

TEMA 1.2 AUMENTO DE LA POBLACIÓN Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

CI41B Ingeniería Ambiental

Profesores D. Rodríguez, R. Muñoz y C. Espinoza
Semestre Primavera 2005

1. INTRODUCCION

Hasta 250 años atrás la humanidad contaba con un número limitado de personas y muy baja tecnología. Cualquier tipo de impacto ambiental causado por las personas era local y podía ser absorbido por el medio ambiente en forma natural (resiliencia ambiental). Sin embargo, en los últimos dos siglos se han producido cuatro cambios que han tenido un impacto muy importante sobre el medio ambiente:

- explosivo crecimiento de la población,
- crecimiento industrial con un aumento de la cantidad de desechos producidos,
- urbanización, y,
- crecimiento de la producción y demanda de energía.

Estos cambios han tenido en general un impacto negativo, en algunos casos desastroso, sobre el medio ambiente. El éxito económico y el alto nivel de vida en los países desarrollados ha sido posible por el consumo, a veces indiscriminado, de recursos naturales como agua, madera, depósitos minerales, suministro de energía y, finalmente, del suelo mismo.

2. AUMENTO DE LA POBLACIÓN

El aumento de la población es generalmente caracterizado como exponencial, es decir, su tamaño se incrementa (o decrece) en un valor fijo sobre un periodo de tiempo determinado. Matemáticamente podemos expresar esta relación como:

$$P = P_0 \cdot e^{rt} \quad (1)$$

donde:

P	=	Tamaño futuro de la población,
P_0	=	Tamaño actual de la población,
t	=	número de años para la extrapolación, y,
r	=	tasa de crecimiento por cada uno de los t años.

La tasa de crecimiento r se expresa generalmente como un porcentaje de incremento por año, o como el aumento en el número de personas por 1000 habitantes por año. Para una localidad cualquiera la tasa de crecimiento se determina a partir de cuatro componentes principales: nacimientos, mortalidad, inmigración y emigración. Usando estos elementos podemos definir la tasa de crecimiento r como:

$$r = (b - d) + (i - e) \quad (2)$$

donde b , d , i , y e son las tasas de nacimiento (births), muertes (deaths), inmigración y emigración, respectivamente. El exceso de muertes sobre nacimientos se denomina *incremento natural de la población*, mientras que la diferencia entre inmigración y emigración es denominada *migración neta*. Otro concepto importante es aquel de *tiempo de duplicación*, en el cual la población aumenta al doble. Una aproximación usada para calcular el tiempo de duplicación es:

$$T_{dup} = \frac{70}{r} \quad (3)$$

donde T_{sup} es el tiempo de duplicación y r es la tasa de crecimiento como un porcentaje por año. La Figura 1 muestra, para el caso de Canadá, la variación temporal de algunas de las tasas de crecimiento definidas con anterioridad. La Figura 2 muestra la variación de la población mundial desde el año 1 de la era cristiana hasta el 2000. En este caso podemos apreciar la denominada "explosión urbana" ocurrida en el siglo 17. Durante gran parte del primer milenio la población se mantuvo constante alrededor de 300 millones de habitantes. Alrededor de 1650 (generalmente asociada al comienzo de la era moderna) la población había aumentado a alrededor de 500 millones. Después de esta fecha la población mundial experimentó un incremento explosivo que la situó en los 4.7 billones (miles de millones) para 1983.

