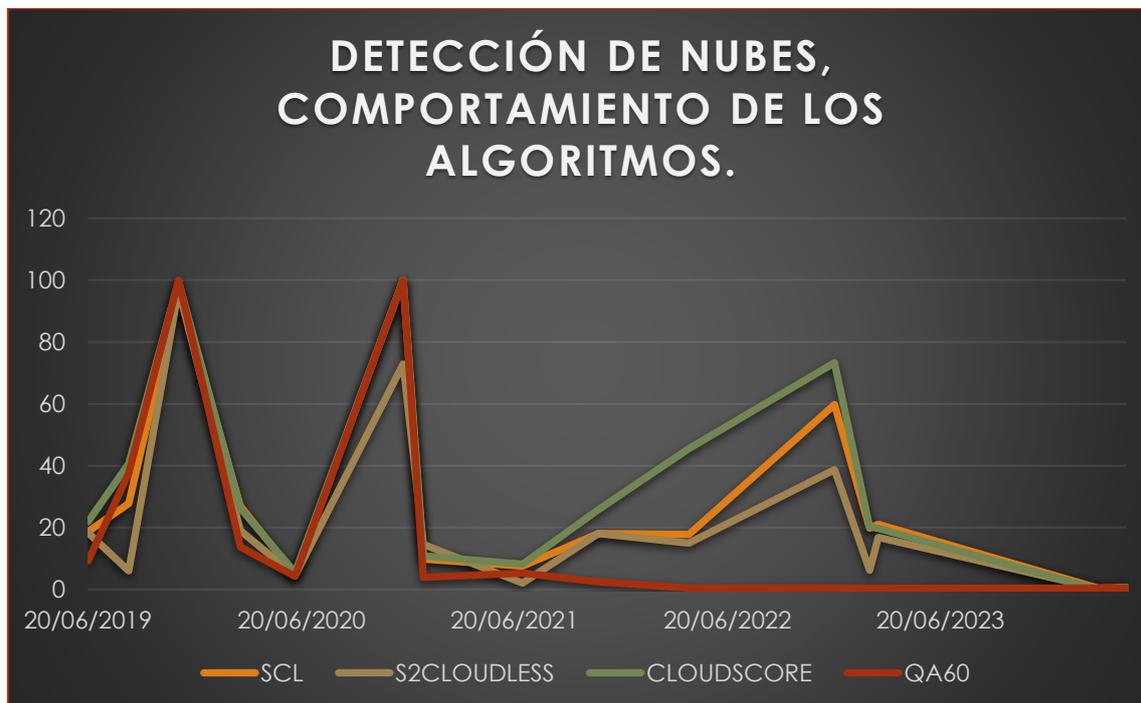
Se divide la tabla con los algoritmos QA60 y SCL y el porcentaje de nubosidad de EOBROWSER para que se observe mejor visualmente los resultados. A continuación, se muestran los otros dos algoritmos restantes en la tabla 4.

FECHAS	S2CLOUDLESS			CLOUDSCORE+			% Nubosidad de la imagen según EOBROWSER (zona total no de la zona de València)
	Área Visible sin nubes	% del área sin nubes	% detección de nubes	Área Visible sin nubes	% del área sin nubes	% detección de nubes	
22/11/2019	416.462597	3.043589	96.956411	64.0734247	0.46826095	99.5317391	94.7
29/08/2019	12867.6051	94.0389405	5.96105948	8118.66823	59.3327936	40.6672064	55
20/06/2019	11170.1425	81.6335564	18.3664436	10689.5801	78.1215137	21.8784863	11.5
11/12/2020	3707.30373	27.0936908	72.9063092	0	0	100	94
07/03/2020	11088.72	81.0385049	18.9614951	10091.7763	73.7526482	26.2473518	43.1
09/06/2020	13074.6134	95.5517968	4.44820316	12936.5056	94.5424784	5.4575216	15.6
11/11/2021	11207.917	81.9096193	18.0903807	10150.0099	74.1782304	25.8217696	17.5
15/01/2021	11695.1095	85.4701167	14.5298833	12198.5261	89.1491818	10.8508182	30.2
04/07/2021	13396.7138	97.9057688	2.09423117	12568.3003	91.8515631	8.14843693	18.4
21/12/2022	8382.17005	61.2585158	38.7414842	3659.48178	26.7441988	73.2558012	85.8
15/04/2022	11637.4076	85.0484198	14.9515802	7459.63712	54.5164671	45.4835329	66.6
19/02/2023	12835.0605	93.801098	6.19890198	10914.3249	79.7639918	20.2360082	52.5
06/03/2023	11380.8276	83.1732834	16.8267166	10991.367	80.3270303	19.6729697	25.9
16/03/2024	13640.2018	99.6852264	0.31477356	13681.9962	99.990668	0.00933201	8.4
04/05/2024	13652.622	99.7759951	0.22400491	13593.1446	99.3413233	0.65867668	46.8

Tabla 4. Tabla del porcentaje de detección de nubes de los algoritmos S2CLOUDLES y CLOUDSCORE+. Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta que conocemos el comportamiento en las mismas condiciones climáticas y temporales de los cuatro algoritmos podemos comparar sus resultados una manera más específica y completa.

Se han realizado gráficas en función del tiempo y del porcentaje de cobertura nubosa que detecta. En la gráfica 1 se observa cómo se comportan los cuatro algoritmos juntos en el mismo período de tiempo.



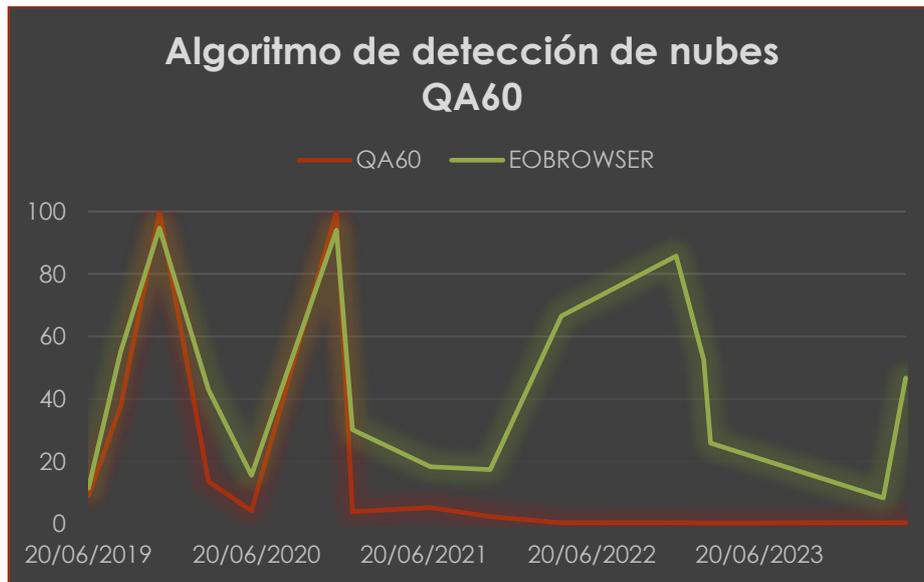
Gráfica 1. Comportamiento de los cuatro algoritmos en la detección de las nubes.
Fuente: Elaboración Propia.

