**SEMINARIO DE CONTAMINACION DEL AIRE
Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental
Modalidad Virtual
Agosto 2025**

Descripción del Curso

La atmósfera es el cuerpo receptor de las emisiones provenientes de las actividades humanas. Desde el comienzo de la Revolución Industrial se ha producido un aumento de la concentración de ciertas sustancias (contaminantes) que afectan la salud de los seres humanos, animales y plantas.

Este Curso ofrece una Introducción a la Contaminación del Aire. Se pondrá énfasis en la presentación y discusión de los principios que gobiernan el funcionamiento del Sistema Tierra-Atmósfera. Se estudiarán las causas del clima y las respuestas del sistema climático, la dinámica de la atmósfera (vientos, circulación general) y el Balance de Energía de dicho sistema.

Se presentará la situación actual del debate sobre el Calentamiento Global y Cambio Climático (posición oficial y posición de los científicos escépticos).

A partir de la presentación de conceptos básicos de Meteorología y Termodinámica de la Atmósfera, se explicarán los mecanismos del movimiento vertical de masas de aire (parcelas) que permiten dispersar o no los contaminantes emitidos. Las distintas condiciones de estabilidad atmosférica se relacionarán con las variables meteorológicas.

Se describirán algunas tecnologías de Control de Emisiones. Se discutirán los fundamentos del Modelamiento de la Dispersión Atmosférica, mediante la resolución de problemas y la aplicación de Modelos de la USEPA: de Sondeo (SCREEN3) y Detallado (AERMOD).

Además de las clases teóricas, se resolverán Guías de Problemas de Aplicación y se discutirán distintos temas ambientales de la zona industrial, portuaria y urbana de Bahía Blanca.

Objetivos del Curso

Al terminar el curso, el estudiante podrá:

- Conocer distintos aspectos de la Contaminación del Aire: tipos, categorías y fuentes de contaminantes.
- Conocer algunas Tecnologías para el Control de Emisiones.
- Comprender la generación del clima, la dinámica de la atmósfera (vientos, circulación general) y el balance de energía del sistema Tierra-Atmósfera.
- Conocer la situación actual sobre el Calentamiento Global y Cambio Climático.
- Comprender la Meteorología de la Contaminación del Aire (movimiento vertical del aire, modelo de parcelas de aire, gradientes de temperatura, estabilidad atmosférica, inversiones de temperatura, plumas de chimeneas).
- Entender la Dispersión Atmosférica de contaminantes: tipo de fuentes y terreno, duración de las emisiones, gases de flotación positiva y negativa, modelos de dispersión.

Programa Analítico

• **Contaminación del Aire y Control de Emisiones**

Definición de Contaminación del Aire. Tipos de contaminantes (primarios y secundarios). Contaminantes criterio y contaminantes peligrosos. Categorías de contaminantes. Fuentes estacionarias, móviles y fugitivas. Tipos de fuentes estacionarias (rurales, industriales y comunitarias).

Temas relacionados: olor, humos negros y nieblas, calidad de aire en interiores y ruido. Contaminantes: material particulado (PM), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x). Causas y fuentes de los contaminantes.

Tecnologías de control de emisiones de Material Particulado (PM): separadores por gravedad, ciclones, filtros de mangas, precipitadores electrostáticos y lavadores húmedos. Tecnologías de control de emisiones de SO_x, NO_x y CO. Reducción de emisiones de combustible. Dispositivos de seguridad: antorchas.

- **La Atmósfera y Clima:**

Sistema Tierra: atmósfera, hidrósfera (incluye la criósfera), geósfera (incluye la litósfera), biósfera, exósfera, antropósfera). Forzamientos externos y antropogénicos. Componentes del sistema climático. Historia y evolución de la atmósfera. Composición de la atmósfera. Gases traza. Concentración de CO₂ (Observatorio de Mauna Loa). Ciclo del Carbono. Problemas ambientales: contaminación urbana, agujero de ozono antártico, Material Particulado (PM), deposición ácida, ciclos de vida.

Balance global de energía radiante del sistema Tierra-Atmósfera. Efecto invernadero y gases de efecto invernadero. Tipos de nubes. Efecto radiante de las nubes. Rol climático de compuestos de S biogénicos en la generación de nubes. Ingreso no balanceado de energía radiante solar. Insolación global. Causa del clima. Respuestas del sistema climático: movimiento del aire, movimiento de los océanos y transferencia de calor latente. Circulación de vientos. Corrientes oceánicas globales. Circulación termohalina. Definición de clima, cambio climático y calentamiento global.

Capas de la atmósfera: tropósfera, estratósfera, mesósfera, termósfera, ionósfera y exósfera. Variación de la presión con la altura. Ecuación de estado de gases ideales. Estructura dinámica de la atmósfera: Fuerza del gradiente de presión, fuerza de Coriolis y fuerza de fricción. Variación de la velocidad del viento con la altura.