Figura 1
Variación Temporal de Tasas de Crecimiento

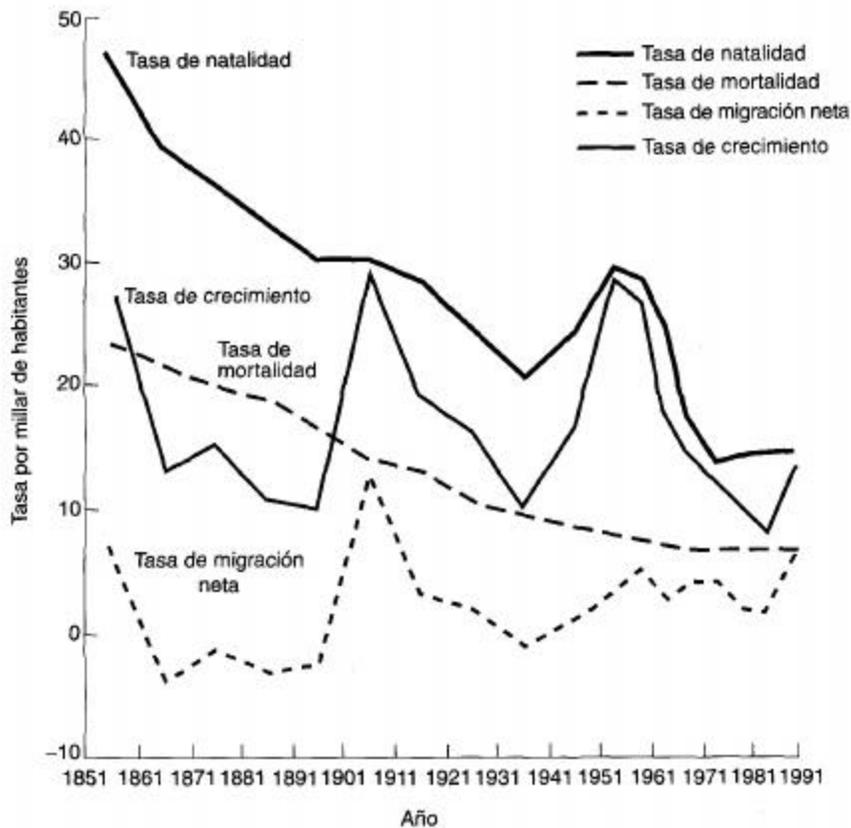
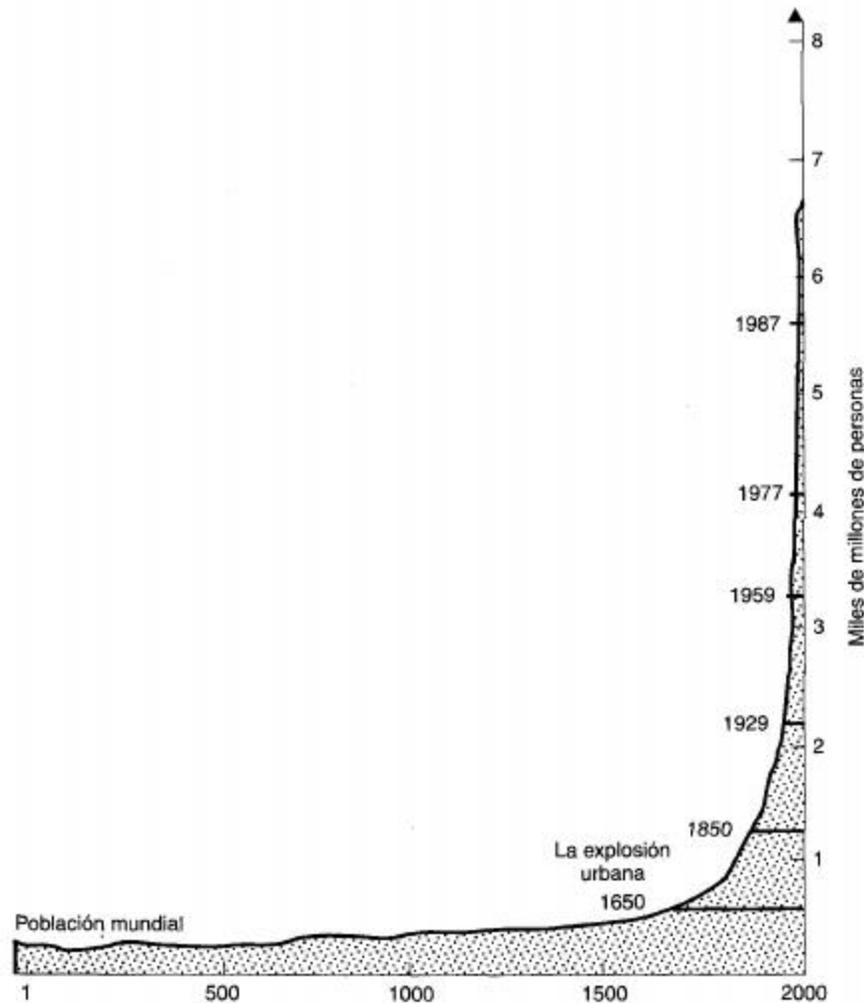