Excluyendo el algoritmo de QA60, se observa cierta similitud en el comportamiento de los algoritmos. Los dos primeros años se comportan de una manera similar los cuatro algoritmos, mientras que a partir de 2021 hasta 2022 se comportan de una manera similar los algoritmos S2CloudLess y SCL, mientras que desde 2022 hasta 2023 son los algoritmos SCL, S2CloudLess y CloudScore+ los que se comportan de igual manera. Los picos que aparecen correspondientes a una mayor detección de nubes coinciden todas, pero a diferentes escalas.

A continuación, se va a observar los algoritmos en función de los valores que proporciona la plataforma de Copernicus, gracias al servicio de EOBROWSER.

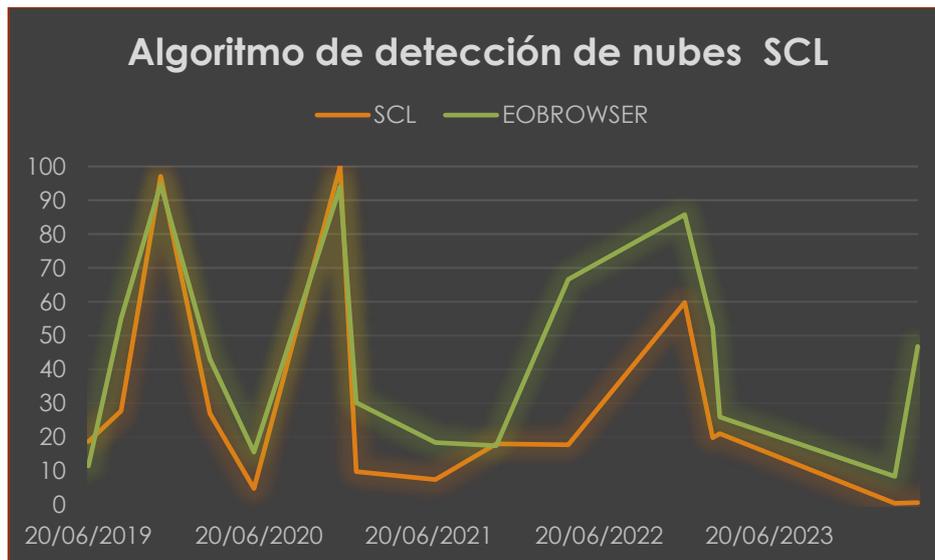
Cabe destacar que el porcentaje proporcionado por EOBROWSER es para la imagen completa, mientras que la que se ha obtenido es solo para la ciudad de València, aun así, se debería de poder ver el comportamiento que tienen los algoritmos frente al de Copernicus.

En la gráfica 2 se compran el algoritmo de detección de nubes por el algoritmo QA60 comparado con el proporcionado por el servicio de Copernicus.



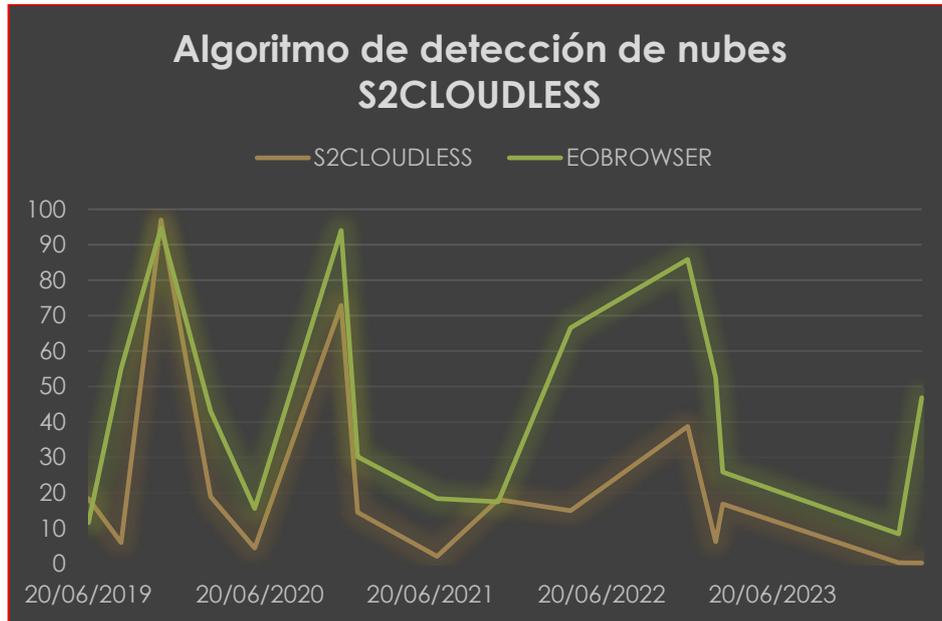
Gráfica 2. Comportamiento del algoritmo QA60 frente a la nubosidad proporcionada por EOBROWSER. Fuente: Elaboración Propia.

La gráfica 3 muestra la comparación del algoritmo de detección de nubes por el algoritmo SCL comparado con el proporcionado por el servicio de Copernicus.



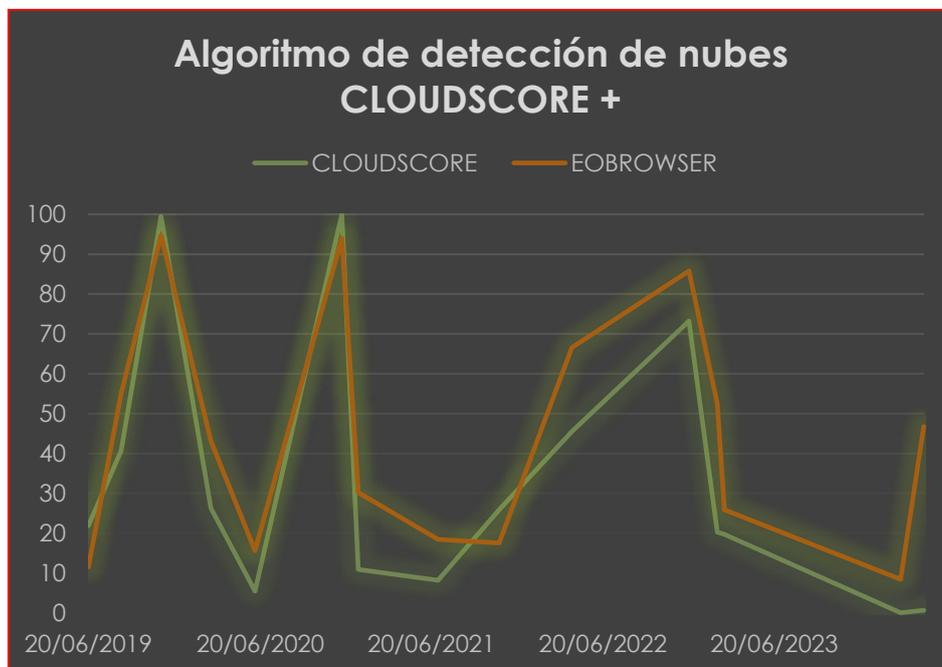
Gráfica 3. Comportamiento del algoritmo SCL frente a la nubosidad proporcionada por EOBROWSER. Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica 4 se realiza una comparación en el mismo período de tiempo del algoritmo de detección de nubes por el algoritmo S2CloudLess comparado con el proporcionado por el servicio de Copernicus.



