



# **Sílabo del curso**

## **Tecnologías para la Gestión Ambiental: Aire, Agua y Suelo**

---

**Agosto – Diciembre 2026**

**VI Ciclo**

**Profesora**

**Carrillo Meza, Lillian**

## I. Datos generales del curso

---

|                          |                                                                                |                                |                                           |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Nombre del curso:</b> | <b>TECNOLOGÍAS PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL: AIRE, AGUA Y SUELO</b>               |                                |                                           |
| <b>Requisito:</b>        | Química Ambiental, Ciencias del Suelo; Microbiología Ambiental, Data Analytics | <b>Código:</b>                 | 21928                                     |
| <b>Precedente:</b>       | -                                                                              | <b>Semestre:</b>               | 2026-2                                    |
| <b>Créditos:</b>         | 5                                                                              | <b>Ciclo:</b>                  | VI                                        |
| <b>Horas semanales:</b>  | 6 horas                                                                        | <b>Modalidad del curso:</b>    | Presencial                                |
| <b>Carrera(s)</b>        | Ingeniería de Gestión Ambiental / Ingeniería Ambiental                         | <b>Coordinadora del curso:</b> | Mayra Arauco Livia<br>marauco@esan.edu.pe |

## II. Sumilla

---

Esta asignatura explora tecnologías avanzadas para la detección, monitoreo, modelación y remediación de la contaminación en aire, agua y suelo, integrando herramientas digitales e inteligencia ambiental. Se abordan métodos de análisis automatizado mediante sensores remotos, plataformas IoT y sistemas de monitoreo en tiempo real, así como aplicaciones de machine learning para la predicción de riesgos y simulación de escenarios ambientales.

El curso incluye el uso de Software especializado para modelación hidrológica, calidad del aire y dinámica de contaminantes, junto con técnicas innovadoras como fotocatalisis, biorremediación y materiales adsorbentes de nueva generación.

Se analizan marcos regulatorios nacionales e internacionales y estudios de caso con enfoque en sostenibilidad y eficiencia tecnológica. Los estudiantes desarrollarán competencias para liderar soluciones de alta tecnología en contextos urbanos, industriales y ecosistémicos.

## III. Objetivos del curso

---

### 3.1. Objetivo general

Desarrollar competencias para analizar problemas ambientales y seleccionar, aplicar e interpretar tecnologías de monitoreo, análisis de datos, modelación y tratamiento o remediación de aire, agua y suelo, integrando criterios científicos, tecnológicos, regulatorios, económicos y de sostenibilidad para la toma de decisiones ambientales.

### 3.2. Objetivos específicos

1. Comprender los fundamentos de las tecnologías utilizadas para la caracterización y monitoreo de la calidad ambiental del aire, agua y suelo.
2. Diseñar estrategias básicas de monitoreo ambiental considerando variables, métodos de medición, representatividad, calidad de datos y objetivos de evaluación.
3. Analizar el funcionamiento y las aplicaciones de sensores ambientales, sensores remotos, sistemas IoT y plataformas de monitoreo en tiempo real.
4. Procesar, visualizar e interpretar información ambiental mediante herramientas estadísticas y de análisis de datos.
5. Aplicar conceptos básicos de modelación ambiental y aprendizaje automático para analizar tendencias, identificar patrones, realizar predicciones y evaluar escenarios.
6. Comparar tecnologías de tratamiento y remediación ambiental considerando sus mecanismos, eficiencia, condiciones de aplicación, limitaciones y sostenibilidad.
7. Integrar información ambiental, herramientas tecnológicas y criterios regulatorios para formular alternativas de solución a problemas ambientales.
8. Desarrollar capacidades para comunicar y sustentar técnicamente decisiones relacionadas con la selección de tecnologías ambientales.

## IV. Resultados de aprendizaje

---

Al finalizar el curso, el estudiante será capaz de:

### RA1. Caracterización y monitoreo

Analizar problemas de contaminación ambiental en aire, agua y suelo, identificando variables relevantes y seleccionando métodos, sensores y sistemas de monitoreo de acuerdo con los objetivos de evaluación.

### RA2. Gestión y análisis de datos ambientales

Procesar, validar, visualizar e interpretar datos ambientales provenientes de sistemas de monitoreo, aplicando herramientas estadísticas y de análisis de datos para identificar tendencias, patrones, anomalías e incertidumbres.