Figura 2
Variación Histórica de la Población Mundial



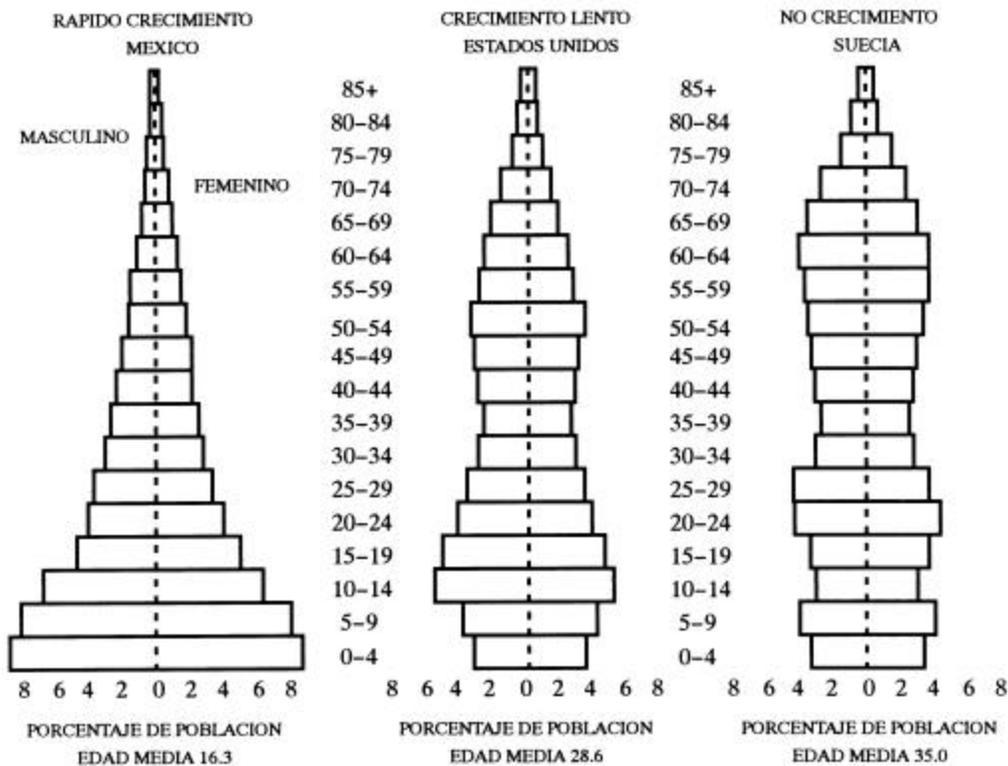
3. PARÁMETROS POBLACIONALES

Algunos parámetros poblacionales de interés se indican a continuación:

- **Estructura de edad** se refiere a la distribución de edad de la población.
- **Pirámide poblacional** es una representación gráfica de la distribución de edad y sexo, donde la población masculina se indica a la izquierda y la femenina a la derecha. Las cifras en esta pirámide representan el porcentaje de la población contenido en cada grupo de edad.
- **Fertilidad** es una medida del número de nacidos vivos en una población.
- **Tasa total de fertilidad** es el número de niños que la mujer promedio tiene durante su vida.
- **Crecimiento de reemplazo** ocurre cuando la tasa total de fertilidad es alrededor de 2.1.
- **Crecimiento nulo de una población** ocurre cuando la tasa de mortalidad es igual a la de nacimientos y la emigración neta es nula.