Gráfica 4. Comportamiento del algoritmo S2CloudLess frente a la nubosidad proporcionada por EOBROWSER. Fuente: Elaboración Propia.

En la gráfica 5 se compara el algoritmo de detección de nubes por el algoritmo CloudScore+ con el proporcionado por el servicio de Copernicus.



Gráfica 5. Comportamiento del algoritmo CloudScore+ frente a la nubosidad proporcionada por EOBROWSER. Fuente: Elaboración Propia.

Si observamos los cuatro algoritmos individualmente comparándolos con el porcentaje de nubosidad, se visualiza que el que sigue un comportamiento más similar es el de CloudScore+ con mucha diferencia al resto. Del resto, el que más se asemeja sería el algoritmo SCL.

Y estadísticamente se demuestra que el algoritmo que más se asemeja a los valores proporcionados por EOBROWSER es el algoritmo de detección de nubes CloudScore+ con un 74.76% de aproximación, mientras que el segundo algoritmo es el SCL con un 64.57%, seguido del CloudLess con un 49.48% y del QA60 con un 41.9% de similitud con EOBROWSER. Estos resultados se considerarían bastante buenos debido a que el porcentaje de detección de nubes de EOBROWSER es para toda la imagen mientras que el método realizado es para la ciudad de València.

Comparación del comportamiento de los algoritmos generados de detección de nubes en las mismas fechas.

A continuación, se muestra cómo responden los algoritmos a épocas en las que no haya mucha nubosidad y se observe la ciudad de València libre o casi libre de nubes, las fechas seleccionadas son el 20 de junio de 2019 y el 07 de marzo de 2020.

Algoritmo de detección de nubes: QA60.

En la ilustración 28 se obtiene el algoritmo de detección de nubes QA60 para la fecha 20 de junio de 2019.

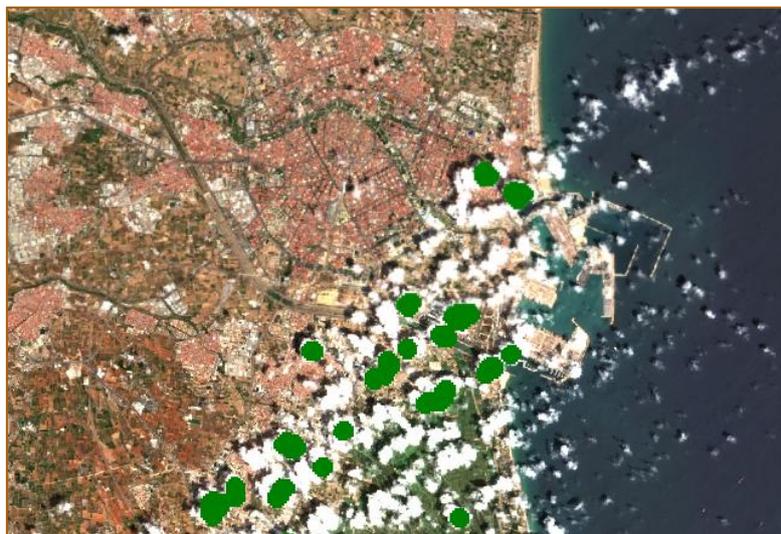


Ilustración 28. Representación de la detección de nubes mediante el algoritmo QA60.
Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 28, la zona coloreada con verde corresponde a nubes. Se observa que no llega a detectar todas las nubes, y que las sombras de las nubes no llega a reconocerlas.

En la ilustración 29 se detectan las nubes utilizando el algoritmo de detección de nubes QA60 para la fecha 07 de marzo de 2020.



Ilustración 29. Representación de la detección de nubes mediante el algoritmo QA60.
Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 29, la zona verde se corresponde con las nubes, mientras que las zonas amarillas son las sombras de nubes. Se observa que el algoritmo en esta fecha detecta más o menos correctamente las nubes y la sombra de nubes, pero no es completamente correcto porque hay zonas de nubes que se ven que no están clasificadas.

Algoritmo de detección de nubes: SCL.

En la ilustración 30 se detectan las nubes utilizando el algoritmo de detección de nubes SCL para la fecha 20 de junio de 2019.



Ilustración 30. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo SCL.
Fuente: Elaboración Propia.

En esta ilustración, las zonas verdes se corresponden con las nubes, mientras que las zonas rojas se corresponden con las sombras de nubes. Se observa una correcta clasificación, de todas las nubes.

La ilustración 31 detecta las nubes para la fecha 07 de marzo de 2020 utilizando el algoritmo de detección de nubes SCL.



Ilustración 31. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo SCL.
Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 31, el color verde se corresponde con nubes, mientras que el color amarillo se corresponde con sombras de nubes y el color rojo se corresponde con los cirros de las nubes.

Se observa que la clasificación que realiza este algoritmo es muy correcta.

Algoritmo de detección de nubes: S2CloudLess.

En la ilustración 32 se utiliza el algoritmo de detección de nubes S2CloudLess para detectar las nubes a fecha 20 de junio de 2019.



Ilustración 32. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.

Y la ilustración 33 hace lo mismo para s la fecha 07 de marzo de 2020.



Ilustración 33. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 33, el color verde se corresponde con nubes, el color amarillo se corresponde con las sombras de las nubes y el color rojo se corresponde con los cirros de las nubes.

Se observa que la clasificación que realiza este algoritmo es muy correcta.

Algoritmo de detección de nubes: CloudScore+.

En la ilustración 34 se detecta el algoritmo de detección de nubes CloudScore+ las nubes para la fecha 20 de junio de 2019.



Ilustración 34. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 35 se detecta el algoritmo de detección de nubes CloudScore+ las nubes para la fecha 07 de marzo de 2020:

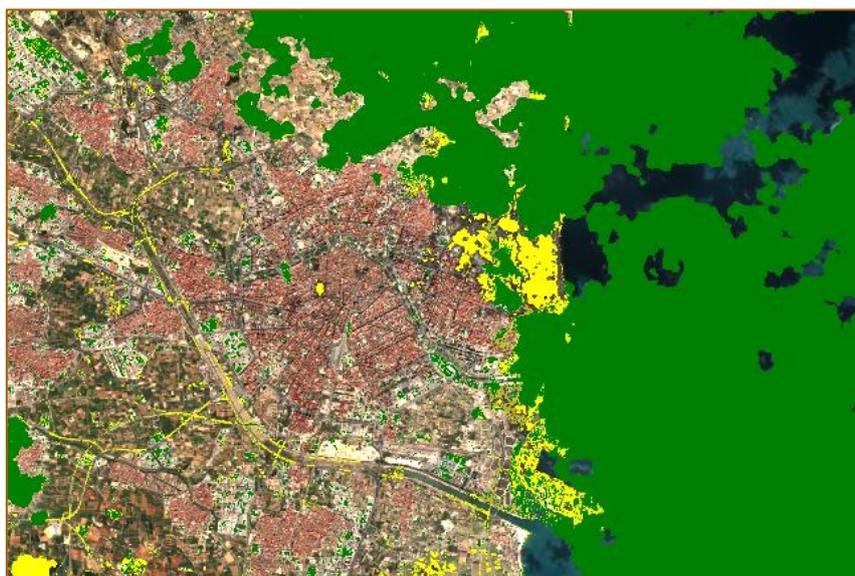


Ilustración 35. Representación de detección de nubes mediante el algoritmo CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 35, el color verde se corresponde con nubes, el color amarillo se corresponde con las sombras de las nubes y el color rojo se corresponde con los cirros de las nubes.

