

DICCIONARIO DE DISCIPLINAS CIENTÍFICAS

RESUMEN

Continuamos en este número de la revista con la publicación del *Diccionario de disciplinas científicas*, en el que se van describiendo un amplio conjunto de disciplinas, tanto de las Ciencias sociales, como Ciencias naturales, de la Vida, etc. Lo hacemos por *Orden alfabético*, haciéndose referencia a los conceptos más importantes, objetivos, avances y perspectivas futuras de cada una de las disciplinas. En este número incluimos tres nuevas disciplinas: *Ciencias de la Complejidad*, *Ciencias Forestales* y *Climatología*.

CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Las *Ciencias de la complejidad* son un campo interdisciplinar que estudia sistemas complejos: conjuntos de muchos elementos que interactúan de formas no lineales y producen comportamientos globales que no se pueden predecir simplemente sumando las partes. Estos sistemas se caracterizan por: a) Emergencia: aparecen propiedades nuevas a nivel global que no están en ninguna parte del sistema individual. b) Autoorganización: el sistema se estructura sin un “director” externo. c) No-linealidad y retroalimentación: pequeñas variaciones pueden tener grandes efectos. d) Sensibilidad a condiciones iniciales y adaptabilidad: su evolución es impredecible y capaz de aprender o adaptarse.

Se aplica tanto a sistemas físicos como biológicos, sociales, económicos o tecnológicos. Ejemplos de sistemas complejos adaptativos incluyen ecosistemas, mercados financieros, redes sociales y el sistema inmunológico.

En lo relativo a avances recientes, en la última década, las Ciencias de la complejidad han pasado de la teoría abstracta a aplicaciones prácticas gracias al Big Data y al Machine Learning, destacando los siguientes aspectos:

A) *Epidemiología de Precisión*: Durante la pandemia de COVID-19, los modelos de redes complejas permitieron predecir la propagación del virus considerando la movilidad humana y los contactos sociales, no solo estadísticas de crecimiento simple.

B) *Socio-física*: Se están utilizando herramientas de la física estadística para entender la polarización política, la propagación de noticias falsas y el comportamiento de los mercados financieros.

C) *Biología de Sistemas*: Se ha avanzado en entender el "interactoma" (el mapa de todas las interacciones moleculares en una célula), lo que permite diseñar fármacos que atacan redes de enfermedades en lugar de una sola proteína.

D) *IA Conectivista*: El auge de las redes neuronales profundas es, en esencia, un triunfo de la complejidad aplicada: capas de nodos simples que aprenden patrones abstractos.

En referencia al *futuro* de las Ciencias de la complejidad, cabe destacar las siguientes previsiones:

A) *Integración con tecnologías emergentes*: La complejidad está estrechamente relacionada con tecnologías de punta: a) Inteligencia Artificial y simulación: la IA moderna (por ejemplo, modelos que simulan dinámicas físicas complejas más rápido que métodos tradicionales) provee nuevas maneras de estudiar sistemas complejos de forma precisa y escalable. b) Computación cuántica: aunque todavía en etapas tempranas, la computación cuántica promete abordar problemas de optimización y modelado de gran escala típicos en sistemas complejos (aunque con cautela científica sobre expectativas exageradas).

B) *Hacia un paradigma científico más holístico*. Las ciencias de la complejidad están impulsando una revolución epistemológica: a) Hacia una ciencia que acepte la incertidumbre y la emergencia como elementos centrales. b) Hacia métodos que integren niveles múltiples (desde partículas hasta sociedades grandes) en modelos coherentes. c) Hacia una comprensión más rica de bio-social-naturaleza como un sistema interconectado.

C) *Desafíos y límites*. A pesar de los avances, el campo también enfrenta retos: a) Definiciones aún poco consolidadas y debates sobre qué constituye realmente una “ciencia de la complejidad” unificada. b) Necesidad de marcos éticos sólidos, especialmente cuando se aplica a políticas públicas o tecnologías que afectan sociedades enteras. c) El gran reto de predecir comportamientos sistémicos complejos a largo plazo sigue siendo una frontera abierta de investigación.

En resumen, las Ciencias de la complejidad representan un enfoque científico radicalmente distinto al reduccionismo tradicional: buscan entender “el todo” a partir de las interacciones dinámicas de las partes, no solo sus componentes individuales. Su relevancia está creciendo rápidamente gracias a avances en computación, IA y modelado multidisciplinar, y su futuro apunta a una ciencia más integrada, ética y capaz de abordar problemas complejos del mundo real que antes eran inaccesibles.