La Figura 3 muestra tres diferentes ejemplos de pirámides de población correspondientes a México, Estados Unidos y Suecia en el año 1974. Esta figura muestra claramente la diferencia entre una población de crecimiento rápido, lento y nulo. El caso mexicano (que debiera ser el más cercano al nuestro) muestra una población con una gran cantidad de gente joven (menor de 18 años). En contraste, el caso de Suecia muestra una población en que todos los grupos de edad tienen una representación similar. El caso norteamericano muestra una población con una cantidad importante de personas en una edad reproductiva (20 a 40 años) pero sin embargo se observa además una disminución marcada en el número de infantes. Esta situación coloca a la sociedad norteamericana en un estado de crecimiento lento pero aproximándose al caso de Suecia.

Figura 3
Pirámides de Población para Tres Países



Como se indica en su definición *crecimiento de reemplazo* se produce a una tasa de fertilidad aproximadamente igual a 2.1. En este caso podemos pensar que si una pareja tiene sólo dos hijos se están reemplazando a si mismos y por lo tanto el número total de habitantes no crecería.

4. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN Y MÉTODOS DE CÁLCULO

Proyección o extrapolación de la población es usada por científicos e ingenieros para el diseño de proyectos y para el control futuro de impactos ambientales en los cuales el crecimiento poblacional puede tener un rol importante. En general los análisis de proyección de población se hacen a corto plazo (hasta 10 años) para aquellas obras que son fáciles de ampliar en el

futuro o a largo plazo (hasta 50 años) para aquellas obras de mayor envergadura que sería muy difícil o costoso duplicar o extender en un futuro cercano.

Ambos métodos de extensión de la población, corto y largo plazo, se apoyan fuertemente en el registro de datos anteriores. Asimismo, ellos también dependen del conocimiento de hechos futuros tales como el desarrollo comercial e industrial de la región. En general es importante el realizar proyecciones de población que incluyan la incerteza acerca de este conocimiento futuro lo que se traduce en un conjunto de alternativas.

4.1 Métodos Gráficos

Estos métodos se basan en elementos tan simples como una simple proyección gráfica en papel o tan complejos como una proyección usando el método de los mínimos cuadrados. Algunas veces se utiliza la curva de crecimiento de poblaciones vecinas similares para comparar la proyección con el comportamiento observado en las otras poblaciones. Estos métodos son muy simples de usar pero existe un alto grado de incertidumbre debido al criterio usado por la persona a cargo del análisis.

4.2 Métodos Matemáticos

En estos métodos se asume que el crecimiento poblacional sigue alguna ley matemática. El crecimiento puede ser aritmético o exponencial o puede seguir algún modelo más complejo.

Un modelo de crecimiento bastante común es el denominado curva S el cual trata de representar el comportamiento típico de una sociedad. En un primer momento la sociedad crece a una tasa creciente hasta que alcanza un punto de inflexión donde el crecimiento comienza a disminuir y eventualmente se estanca. Esta situación se puede relacionar perfectamente con lo observado en el caso de la distribución de edades en la población en la cual países como México experimental una tasa de crecimiento elevada mientras que una sociedad como la sueca se ha estancado.

4.2.1 Crecimiento Aritmético

$$P_t = P_0 \cdot (1 + r_A \cdot t)$$

r_A : tasa de crecimiento aritmético

4.2.2 Crecimiento Geométrico

$$P_t = P_0 \cdot (1 + r_G)^t$$

r_G : tasa de crecimiento geométrico

4.2.3 Crecimiento Logístico

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N \cdot R_A = r \cdot N \cdot \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

N: tamaño de la población
r: tasa de crecimiento
K: capacidad máxima del ambiente
R_A: resistencia ambiental

$$N(t) = \frac{K}{1 + \exp(-r \cdot (t - t^*))}$$

$$t^* = \frac{1}{r} \cdot \ln \left(\frac{K}{N_0} - 1 \right)$$

4.3 Método de Componentes

Este método es el más complejo de los tres presentados y proporciona un panorama muy detallado de la distribución futura de la población y de su número. En este método se toma en cuenta la tasa de nacimientos y mortalidad de la población, por grupos de edad, incluyendo además la posible emigración e inmigración que se pueda producir en el horizonte de análisis. Este método de análisis requiere una muy buena información inicial y además el uso de sofisticadas computadoras.