### RA3. Modelación y aprendizaje automático

Aplicar e interpretar herramientas básicas de modelación ambiental y aprendizaje automático para analizar procesos ambientales, realizar predicciones y evaluar escenarios, reconociendo los supuestos, limitaciones e incertidumbres asociados.

### RA4. Tratamiento y remediación

Comparar tecnologías de tratamiento y remediación para aire, agua y suelo considerando contaminantes objetivo, mecanismos de operación, eficiencia, requerimientos técnicos, costos, impactos secundarios y sostenibilidad.

### RA5. Solución tecnológica integral

Formular una alternativa tecnológica frente a un problema ambiental real o simulado, integrando monitoreo, análisis de datos, modelación y/o tratamiento o remediación, y justificando su selección mediante criterios técnicos, ambientales, regulatorios y de sostenibilidad.

## V. Metodología

---

El curso empleará una metodología aplicada y experimental, orientada al desarrollo de competencias para la identificación, análisis y solución de problemas ambientales mediante el uso integrado de tecnologías de monitoreo, análisis de datos, modelación y evaluación de alternativas de tratamiento y remediación.

Las sesiones combinarán exposición dialogada, resolución de problemas, estudios de caso, talleres, prácticas de laboratorio, laboratorios computacionales, análisis e interpretación de datos ambientales y desarrollo progresivo de un proyecto aplicativo integrador.

## VI. Evaluación

---

El sistema de evaluación es permanente e integral. La nota de la asignatura se obtiene promediando la evaluación permanente (70%) y la evaluación final (30%).

El promedio de evaluación permanente resulta del promedio de cuatro (4) controles de lectura, tres (3) prácticas calificadas (se anula la de menor nota) y, tres (3) trabajos prácticos desarrollados y expuestos en clase.

Las ponderaciones al interior de la evaluación permanente se describen en el cuadro siguiente:

| PROMEDIO DE EVALUACIÓN PERMANENTE 70% |             |               |
|---------------------------------------|-------------|---------------|
| Tipo de evaluación                    | Descripción | Ponderación % |

|                                                                      |                                                                   |    |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----|
| Controles de Lectura                                                 | 4 controles de lectura                                            | 20 |
| Prácticas Calificadas                                                | 3 PC<br>Se anula la menor                                         | 20 |
| Trabajos Aplicativos Integrador<br>Otros: casos, participación, etc. | 3 trabajos prácticos desarrollados y expuestos en clase (20% c/u) | 60 |

| EVALUACIÓN FINAL 30% |                                               |  |
|----------------------|-----------------------------------------------|--|
| Evaluación Final     | Exposición del Trabajo de Investigación (60%) |  |
|                      | Trabajo de Investigación escrito (40%)        |  |

El promedio final (PF) se obtiene del siguiente modo:

$$PF = (0,70 \times PEP) + (0,30 \times EF)$$

Dónde:

**PF** = Promedio Final

**PEP** = Promedio de evaluación permanente

**EF** = Evaluación Final

#### Rúbrica de Evaluación: TECNOLOGÍAS PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL: AIRE, AGUA Y SUELO

| Criterio                                                                                                                                                     | Excelente (5)                                                                                                                                                                                                                        | Bueno (4)                                                                                                                                                                                                                       | Satisfactorio (3)                                                                                                                                                                                               | Insuficiente (2)                                                                                                                                                                                                 | Deficiente (1)                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Conocimiento teórico sobre calidad del aire, agua y/o suelo</b>                                                                                        | Demuestra un conocimiento profundo y preciso sobre los parámetros de calidad del aire, agua y/o suelo, su importancia y su relación con la salud pública y el medio ambiente.                                                        | Demuestra un buen conocimiento de los parámetros de calidad del aire, agua y/o suelo, pero con algunos detalles poco precisos.                                                                                                  | Muestra conocimiento básico de los parámetros de calidad del aire, agua y/o suelo, con algunos errores u omisiones importantes.                                                                                 | Carece de comprensión de los parámetros de calidad del aire, agua y/o suelo, o presenta respuestas incorrectas.                                                                                                  | No evidencia comprensión del tema o contiene errores graves que demuestran desconocimiento.        |
| <b>2. Ha revisado los instrumentos, protocolos y otros documentos indicados en clase y desarrolla su contenido en el análisis de su trabajo y exposición</b> | Identifica correctamente los instrumentos, protocolos y otros documentos indicados en clase y desarrolla su contenido en el análisis de su trabajo y exposición, y describe detalladamente su impacto ambiental, social y económico. | Identifica correctamente varios de los instrumentos, protocolos y otros documentos indicados en clase y desarrolla su contenido en el análisis de su trabajo y exposición, y describe su impacto, aunque de manera superficial. | Identifica los instrumentos, protocolos y otros documentos indicados en clase y desarrolla su contenido en el análisis de su trabajo y exposición, pero la explicación de su impacto es incompleta o imprecisa. | No identifica correctamente los instrumentos, protocolos y otros documentos indicados en clase y desarrolla su contenido en el análisis de su trabajo y exposición, o no describe su impacto de manera adecuada. | No incluye los documentos requeridos o los utiliza de forma inadecuada, sin evidencia de análisis. |
| <b>3. Técnicas de monitoreo de la calidad del aire, agua y/o suelo</b>                                                                                       | Explica en detalle las técnicas de monitoreo de la calidad del aire, agua y/o suelo, incluyendo                                                                                                                                      | Explica las técnicas de monitoreo de la calidad del aire, agua y/o suelo, pero falta                                                                                                                                            | Explica las técnicas básicas de monitoreo de la calidad del aire, agua y/o suelo, pero con                                                                                                                      | No describe correctamente las técnicas de monitoreo de la calidad del aire, agua y/o suelo                                                                                                                       | No identifica técnicas de monitoreo o lo hace con errores significativos.                          |

|                                                                                          |                                                                                                                                                       |                                                                                                                |                                                                                                       |                                                                                   |                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                          | métodos avanzados y las herramientas correspondientes.                                                                                                | profundización en algunos métodos o herramientas.                                                              | errores en la descripción de algunos métodos, herramientas u otros.                                   | o presenta conceptos erróneos.                                                    |                                                                                                |
| <b>4. Aplicación de normativas y regulaciones sobre calidad del aire, agua y/o suelo</b> | Aplica de manera precisa y detallada las normativas y regulaciones nacionales e internacionales relacionadas con la calidad del aire, agua y/o suelo. | Aplica las normativas de manera general, pero sin profundizar en algunos aspectos clave o con errores menores. | Tiene un conocimiento limitado de las normativas y las aplica de forma incompleta o incorrecta.       | No aplica o presenta una comprensión incorrecta de las normativas y regulaciones. | Desconoce o malinterpreta completamente las normativas sobre calidad del aire, agua y/o suelo. |
| <b>5. Presentación y claridad de las respuestas</b>                                      | Las respuestas están bien organizadas, son claras y concisas, con argumentos sólidos y bien fundamentados.                                            | Las respuestas son claras, aunque en algunos casos carecen de una estructura lógica o argumentación detallada. | Las respuestas son comprensibles, pero con varias imprecisiones o falta de claridad en la exposición. | Las respuestas son confusas, desorganizadas o carecen de sustancia y claridad.    | Presentación sin claridad; dificulta la comprensión del contenido                              |

**Total Puntaje Máximo: 20 puntos**

## VII. Contenido programado

| SEMANA                                            | CONTENIDOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ACTIVIDADES / EVALUACIÓN                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1°</b><br>Del 17 al 22 de agosto               | <b>Tecnología y gestión ambiental.</b> Problemas ambientales contemporáneos. Aire, agua y suelo como matrices ambientales. Fuentes y tipos de contaminación. Ciclo de gestión tecnológica: caracterización, monitoreo, análisis, modelación, intervención y verificación. Introducción a la evaluación de tecnologías ambientales. | Presentación del curso. Evaluación diagnóstica. Análisis de caso. Formación de equipos y selección preliminar del problema ambiental para el proyecto integrador. |
| <b>2°</b><br>Del 24 al 29 de agosto               | <b>Diseño de programas de monitoreo ambiental.</b> Objetivos de monitoreo. Variables ambientales. Selección de puntos y frecuencia de muestreo. Representatividad. Métodos de medición. Sensores convencionales y sensores de bajo costo. Introducción a la trazabilidad de mediciones.                                            | Taller: diseño conceptual de un programa de monitoreo. <b>Control de lectura 1.</b>                                                                               |
| <b>3°</b><br>Del 31 de agosto al 05 de septiembre | <b>Sensores, teledetección e IoT.</b> Principios de funcionamiento. Sensores físicos y químicos. Sensores remotos. Redes de sensores. Internet de las cosas. Transmisión y almacenamiento de datos. Monitoreo en tiempo real. Ventajas y limitaciones.                                                                             | Laboratorio: evaluación de datos provenientes de sensores. Comparación entre sensores de referencia y sensores de bajo costo.                                     |
| <b>4°</b><br>Del 07 al 12 de septiembre           | <b>Calidad de datos ambientales y QA/QC.</b> Calibración. Exactitud y precisión. Sensibilidad. Límites de detección. Datos faltantes. Valores atípicos. Incertidumbre. Validación. Aseguramiento y control de calidad.                                                                                                             | <b>Práctica/Laboratorio 1:</b> control de calidad y validación de un conjunto de datos ambientales.                                                               |
| <b>5°</b><br>Del 14 al 19 de septiembre           | <b>Análisis exploratorio de datos ambientales.</b> Estadística descriptiva. Distribuciones. Correlaciones. Tendencias. Series temporales. Análisis de anomalías. Visualización de datos.                                                                                                                                           | <b>Estudio de caso 1:</b> interpretación de una serie temporal de calidad ambiental. <b>Control de lectura 2.</b>                                                 |