CIENCIAS FORESTALES

Las *Ciencias forestales* (también llamadas *Dasonomía*) comprenden el conjunto de disciplinas científicas y técnicas dedicadas al estudio, manejo, conservación, producción y uso sostenible de los bosques y recursos forestales. Su objetivo es maximizar los beneficios humanos y ecológicos derivados de los bosques (madera, biodiversidad, servicios ecosistémicos como almacenamiento de carbono, conservación de suelos y regulación hídrica) de forma integrada y permanente a lo largo del tiempo.

Estas ciencias abarcan áreas como: a) Silvicultura (gestión y cultivo de bosques para usos múltiples). b) Ecología forestal (interacciones biológicas y ambientales en bosques). c) Genética forestal (mejoramiento de especies y adaptación al cambio climático). d) Gestión sostenible y política forestal (herramientas para la toma de decisiones). e) Tecnologías forestales (teledetección, sensores remotos, sistemas de información geográfica). Hoy en día, las ciencias forestales no se limitan a producir madera, sino que integran objetivos de conservación de la biodiversidad, mitigación del cambio climático y desarrollo rural sostenible.

Entre los avances recientes de esta disciplina, podemos destacar:

A) *La integración de la digitalización* ha transformado radicalmente la gestión de los montes: a) Bosques 3.0 y Teledetección: El uso de la plataforma Google Earth Engine y algoritmos de IA permite ahora monitorear cambios en la cobertura forestal con una precisión superior al 93%, detectando desde talas ilegales hasta el inicio de plagas en tiempo real. b) Tecnología LiDAR: Los sensores láser permiten crear nubes de puntos en 3D para medir la biomasa y la altura de cada árbol de forma individual desde drones, facilitando inventarios que antes tomaban meses en realizarse a pie. c) Mecanización Inteligente: Han surgido cosechadoras autónomas y robots de plantación que pueden operar en terrenos difíciles, optimizando rutas para reducir la compactación del suelo y las emisiones de combustible. d) Genómica Forestal: Avances en el mapeo genético permiten identificar individuos más resistentes a sequías extremas e incendios, fundamentales para programas de reforestación en un planeta más cálido.

B) *Investigación científica multidisciplinar*: a) Revistas como *Forest Systems* publican estudios sobre manejo forestal, ecología, genética, interacción biótica/abiótica y gestión de incendios, reflejando el amplio alcance de la ciencia forestal moderna. b) Publicaciones científicas recientes cubren temas desde diversidad de árboles y fertilización hasta análisis de deforestación.

C) *Respuesta a desafíos ambientales*: a) La comunidad científica aborda la emergencia de incendios forestales más intensos y complejos, vinculada en algunos casos con abandono rural y acumulación de combustibles. b) Proyectos de gestión forestal participativa y prevención municipal avanzan en España y otros países, integrando bioeconomía y sostenibilidad.

En lo relativo al futuro de las Ciencias forestales, podemos señalar algunas previsiones:

A) *Sostenibilidad y resiliencia ante el cambio climático*: El futuro de la ciencia forestal está cada vez más ligado a la gestión adaptativa en un clima cambiante. El desarrollo de bosques resilientes frente a sequías, plagas e incendios será clave, apoyado por genética forestal avanzada.

B) *Automatización y robótica*: La robótica con IA integrada está destinada a mejorar operaciones forestales complejas, como la identificación y extracción selectiva de árboles sin intervención humana constante, lo que puede reducir impactos ambientales y mejorar la eficiencia.

C) *Bioteología forestal y mejoramiento genético*: Avances en genómica, edición de genes y biotecnología forestal prometen acelerar el desarrollo de especies forestales con mayor productividad y adaptación al estrés ambiental, ayudando a equilibrar producción forestal y conservación ecológica.

D) *Digitalización total y bosques digitales*: El uso de modelos digitales de bosques (digital twins) construidos a partir de datos integrados (sensores, satélites, clima) ofrecerá simulaciones para prever escenarios de manejo futuro y posibles respuestas ante disturbios ambientales.

E) *Bioeconomía forestal y productos innovadores*: La ciencia forestal seguirá impulsando biomateriales avanzados como nanocelulosa y compuestos forestales de alto valor añadido, fomentando una economía circular y más sostenible.

F) *Políticas, gobernanza y participación social*: Foros como el Congreso Forestal Español ponen de manifiesto la necesidad de integrar ciencia, políticas públicas y comunidades locales para avanzar hacia una gestión forestal que dé respuestas eficaces a retos actuales y futuros.