Se observa que la clasificación que realiza este algoritmo es muy correcta.

Comparación visual de los algoritmos de detección de nubes.

Se observa en la tabla 5 como los cuatro algoritmos a su manera detectan las nubes en un periodo de nubosidad media, una fecha con muchas nubes pequeñas en la misma zona, la cual se muestra en la ilustración 36.



Ilustración 36. Imagen elegida para aplicar algoritmos de detección de nubes. Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el algoritmo QA60 no consigue detectar la mayoría de las nubes, los algoritmos S2CloudLess y CloudScore detectan muy bien tanto las nubes como sus sombras, a pesar de que el S2CloudLess no detecta las nubes más pequeñas, mientras que CloudScore+ sí que las clasifica. Por último, el algoritmo SCL, consigue detectar bien las nubes y sus sombras, y clasifica correctamente los cirrus, pero las nubes pequeñas no consigue detectarlas.

QA60	SCL
	
S2CLOUDLESS	CLOUDSCORE+
	

Tabla 5. Representación visual de cómo detectan las nubes los algoritmos. Fuente: Elaboración Propia.

Para hacer un estudio más exhaustivo se observa también como detectan nubes en un periodo donde aparezca una alta nubosidad en la zona en la que se realiza el estudio, la cual puede observarse en la ilustración 37.



Ilustración 37. Imagen elegida para aplicar algoritmos de detección de nubes. Fuente: Elaboración Propia.

QA60	SCL
	
S2CLOUDLESS	CLOUDSCORE+
	

Tabla 6. Representación visual de cómo detectan las nubes los algoritmos. Fuente: Elaboración Propia.

Los cuatro algoritmos mostrados en la tabla 6 detectan correctamente las nubes grandes del este, el algoritmo QA60 detecta bien las nubes y las sombras de la imagen, pero los cirros de las nubes no los detecta, algo parecido le pasa a CloudScore+ que detecta muy eficaz todas las nubes y sombras, pero no diferencia entre cirros de nubes.

Los algoritmos S2CloudLess y SCL clasifican muy bien la imagen, la única diferencia es que el algoritmo SCL detecta mayor cantidad de cirrus que S2CloudLess detecta como nube, pero por lo demás estos dos algoritmos se comportan de una manera muy correcta.

Por último, se comprueba el comportamiento realizando un zoom en la zona del barrio de Benimaclet, para comprender en detalle como clasifica cada pixel de la imagen cada algoritmo, el resultado de este estudio se muestra en la tabla 7.

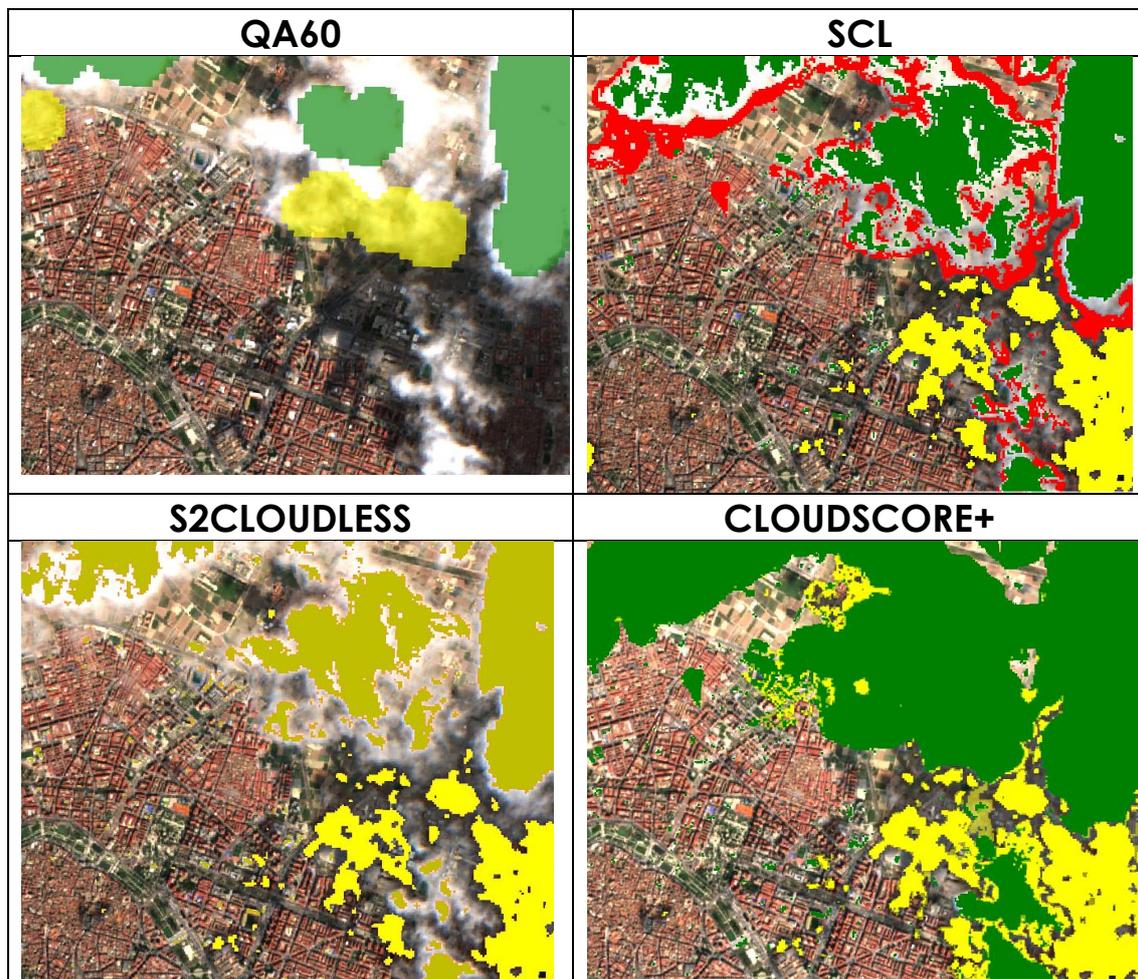


Tabla 7. Representación del comportamiento al detalle de los algoritmos de detección de nubes. Fuente: Elaboración Propia.

La imagen extraída del satélite en la que se ha realizado el estudio anterior se muestra en la ilustración 38.



Ilustración 38. Imagen satelital de la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.

El comportamiento de los algoritmos es bastante correcto. el algoritmo QA60 no detecta correctamente las sombras, mientras que los algoritmos S2CloudLess y SCL se comportan de manera muy similar, a pesar de que detecta mejor las sombras el algoritmo SCL. Por último, el algoritmo que mejor ha detectado las nubes es el CloudScore+, aunque no consigue diferenciar correctamente entre sombras de nubes y cirros de nubes, ya que los confunde con nubes, pero sí que detecta correctamente las nubes.

Comparación de los algoritmos de enmascaramiento de nubes.

Los algoritmos de enmascaramiento de nubes trabajan en función de la previa detección de nubes, sombras de nubes y cirrus, por lo que dependen de la calidad de cada algoritmo de detección de nubes.

Se ha realizado el enmascaramiento en fechas con una alta variedad climatológica para conseguir un análisis más completo y demostrativo de la respuesta de cada algoritmo.