|                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>6°</b></p> <p>Del 21 al 26 de setiembre</p>            | <p><b>Análisis espacial de información ambiental.</b> Datos georreferenciados. Sistemas de Información Geográfica. Interpolación. Mapas de concentración. Identificación espacial de fuentes y zonas críticas. Integración de datos espaciales y temporales.</p>                                | <p><b>Práctica/Laboratorio 2:</b> análisis espacial de información ambiental mediante SIG.</p>                                                                                                              |
| <p><b>7°</b></p> <p>Del 28 de setiembre al 03 de octubre</p> | <p><b>Fundamentos de modelación ambiental.</b> Concepto de modelo. Modelos conceptuales, determinísticos y empíricos. Variables y parámetros. Calibración y validación. Sensibilidad. Incertidumbre. Modelación de escenarios. Interpretación de resultados.</p>                                | <p>Taller de construcción de un modelo conceptual. <b>Estudio de caso 2.</b></p>                                                                                                                            |
| <p><b>8°</b></p> <p>Del 05 al 10 de octubre</p>              | <p><b>Modelación aplicada a sistemas ambientales.</b> Modelación hidrológica y calidad de agua. Escorrentía y transporte de contaminantes. Modelación de sistemas urbanos. Introducción a herramientas como SWMM y otras plataformas disponibles.</p>                                           | <p><b>Práctica/Laboratorio 3:</b> configuración y ejecución de un modelo ambiental básico. Evaluación de escenarios.</p>                                                                                    |
| <p><b>9°</b></p> <p>Del 12 al 17 de octubre</p>              | <p><b>Machine learning aplicado a problemas ambientales.</b> Fundamentos. Aprendizaje supervisado y no supervisado. Regresión y clasificación. Preparación de datos. Entrenamiento y prueba. Sobreajuste. Métricas de desempeño. Interpretación de resultados.</p>                              | <p>Taller computacional: modelo predictivo básico con datos ambientales. <b>Control de lectura 3.</b></p>                                                                                                   |
| <p><b>10°</b></p> <p>Del 19 al 24 de octubre</p>             | <p><b>Tecnologías para la gestión de la calidad del aire.</b> Principales contaminantes. Material particulado. Gases contaminantes. Meteorología. Redes de monitoreo. Sensores. Fuentes y emisiones. Dispersión y transporte. Tecnologías de control de emisiones.</p>                          | <p><b>Estudio de caso 3:</b> diagnóstico tecnológico de un problema de calidad del aire. <b>Práctica/Laboratorio 4.</b></p>                                                                                 |
| <p><b>11°</b></p> <p>Del 26 al 31 de octubre</p>             | <p><b>Tecnologías para la gestión de la calidad del agua.</b> Indicadores de calidad. Monitoreo físico, químico y microbiológico. Fuentes de contaminación. Tratamiento físico, químico y biológico. Procesos convencionales y tecnologías avanzadas.</p>                                       | <p>Análisis comparativo de alternativas de tratamiento. <b>Control de lectura 4.</b></p>                                                                                                                    |
| <p><b>12°</b></p> <p>Del 02 al 07 de noviembre</p>           | <p><b>Tecnologías para suelos contaminados.</b> Caracterización de sitios contaminados. Muestreo y diagnóstico. Movilidad y destino de contaminantes. Evaluación preliminar de riesgos. Tecnologías <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>.</p>                                                        | <p>Taller: caracterización conceptual de un sitio contaminado. Selección preliminar de alternativas de remediación.</p>                                                                                     |
| <p><b>13°</b></p> <p>Del 09 al 14 de noviembre</p>           | <p><b>Tecnologías de remediación avanzada.</b> Biorremediación. Fitorremediación. Adsorción. Procesos de oxidación avanzada. Fotocatálisis. Materiales adsorbentes. Ventajas, limitaciones y subproductos. Criterios de selección tecnológica.</p>                                              | <p><b>Estudio comparativo de tecnologías.</b> Evaluación multicriterio de alternativas. Presentación del avance del proyecto integrador.</p>                                                                |
| <p><b>14°</b></p> <p>Del 16 al 21 de noviembre</p>           | <p><b>Selección y evaluación de tecnologías ambientales.</b> Criterios técnicos. Eficiencia de remoción. Requerimientos energéticos. Costos de capital y operación. Escalamiento: laboratorio, piloto y escala real. Residuos secundarios. Riesgos. Sostenibilidad. Análisis multicriterio.</p> | <p>Taller de selección de alternativa tecnológica. Retroalimentación del proyecto integrador.</p>                                                                                                           |
| <p><b>15°</b></p> <p>Del 23 al 28 de noviembre</p>           | <p><b>Integración y cierre del curso.</b> Tendencias tecnológicas en gestión ambiental. Digitalización ambiental. Sistemas inteligentes. Tecnologías emergentes. Limitaciones, incertidumbre y toma de decisiones. Revisión integradora de aire, agua y suelo.</p>                              | <p>Integración tecnológica para la solución de problemas ambientales. Sistemas integrados de monitoreo. Datos en tiempo real. Modelación. Predicción. Sistemas de alerta. Integración de sensores, SIG,</p> |