En resumen, las Ciencias forestales han evolucionado desde su enfoque tradicional -centrado en la producción de madera- hacia una ciencia integradora que combina ecología, tecnología, economía, políticas y sociedad para gestionar de forma sostenible los bosques del planeta. Los avances recientes en tecnologías digitales, IA, robótica y biotecnología están transformando la disciplina, y el futuro apunta a una gestión forestal más resiliente, adaptativa y alineada con los desafíos ambientales globales.

CLIMATOLOGÍA

La *Climatología* es la ciencia que estudia el clima de la Tierra y sus variaciones a lo largo del tiempo y el espacio. A diferencia de la meteorología —que se centra en el tiempo atmosférico a corto plazo— la climatología se enfoca en tendencias, patrones y promedios climáticos durante décadas o siglos y las causas que los explican.

Algunas de sus características clave son las siguientes: a) Analiza parámetros como temperatura, precipitación, viento y composición atmosférica a lo largo de largos periodos. b) Utiliza modelos matemáticos y estadísticos para entender cómo funcionan los diferentes componentes del sistema

climático (atmósfera, océanos, hielo, biosfera). c) Investiga tanto el clima actual como las variaciones pasadas (incluyendo reconstrucciones paleoclimáticas usando proxy como anillos de árboles o hielos).

En cuanto a los avances recientes de esta disciplina, cabe destacar que en los últimos años la disciplina ha dado saltos tecnológicos sin precedentes:

A) *Ciencia de la Atribución en Tiempo Real*: Ahora es posible determinar, en cuestión de días tras un evento extremo (como la DANA en Valencia de 2024 o las olas de calor de 2025), qué porcentaje de probabilidad fue causado directamente por el cambio climático antropogénico.

B) *Inteligencia Artificial Predictiva*: Modelos basados en redes neuronales (como GraphCast de DeepMind o el modelo de Stanford) están superando a los modelos numéricos tradicionales en velocidad y precisión para predecir cuándo se alcanzarán umbrales críticos como los 1.5°C o 2°C.

C) *Monitoreo del Ciclo del Carbono*: Nuevos satélites permiten medir emisiones de metano y CO₂ a nivel de instalaciones individuales (fábricas o vertederos), eliminando la incertidumbre en los inventarios nacionales.

D) *Paleoclimatología de Alta Resolución*: Se han obtenido registros de núcleos de hielo y sedimentos que permiten reconstruir el clima anual de hace miles de años, ayudando a contextualizar la anomalía térmica actual (que ya encadena un trienio récord en 2024-2026).

En lo que respecta al futuro previsible de la Climatología, cabe destacar que el futuro de esta disciplina está marcado tanto por sus retos científicos como por su impacto social y ambiental:

A) *Modelización climática de alta precisión*: Se espera que los modelos del clima del futuro sean más detallados y fiables, integrando física más precisa y mejores representaciones de procesos complejos como nubes, aerosoles y retroalimentaciones del sistema climático.

B) *Integración de Inteligencia Artificial y nuevas tecnologías*: Las herramientas de IA y aprendizaje automático seguirán transformando la climatología, tanto para simulaciones como para el análisis de grandes volúmenes de datos climáticos históricos y observacionales.

C) *Servicios climáticos para decisiones informadas*: La climatología del futuro no solo se queda en la investigación teórica, sino que impulsa servicios climáticos operativos que ayudan a gobiernos, ONGs y empresas a tomar decisiones basadas en proyecciones climáticas rigurosas.

D) *Adaptación y mitigación*: La ciencia del clima se volverá cada vez más esencial para diseñar estrategias de adaptación al cambio climático (infraestructuras resilientes, políticas de uso del suelo) y para evaluar los efectos de diferentes escenarios de mitigación de emisiones en el clima futuro.

E) *Enfoque interdisciplinar*: La Climatología seguirá interactuando fuertemente con otras disciplinas —ecología, economía, salud pública, ciencias sociales— porque los efectos del cambio climático no son solo físicos, sino sociosanitarios y económicos.

En resumen, la Climatología es una ciencia central para entender nuestro planeta en un contexto de cambio acelerado. Parte de datos observacionales y modelos complejos para analizar tendencias climáticas a gran escala y proyectar escenarios futuros. Hoy es clave para comprender el calentamiento global, la intensificación de fenómenos extremos y para diseñar estrategias de mitigación y adaptación ante una realidad climática cambiante.