Las imágenes enmascaradas se han obtenido eliminando las nubes, sombras de nubes y cirros de nubes de la imagen obtenida por el satélite, por lo que los resultados aparecen en las siguientes ilustraciones para una fecha de alta nubosidad como es para el día 25 de junio de 2019. La ilustración 39 se corresponde con la imagen satelital para esta fecha de estudio.



Ilustración 39. Imagen satelital de la ciudad de València. Fuente: Elaboración Propia.

El comportamiento del algoritmo QA60 funciona correctamente, pero las nubes pequeñas y las sombras de estas no consigue detectarlas, no consigue enmascarar los cirros de las nubes que se observan en el este de la imagen.

La ilustración 40 corresponde con el enmascaramiento de nubes para la fecha en la que se ha realizado el estudio con el algoritmo QA60.

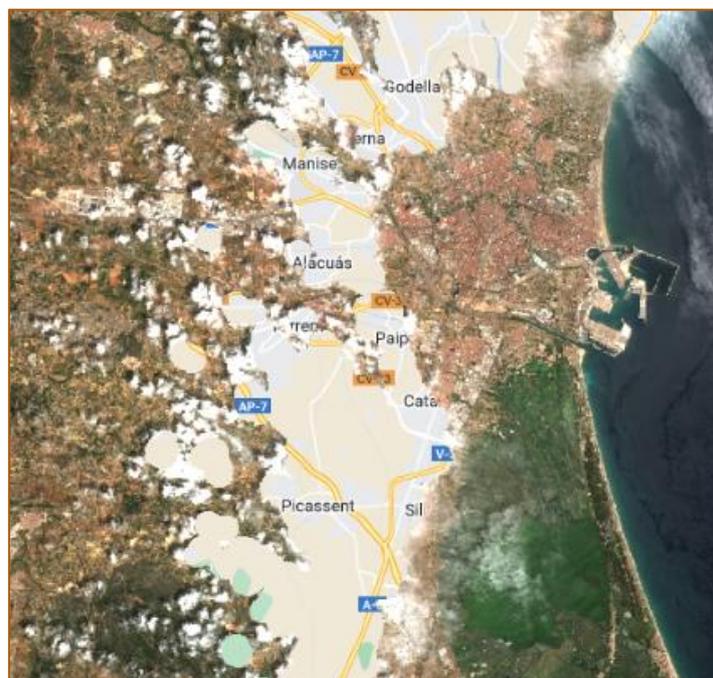


Ilustración 40. Representación de cómo funciona el algoritmo de enmascaramiento QA60. Fuente: Elaboración Propia.

Algo parecido ocurre con el algoritmo de enmascaramiento SCL, que las nubes pequeñas no consigue detectarlas por lo que lo considera para esta fecha parte del suelo. En la ilustración 41 se observa el comportamiento del algoritmo de enmascaramiento SCL en la zona y fecha de estudio.



Ilustración 41. Representación de cómo funciona el algoritmo de enmascaramiento SCL. Fuente: Elaboración Propia.

Con el algoritmo de enmascaramiento de nubes S2CloudLess ocurre algo similar puesto que detecta las nubes grandes correctamente mientras que las pequeñas y las sombras de las mimas no las detecta en su totalidad.

En la ilustración 42 se muestra el resultado realizado por el algoritmo S2CloudLess.



Ilustración 42. Representación de cómo funciona el algoritmo de enmascaramiento S2CloudLess. Fuente: Elaboración Propia.

Por último, el algoritmo de enmascaramiento CloudScore+ detecta correctamente las nubes, sombras de nubes y los cirros de las nubes, hasta esos cirros de la zona este de la imagen los considera y los enmascara, por lo que en esta fecha se observa que es el algoritmo que mejor enmascara las nubes. En la ilustración 43 se observa el resultado del algoritmo CloudScore+ en la zona y fecha de estudio.



Ilustración 43. Representación de cómo funciona el algoritmo de enmascaramiento CloudScore+. Fuente: Elaboración Propia.

Comparación de los NDVIs obtenidos con diferentes metodologías.

Se obtienen seis capas vectoriales sobre la vegetación en la ciudad de València, cada una obtenida mediante diferentes metodologías, pero todas ellas obtenidas en el mismo período temporal.

Este análisis se realiza en dos escenarios, el primero es para toda la ciudad de València, contando con todos los barrios de València. El segundo, se ha analizado los barrios donde no existen datos en la capa de vegetación del Ayuntamiento de València y se han eliminado de esta capa para poder realizar un análisis comparativo con todas las capas que posean datos. Los barrios que no se han considerado para el segundo análisis son: El Grau, El Saler, Carpesa, Rafalell-Vistabella, Les Cases de Barcena, Mahuella-Tauladella, Massarojos, La Punta, Pinedo, Castellar-L'Oliveral, El Forn D'Alcedo, El Palmar, El Perenollet, Borboto, Benifaraig y Poble Nou.

Las seis capas corresponden con los cuatro NDVIs obtenidos por los diferentes algoritmos para la ciudad de València, la capa de vegetación del Ayuntamiento de València subida al geoportal de datos abiertos y el NDVI obtenido por Copernicus y subido a Land Monitoring Service.

Primer escenario: toda la ciudad de València.

Las ilustraciones de las capas se han mostrado previamente en el apartado "Obtención del NDVI para cada algoritmo".

Para este análisis, la capa proporcionada por el ayuntamiento de la vegetación no será de mucha ayuda porque en algunos barrios no hay información de vegetación, así como en la Albufera no hay nada de vegetación.

La capa proporcionada por el ayuntamiento de València abarca 5.19 km² de área, lo que significa que un 3.79% de la ciudad de València según esta metodología corresponde con vegetación.

Respecto a la capa del NDVI del Land Monitoring Service en la ciudad de València, abarca 30.97 km², 25.78 km² más que la capa del ayuntamiento, lo que significaría que según esta metodología un 22.61% del suelo de la ciudad de València corresponde con vegetación.

Siguiendo con el NDVI obtenido por el algoritmo QA60 se obtiene un índice de vegetación con un área de 46.64 km², lo que indica que siguiendo esta metodología un 34.06% del área de València corresponde con vegetación.

Los algoritmos CloudScore+ y SCL dan resultados muy similares, pues indican que 45.63 km² corresponden con el área que abarca la vegetación en València, siendo un 33.31% del suelo de la ciudad de València corresponde con la vegetación.

Por último, el NDVI obtenido por el algoritmo SCL muestra que 30.94 km² corresponden con el área de vegetación, siendo la vegetación un 22.59% del área total de la ciudad de València.

Para la ciudad de València, los NDVI obtenidos por el Land Monitoring Service y el obtenido por el algoritmo S2CloudLess son muy similares, ya que la diferencia entre ambos es de 0.03 km².

El resto de NDVI, sin contar el del ayuntamiento, también tienen una cierta similitud, prueba de ello es que entre los tres NDVI obtenidos por los algoritmos QA60, SCL y CloudScore+ oscilan las áreas en 1 km² aproximadamente.

Segundo escenario: zona específica de la ciudad de València.