Influencias topográficas: turbulencia térmica y turbulencia mecánica. Categorías de rasgos topográficos: terreno simple, terreno complejo (montañas y valles, brisas de ladera, viento Föhn), interfase tierra/agua (calentamiento o enfriamiento diferencial, brisa marina y brisa terrestre) y áreas urbanas (cañón urbano, isla de calor urbana superficial y atmosférica, urbanización, aumento de la escorrentía, medidas de mitigación de la isla de calor urbana)

- **Radiación Solar y Balance de Energía de la Tierra:**

Transferencia de calor por radiación. Parámetros de la radiación electromagnética: longitud de onda y frecuencia. Ecuación de Planck. Espectro electromagnético de radiación. Radiación de cuerpo negro. Radiación solar: características del sol, espectro de irradiancia solar. Radiación terrestre. Irradiancia monocromática. Ley de desplazamiento de Wien. Ley de Stefan-Boltzmann. Emisividad. Absorción de la radiación solar por los gases de la atmósfera. Mecánica cuántica. Momento dipolar eléctrico.

Radiación solar. Actividad solar: manchas solares, fáculas, erupciones solares. Ciclo solar. Irradiancia solar total (*TSI*). Propagación de la radiación solar. Ley de la inversa del cuadrado de la distancia. Cálculo aproximado de la *TSI*.

Balance de energía de la Tierra. Corrección de la *TSI* para una superficie esférica. Balance de energía para el sistema Tierra-Atmósfera completo. Cálculo de la Temperatura Efectiva del sistema Tierra-Atmósfera. Cuantificación del efecto invernadero. Reflectancia Global Promedio o Albedo. Factores del albedo: reflexión de la radiación solar en las superficies blancas, reflexión y dispersión de la radiación solar en las nubes, dispersión de la radiación solar (scattering) en el aire y en las partículas atmosféricas (aerosoles). Dispersión de Rayleigh y Dispersión de Mie.

Balance de energía de la atmósfera. Tipos de procesos: flujo de radiación solar, flujo de radiación IR y procesos no radiantes.

- **Calentamiento Global y Cambio Climático:**

Balance de energía del sistema Tierra-Atmósfera. Efecto invernadero natural. Gases de efecto invernadero. Bases de datos de temperatura superficiales y satelitales.

Definición de Calentamiento Global y Cambio Climático. Evidencias del calentamiento en el sistema climático. Efecto Invernadero antropogénico. Discusión de las posiciones respecto de las causas del Calentamiento Global: posición oficial del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las

Naciones Unidas (IPCC) y posición de los científicos escépticos. Informes del IPCC. Controversia del Palo de Hockey (3er informe del IPCC). Conclusiones del 5to informe del IPCC (AR5, 2013). Atribución del calentamiento global antropogénico (AR5, 2013). Posición de los grupos de científicos escépticos. Reporte especial del IPCC: el Océano y la Criósfera en un Clima Cambiante (Set 2019), Conclusiones del 6to informe del IPCC (AR6, 2021). Revisiones del AR6.

Forzamientos y respuestas del sistema climático: calentamiento global (aumento de temperatura) y eventos extremos (olas de calor, sequías, inundaciones, aumento del nivel del mar, acidificación de los océanos). Definición de retroalimentación climática. Tipos de retroalimentaciones: positivas y negativas. Caso del agua: ejemplo de retroalimentaciones positivas y negativas.

Variaciones Orbitales (Ciclos Milankovitch): excentricidad, oblicuidad y precesión.

Modelos Climatológicos CMIP5, CMIP6 vs. observaciones. Situación actual respecto del calentamiento global. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de Paris 2015 (COP 21). Propuesta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Propuesta de transición energética (energías renovables solar y eólica).

El CO₂ y el Calentamiento Global: Alarmismo Climático vs. Escepticismo Climático. Reverdecimiento de la Superficie de la Tierra. Teoría sobre efecto del Sol sobre el clima. Efecto de la actividad solar y los rayos cósmicos en la formación de nubes.

- **Meteorología de la Contaminación del Aire:**

Conceptos básicos. Gradientes Verticales de Temperatura. Gradiente Vertical Ambiental (GVA). Radiosondeo. Dinámica vertical de la atmósfera (parcelas de aire). Ecuación de estado de gases ideales y primer principio de la termodinámica. Gradiente Adiabático Seco (GAS). Gradiente Adiabático Húmedo (GAH). Gradiente Vertical Saturado (GVS). Humedad relativa. Sistema aire-agua condensable. Núcleos de condensación. Formación de nubes. Calor latente de condensación.