|                                                      |              |                                                                                                |
|------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                      |              | análisis de datos e inteligencia artificial. Evaluación de desempeño. Indicadores ambientales. |
| 16°<br><br>Del 30 de noviembre<br>al 05 de diciembre | EXAMEN FINAL |                                                                                                |

## VIII. Bibliografía

### Bibliografía básica

1. **Masters, G. M., & Ela, W. P. (2023).** *Introduction to Environmental Engineering and Science* (3rd ed.). Pearson. ISBN 978-0-13-784858-4.
2. **Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2021).** *Environmental Engineering: Fundamentals, Sustainability, Design* (3rd ed.). Wiley. ISBN 978-1-119-60445-7.
3. **Schnoor, J. L. (1996).** *Environmental Modeling: Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil*. Wiley. ISBN 978-0-471-12436-8.
4. **Chapra, S. C. (2008).** *Surface Water-Quality Modeling*. Waveland Press. ISBN 978-1-57766-605-9.
5. **Vallero, D. A. (2025).** *Fundamentals of Air Pollution* (6th ed.). Academic Press/Elsevier.
6. **Metcalf & Eddy, Inc., AECOM, Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. L. (2014).** *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-340118-8.8.2. Datos, sensores y tecnologías digitales
7. **United States Environmental Protection Agency (EPA).** *Enhanced Air Sensor Guidebook*. Referencia para planificación, implementación y evaluación de mediciones mediante sensores de calidad del aire.
8. **United States Environmental Protection Agency (EPA).** Documentación técnica de SWMM y BASINS para modelación hidrológica, hidráulica y de calidad del agua.
9. **World Health Organization (WHO).** *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*.

### 8.3. Normativa y documentos técnicos nacionales

10. **Perú. Ministerio del Ambiente.** Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente.
11. **Perú. Ministerio del Ambiente.** Decreto Supremo N° 023-2021-MINAM, que aprueba la **Política Nacional del Ambiente al 2030**.
12. **Perú. Ministerio del Ambiente.** Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, que aprueba los **Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire** y establece disposiciones complementarias.
13. **Perú. Ministerio del Ambiente.** Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que aprueba los **Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua** y establece disposiciones complementarias.
14. **Perú. Ministerio del Ambiente.** Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, que aprueba los **Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo**.
15. **Autoridad Nacional del Agua.** Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, que aprueba el **Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales**.

## IX. Profesora

Carrillo Meza, Lillian

[lcarrillom@esan.edu.pe](mailto:lcarrillom@esan.edu.pe)