Con la finalidad de comparar todos los índices de vegetación obtenidos y poder realizar un análisis completo sobre los diferentes resultados que se han recolectado, no se consideran los barrios de la ciudad de València de: El Grau, El Saler, Carpesa, Rafalell-Vistabella, Les Cases de Barcena, Mahuella-Tauladella, Massarojos, La Punta, Pinedo, Castellar-L´Oliveral, El Forn D´Alcedo, El Palmar, El Perenollet, Borboto, Benifaraig y Poble Nou.

En la ilustración 44 se observa la zona en la que se va a realizar este segundo análisis.

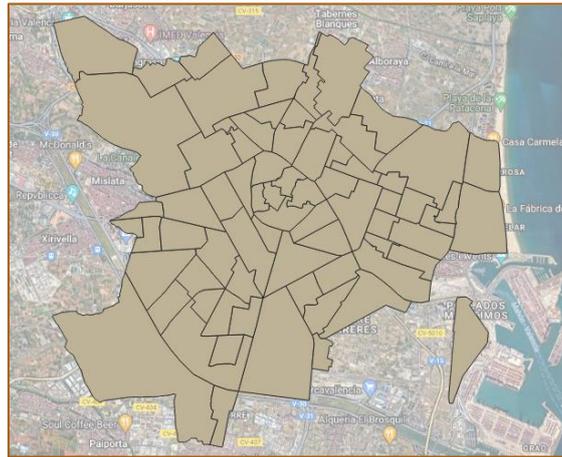


Ilustración 44. Zona en la que se va a realizar el segundo estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Esta zona que corresponde a este segundo escenario abarca un total de 49.52 km² y todos los índices de vegetación obtenidos se analizarán en esta zona de la ciudad de València.

En la ilustración 45 se observa la capa de vegetación del Ayuntamiento.

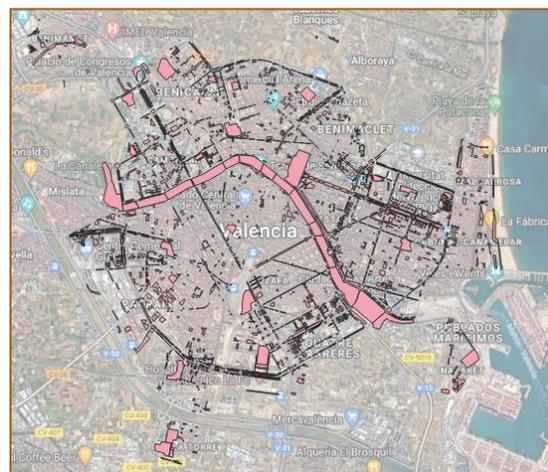


Ilustración 45. Representación de la capa de vegetación del Ayuntamiento de València. Fuente: Elaboración Propia.

La capa del Ayuntamiento abarca un área de 4.98 km² del área total lo que supone un 10.06% del área que se pretende estudiar, algo que a simple vista visualizando la ortofoto puede parecer incorrecto, ya que la zona céntrica de la ciudad de València tiene mucha vegetación.

En la ilustración 46 se muestra la vegetación obtenida mediante el servicio de Copernicus de Land Monitoring Service.



**Ilustración 46. Representación de la capa de vegetación del Land Monitoring Service.
Fuente: Elaboración Propia.**

La vegetación obtenida por este método supone 7.50 km² de la superficie lo que supone un 15.14% de vegetación de la zona estudiada.

En la ilustración 47 se muestra la capa de vegetación obtenida por el algoritmo QA60.



Ilustración 47. Representación de la capa de vegetación del algoritmo QA60. Fuente: Elaboración Propia.

La vegetación obtenida por el algoritmo de detección y enmascaramiento QA60, supone 10.26 km² de la superficie lo que supone un 20.72% de vegetación de la zona estudiada. Este método proporciona un alto nivel de vegetación en el área estudiada, pues considera el doble la capa que ofrece el Ayuntamiento de València.

La siguiente capa de vegetación obtenida es la conseguida mediante el algoritmo SCL y se observa en la ilustración 48.



Ilustración 48. Representación de la capa de vegetación del algoritmo SCL. Fuente: Elaboración Propia.

La vegetación obtenida por el algoritmo de detección y enmascaramiento SCL, supone 9.62 km² de la superficie lo que índice que un 19.42% del área total estudiada corresponde con la vegetación de la zona. Este método proporciona un alto nivel de vegetación en el área estudiada, pues considera el doble la capa que ofrece el Ayuntamiento de València.

El siguiente resultado de vegetación obtenido es la capa de vegetación obtenida por el algoritmo S2CloudLess, que puede observarse en la ilustración 49.

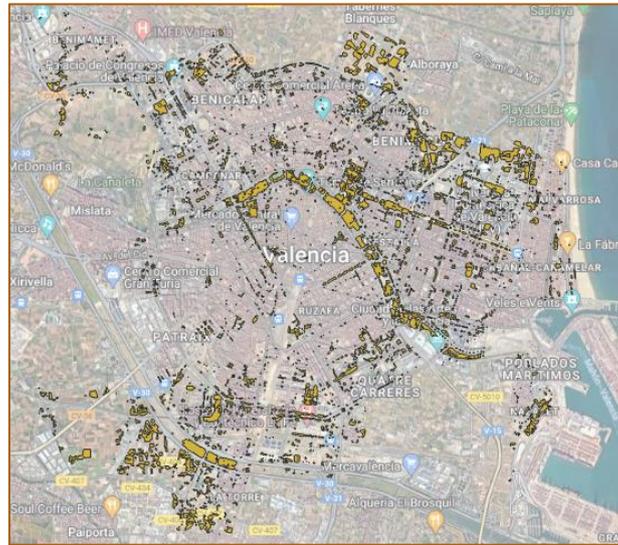


Ilustración 49. Representación de la capa de vegetación del algoritmo S2CloudLess.
Fuente: Elaboración Propia.

La vegetación obtenida por el algoritmo S2CloudLess, indica que 4.07 km² de la superficie corresponden con la vegetación de la zona estudiada, es decir, un 8.21% del área total estudiada corresponde con la vegetación de la zona.

Por último, se obtiene la vegetación de la zona obtenida mediante el algoritmo CloudScore+, la cual indica que un 18.93% de la zona estudiada corresponde con la vegetación de la zona, aproximadamente de la zona estudiada unos 9.37 km² corresponden con la vegetación.

El resultado del NDVI obtenido por el algoritmo CloudScore+ se muestra en la ilustración 50.

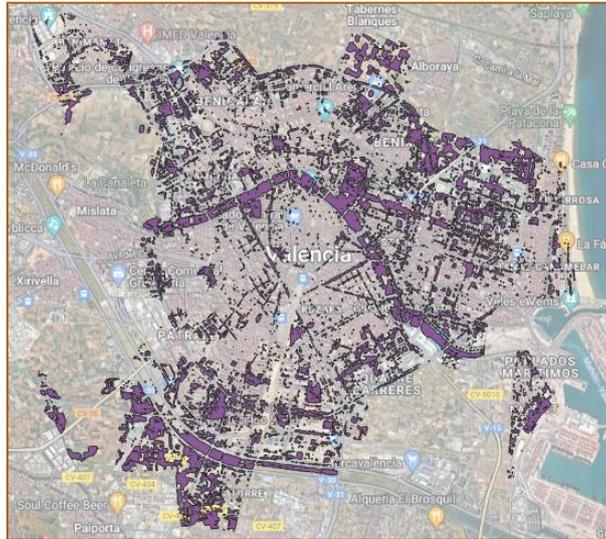


Ilustración 50. Representación de la capa de vegetación del algoritmo CloudScore+.
Fuente: Elaboración Propia.