Estabilidad atmosférica: atmósfera inestable, neutra y estable. Ciclo diario de variación del GVA cerca de la superficie. Inversiones de Temperatura: inversión nocturna por radiación e inversión por subsidencia.

Aspectos básicos de una chimenea. Estabilidad y comportamiento de la pluma: pluma ondulante, cónica, en abanico, de flotación y atrapada.

- **Modelamiento de la Dispersión Atmosférica:**

Conceptos básicos de dispersión. Turbulencia mecánica (por esfuerzo de corte) y turbulencia térmica (debida a la flotabilidad). Definición de fuente y tipos de fuentes: naturales y antropogénicas (estacionarias y móviles). Clasificación de fuentes de acuerdo a la distribución espacial: puntual, área, línea y volumen. Otras fuentes: difusas y fugitivas. Duración de la emisión: instantánea (puff), continua (pluma) y variable. Escalas espaciales y temporales de los procesos atmosféricos. Tiempo de vida promedio. Escalas: microescala, escala local (urbana), mesoescala, sinóptica y global.

Estabilidad atmosférica. Clases de estabilidad de Pasquill. Velocidad del viento. Parámetro de Rugosidad superficial. Rosa de los vientos. Ecuación empírica para el cálculo de la velocidad del viento en función de la altura y tipo de terreno (rural y urbano). Caracterización del terreno de acuerdo al uso de la tierra (terreno rural y terreno urbano) y topografía (simple, intermedio y complejo). Altura de la emisión. Comportamiento de las emisiones: flotación neutra, positiva y negativa (gas denso). Modelos de dispersión. Tipos de modelos de dispersión: gaussianos, numéricos, estadísticos y físicos.

Distribuciones estadísticas. Distribución gaussiana o normal (parámetros promedio y desviación estándar). Modelo de dispersión gaussiana de una chimenea. Ecuación Generalizada de Dispersión Gaussiana de una Pluma Continua de una Fuente Puntual. Ecuaciones Gaussianas de Dispersión: simplificaciones para casos específicos. Perfiles de concentración en función de la distancia viento abajo para diferentes estabildades y alturas de la emisión.

Coefficientes de dispersión verticales de Pasquill σ_z rural. Coeficientes de dispersión horizontales de Pasquill σ_y rural. Ecuaciones de coeficientes de dispersión para plumas, terreno rural. Ecuaciones de coeficientes de dispersión para plumas, terreno urbano. Ecuaciones de Pasquill para coeficientes de dispersión de plumas. Elevación de la pluma. Variables de la elevación de la pluma: Parámetro de flotación y parámetro de estabilidad. Diagrama lógico para calcular la elevación de la pluma: ecuaciones de Briggs. Temperatura potencial.

**ESPECIALIZACION Y MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL BAHIA BLANCA**

Modelo SCREEN 3: Datos de entrada: fuentes puntuales, antorchas, fuentes de área y volumen. Resolución de problemas y comparación de resultados. Modelo AERMOD (AMA/EPA Regulatory Model). Introducción. Preprocesador Meteorológico (AERMET). Preprocesador de Terreno (AERMAP).

Docente

Ing. Hugo R. Adúriz

e-mail: rodolfoaduriz@gmail.com

Horario de Clases

- Martes y viernes de 18.30 a 21 (modalidad virtual).
- Inicio: a definir.
- Fechas (10 clases): a definir.
- Duración: 30 h.

Métodología pedagógica

- El dictado del curso se efectuará en forma virtual mediante el uso de la plataforma de videoconferencias Zoom Premium provisto por la UTN. Antes de las clases se enviará un correo electrónico con el enlace de Zoom para ingresar al aula virtual.
- Las clases incluirán presentaciones en Powerpoint. Todo el material del curso estará disponible en el Aula Virtual del curso (<https://aulavirtual.frbb.utn.edu.ar/>).
- Además de las clases teóricas, se incluirán guías de problemas de aplicación de algunos temas específicos. Se propone que los alumnos intenten avanzar en forma individual en el planteo de los mismos. En caso de ser necesario, se efectuarán algunas clases de consulta adicionales sobre los problemas.
- Para aprobar el curso se debe rendir un examen final de tres (3) horas de duración con preguntas teóricas y resolución de un problema. Dicho examen se tomará en fecha a definir.

Bibliografía

- Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (2016). Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. J. Wiley & Sons, 3rd Edition, ISBN 9781119221166 (pdf).
- Cooper, C. D. and Alley, F. C. (2011). Air Pollution Control. A Design Approach. Waveland Press, Inc., 4th Edition, Illinois. ISBN 9781577666783 (pdf).
- Beychok, M. R. (1995). Fundamentals of Stack Gas Dispersion, 3rd Edition, ISBN 0-9644588-0-2 (1995).