Se pueden extraer unas conclusiones sobre los resultados obtenidos en la obtención de las capas de vegetación con diferentes metodologías.

Existe una notable variabilidad entre los diferentes métodos y algoritmos utilizados para calcular la vegetación.

Los métodos QA60, SCL y CloudScore+ reportan cantidades de vegetación significativamente mayores (aproximadamente el 19-21% del área estudiada) en comparación con la capa del Ayuntamiento y el S2CloudLess.

La capa de vegetación del Ayuntamiento de València parece subestimar la vegetación en comparación con otros métodos más avanzados como QA60, SCL y CloudScore+.

5. Presupuesto.

En primer lugar, se debe aclarar que los datos que se han manipulado son públicos y gratuitos.

En segundo lugar, el software utilizado ha sido Excel, donde se han calculado las estadísticas de los datos y también se ha utilizado QGIS, aplicación gratuita que permite obtener el análisis geoespacial de los datos. En conclusión, el presupuesto se fundamenta en las horas dedicadas a su realización.

Los datos detallados se muestran en la tabla 8.

Nombre de la actividad	Horas dedicadas
Obtención del algoritmo QA60 de detección de nubes, sombras de nubes y cirros de las nubes	10
Obtención del algoritmo SCL de detección de nubes, sombras de nubes y cirros de las nubes	12
Obtención del algoritmo S2CloudLess de detección de nubes, sombras de nubes y cirros de las nubes	12
Obtención del algoritmo CloudScore+ de detección de nubes, sombras de nubes y cirros de las nubes	15
Obtención del algoritmo QA60 de enmascaramiento de nubes, sombras de nubes y cirros de las nubes	12
Obtención del algoritmo SCL de enmascaramiento de nubes, sombras de nubes y cirros de las nubes	15
Obtención del algoritmo S2CloudLess de enmascaramiento de nubes, sombras de nubes y cirros de las nubes	20
Obtención del algoritmo CloudScore+ de enmascaramiento de nubes, sombras de nubes y cirros de las nubes	25
Obtención de NDVI a partir de imágenes satelitales	40
Análisis de los resultados	65
Elaboración del proyecto	80
Horas totales empleadas	306

Tabla 8 . Distribución de las horas empleadas en el proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

Y en computo con el convenio de ingenieros y oficinas técnicas, donde el ingeniero en Geomática y Topografía corresponde con el nivel 2 que se le asigna a "Diplomados y Titulados."

Se obtiene que el ingeniero en Geomática y Topografía cobra un total de 16.25 € la hora. De esta manera se puede observar en la tabla 9 el desglose final del coste del proyecto.

Horas totales empleadas	306 horas
Dinero que cobra un ingeniero en Geomática, Cartografía y Topografía por hora	16.25 €
Coste total del proyecto	4 972.50 €

Tabla 9. Coste total del proyecto. Fuente: Elaboración Propia.

6. Conclusiones.

Como conclusiones del proyecto se puede extraer que:

- Se han comparado y analizado la precisión de la información proporcionada por el Ayuntamiento de València respecto a la vegetación urbana, confirmando en la capa del ayuntamiento una cobertura aproximada del 10.06% del área estudiada, mientras que otros métodos indican que oscila la cobertura entre un 17% y 21%, por lo tanto, se ha realizado un control de calidad e informado al Ayuntamiento que los datos no son totalmente correctos.
- Se han evaluado y comparado los resultados obtenidos del modelo de vegetación que aparece en el geoportal del Ayuntamiento de València, el servicio de Copernicus (Land Monitoring Service), el algoritmo QA60, el algoritmo SCL, el algoritmo S2CloudLess y el algoritmo CloudScore+, encontrando diferentes niveles de cobertura vegetal.
- Se ha realizado una comparación exhaustiva de todos los métodos y algoritmos analizados, concluyendo que CloudScore+ es el más preciso y efectivo para el mapeo de la vegetación urbana en València.

Este estudio exhaustivo sobre la detección y enmascaramiento de nubes, así como la comparación de índices de vegetación (NDVI) en València utilizando cuatro algoritmos diferentes, revela varios hallazgos significativos:

- Eficiencia de los Algoritmos de Detección de Nubes: Se evaluaron cuatro algoritmos (QA60, SCL, S2CloudLess, CloudScore+) en términos de su capacidad para detectar nubes, sombras de nubes y cirros en imágenes de Sentinel-2. Se observó que CloudScore+ demostró consistentemente la mejor precisión, seguido de cerca por SCL, mientras que QA60 mostró la menor eficacia en la detección, especialmente en nubes pequeñas y sombras.
- Impacto en la Calidad del NDVI: Los resultados de los NDVI calculados utilizando los diferentes algoritmos fueron comparados con el NDVI obtenido a través del Land Monitoring Service de Copernicus. Se encontró que los NDVI generados por CloudScore+ y SCL mostraron una mayor correspondencia con el NDVI de referencia, indicando su capacidad para proporcionar estimaciones más precisas de la vegetación en València.
- Enmascaramiento de Nubes: Los algoritmos de enmascaramiento de nubes, que dependen de la detección previa de nubes, mostraron variaciones en su capacidad para eliminar nubes, sombras y cirros de las imágenes satelitales. CloudScore+ nuevamente destacó al enmascarar de manera efectiva todas las formas de nubosidad, seguido por SCL, mientras que QA60 y S2CloudLess mostraron limitaciones en la detección de nubes pequeñas y sombras.

- Comparación Visual y Estadística: Se realizó una comparación exhaustiva mediante visualizaciones y análisis estadístico. CloudScore+ demostró la mayor similitud con los datos proporcionados por EOBROWSER, con un 74.76% de precisión en la detección de nubes, seguido por SCL con un 64.57%. Esta validación proporciona una base sólida para la selección de algoritmos en futuras aplicaciones de monitoreo de vegetación en áreas urbanas.

Este estudio no solo ha mejorado la precisión de la detección de nubes y el cálculo del NDVI en València, sino que también ha establecido una referencia clave para la elección de algoritmos en aplicaciones futuras de monitoreo ambiental y gestión urbana. Los resultados destacan la importancia de la selección adecuada del algoritmo de procesamiento de imágenes satelitales para obtener resultados precisos y confiables en estudios geoespaciales.

Estos hallazgos son particularmente relevantes en el contexto de la Capital Verde Europea, un título que resalta el compromiso de las ciudades con la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida urbana. València, al aspirar y/o mantener su estatus como una ciudad verde, se beneficia enormemente de la implementación de tecnologías avanzadas para el monitoreo ambiental.

Basándonos en los resultados obtenidos de la evaluación comparativa, formulamos recomendaciones específicas para mejorar la gestión y conservación sostenible de las áreas verdes en el centro de València, ya que la capacidad de detectar y enmascarar nubes con alta precisión permite una mejor evaluación de la vegetación urbana a través del NDVI, lo cual es esencial para:

- Planificación y Gestión Ambiental: Informar y mejorar las estrategias de plantación y mantenimiento de áreas verdes, asegurando un entorno más saludable y habitable para los ciudadanos.
- Reducción del Impacto Climático: Facilitar el seguimiento de la eficacia de las iniciativas de mitigación del cambio climático y adaptación en la ciudad, alineándose con los objetivos de la Capital Verde Europea.
- Participación Comunitaria: Proporcionar datos precisos y accesibles para involucrar a la comunidad en la protección y expansión de los espacios verdes, promoviendo una conciencia ambiental más profunda.

La integración de tecnologías avanzadas de detección y monitoreo en la gestión urbana de València no solo refuerza su capacidad para competir por el título de Capital Verde Europea, sino que también subraya su compromiso con la sostenibilidad y la mejora continua de la calidad de vida de sus habitantes.

7. Bibliografía.

Citas:

- Ajuntament de València. (2024, January 15). *Verde València*.
<https://www.valencia.es/web/cve>.
- Ayuntamiento de Elche, & Pimesa. (n.d.). *Capital Verde Europea*.
<https://elx2030.es/capital-verde-europea/>.
- Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. (n.d.). *El título European Green Capital*.
https://www.vitoria-gasteiz.org/wb021/was/contenidoaction.do?idioma=es&uid=u_50d894f9_180d5602b5c__7fb6#:~:Text=El%20Premio%20European%20Green%20Capital,De%20mayo%20de%202006%20en.
- Consejo de la Unión Europea: Secretaria General, Grupo OCEAN, & Unión Europea. (2023, December 3). *Cómo afecta el Pacto Verde Europeo a la construcción y rehabilitación de edificios: cero emisiones a partir de 2030*.
<https://www.grupocean.com/como-afecta-el-pacto-verde-a-la-construccion-y-rehabilitacion-de-edificios-cero-emisiones-a-partir-de-2030/>.
- Consejo Europeo. (2023, August 25). *Capitales Verdes Europeas: las ciudades españolas líderes en sostenibilidad*. <https://spanish-presidency.consilium.europa.eu/eu/albisteak/capital-verde-europea-vitoria-valencia-je/>.
- Consejo Europeo, & Consejo de la Unión Europea. (2024, June 17). *Pacto Verde Europeo*. <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>.
- Costa de València, & Andreas. (2024, January 25). *València, Capital Verde Europea*. <https://www.costadevalencia.com/blog/valencia-capital-verde-europea>.
- Euronews Green, & Euronews. (2024, January 20). *European Green Capital 2024: What does València have planned for its year in the limelight?*
<https://www.euronews.com/green/2024/01/20/european-green-capital-2024-what-does-valencia-have-planned-for-its-year-in-the-limelight>.
- Europe Direct Navarra. (n.d.). *Premios Capital Verde Europea y Hoja Verde Europea*. <https://europedirectnavarra.eu/2024/02/29/premios-capital-verde-europea-y-hoja-verde-europea/#:~:Text=Los%20premios%20de%20la%20Comisi%C3%B3n,A%20partir%20de%2020.000%20habitantes>.
- Lehoczky, A., Sobrino, J., Skoković, D., & Aguilar, E. (2017). The Urban Heat Island Effect in the City of València: A Case Study for Hot Summer Days. *Urban Science*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.3390/urbansci1010009>
- Molner, J. V., Pérez-González, R., & Soria, J. M. (2024). Rehabilitation of Urban Beaches on the Mediterranean Coast in València (Spain) Observed by Remote Sensing. *Urban Science*, 8(1), 3.
<https://doi.org/10.3390/urbansci8010003>

- Movilidad Sostenible e Infraestructura Verde Urbana. (2020, June). VITORIA-GASTEIZ GREEN CAPITAL: una ciudad a escala humana. <https://Www.Vitoria-Gasteiz.Org/Docs/Wb021/ContenidosEstaticos/Adjuntos/Es/96/77/89677.Pdf>.
- Naciones Unidas. (n.d.). *Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles*. <https://Un.Org/Sustainabledevelopment/Es/Cities/>.
- Oficina de Desenvolupament Sostenible, I. i l., & Ajuntament de Gavà. (n.d.). *Los 12 indicadores de una capital europea verde*.
- Parlamento Europeo, Unión Europea, & Matteo Ciucci. (2024, March). *Fichas temáticas sobre la Unión Europea: La energía renovable*. <https://Www.Europarl.Europa.Eu/Factsheets/Es/Sheet/70/La-Energia-Renovable>.
- Periodismo de datos & Real Estate, & Brainsre.news. (2023, January 8). *Tallin (Estonia), elegida Capital Verde Europea para 2023 por la Comisión Europea*. <https://Brainsre.News/Tallin-Estonia-Elegida-Capital-Verde-Europea-Para-2023-For-La-Comision-Europea/>.
- Presidencia Española del Consejo de la Unión Europea. (2023, November 12). *La Agenda Urbana de la UE, una hoja de ruta para desarrollar el pleno potencial de las ciudades*. <https://Spanish-Presidency.Consilium.Europa.Eu/Eu/Albisteak/Agenda-Urbana-Ue-Desarrollo-Potencial-Ciudades-Reunion-Infomal-Gijon/>.
- Wikipedia. (2024, March 6). *Premio Capital Verde Europea*. https://Es.Wikipedia.Org/Wiki/Premio_Capital_Verde_Europea.

Información consultada:

Capa vectorial de Barrios de València:

<https://València.opendatasoft.com/explore/dataset/barris-barrios/map/?location=10,39.42291,-0.35395&basemap=e4bf90>

More accurate and flexible cloud masking for Sentinel-2 images:

<https://medium.com/google-earth/more-accurate-and-flexible-cloud-masking-for-sentinel-2-images-766897a9ba5f>

Verde urbano en València: <https://www.movactiva.es/València/València-%C2%B7-verde-urbano/>

Cloud Score+ in Action: Land Cover Mapping in Ecuador:

<https://medium.com/google-earth/cloud-score-in-action-land-cover-mapping-in-ecuador-fd1c5c424317>

Estudio de la vegetación y la flora de la Comarca de La Safor (València):

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=226482>

Sentinel Hub Cloud Detector — s2cloudless: <https://medium.com/sentinel-hub/sentinel-hub-cloud-detector-s2cloudless-a67d263d3025>

El medio ambiente urbano y la vegetación. Estudio de la situación en la ciudad de València: <https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/8415>

European Green Capital Award:

https://en.wikipedia.org/wiki/European_Green_Capital_Award

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):

https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php

Capital Verde Europea y premio Hoja Verde Europea: https://youth.europa.eu/get-involved/sustainable-development/european-green-capital-and-european-green-leaf-award_es

Recopilatorio de scripts para Google Earth Engine:

<https://www.gisandbeers.com/scripts-para-google-earth-engine/>

Cómo generar imágenes satélite sin nubes: <https://www.gisandbeers.com/generar-imagenes-satelite-sin-nubes/>

Sen2Cor para corrección atmosférica de Sentinel 2:

<https://www.gisandbeers.com/sen2cor-correccion-atmosferica-sentinel-2/>

Cloud Masks at Your Service: <https://medium.com/sentinel-hub/cloud-masks-at-your-service-6e5b2cb2ce8a>

All Clear with Cloud Score+: <https://medium.com/google-earth/all-clear-with-cloud-score-bd6ee2e2235e>

Datos NDVI en tiempo real a 300 metros: <https://www.gisandbeers.com/datos-ndvi-en-tiempo-real-300-metros/>