5. INDUSTRIALIZACIÓN

Para muchas personas el término *Industrialización* está directamente relacionado con el fenómeno histórico (Revolución Industrial) originado en Gran Bretaña en el siglo 18. Sin embargo, este fenómeno ha continuado en forma constante y su efecto se ha expandido en el ámbito mundial afectando en la actualidad a las naciones más pobres y menos desarrolladas de nuestro planeta. Debido a que este fenómeno conlleva un incremento en el nivel de vida de la población es ciertamente un objetivo que los distintos países están preocupados en alcanzar y promover. El alto nivel de vida en los países más desarrollados fue alcanzado al proveer un mayor salario por las labores técnicas más especializadas que se requiere para operar maquinaria. Al mismo tiempo la Industrialización en los países desarrollados fue, y es, acelerada debido a la intensa explotación de los recursos no renovables (trabajo y tierra, entre otros) en los países menos desarrollados. El indicador económico más utilizado para medir el estándar de vida de un país es el *producto nacional bruto*. **Producto nacional bruto** (PNB) es la suma de los gastos individuales y públicos en bienes y servicios en un país.

El período posterior a la Segunda Guerra Mundial mostró un crecimiento acelerado de la economía en muchos países desarrollados (Estados Unidos, Japón y Alemania, entre otros). Nuevos productos fueron producidos en masa - televisores, equipos de aire acondicionado, detergentes, plásticos, fibras sintéticas, fertilizantes sintéticos e insecticidas. Algunos de estos productos han reemplazado a algunos otros ya existentes en forma natural. Este es el caso de los detergentes que reemplazaron al tradicional jabón o los fertilizantes sintéticos que

reemplazaron al salitre o fertilizante orgánico. La experiencia nos ha mostrado que algunos de estos nuevos productos han sido bastante dañinos para el medio ambiente. Numerosos ejemplos de esto fueron descritos en 1972 por Barry Commoner, un famoso ecologista norteamericano, en su libro *The Closing Circle*:

- El uso de pesticidas, en particular DDT, para controlar insectos y aumentar la producción agrícola tuvo, y ha tenido, consecuencias funestas para la fauna salvaje e incluso para el ser humano. Esta situación ha llevado a la prohibición a nivel mundial del DDT.
- El uso indiscriminado de fertilizantes sintéticos, en particular nitrógeno, ha llevado a incrementar el nivel de nitratos en aguas superficiales y subterráneas. La ingesta de nitrato causa la enfermedad denominada “niños azules” que ataca preferentemente a niños pequeños. Otro efecto del uso de fertilizantes artificiales es la eutroficación de lagos.
- La contaminación atmosférica es una consecuencia directa de un incremento en el número de automóviles y del cambio del transporte de mercancías desde tren a camiones.
- La introducción de envases no retornables y latas que ha aumentado la cantidad de desechos sólidos generados por las personas. El uso de nuevos métodos de envase para la comida y bebida también ha significado un aumento de los desechos sólidos.
- Aumento del requerimiento de energía ha significado un incremento en la contaminación atmosférica debido a nuevas plantas térmicas introducidas en ciudades para satisfacer esta mayor demanda.

6. URBANIZACIÓN

Urbanización se entiende como un aumento del porcentaje de población urbana comparada con la población rural. Este proceso tiene sus orígenes hace 9000 o 7000 años en lo que se conoce como la revolución agrícola. En este proceso tribus nómadas se establecieron en comunidades fijas en donde comenzaron a domesticar animales y sembrar productos agrícolas. Uno de los primeros desastres ambientales ocurrió en las planicies del Medio-Este en las cuales bosques enteros fueron usados para proporcionar material de construcción y combustible para las primeras ciudades.

La moderna urbanización se aceleró con la introducción de la industrialización, la que requirió la presencia de más habitantes en las ciudades para hacerse cargo de los nuevos puestos de trabajo más especializados. Una de las principales características de la urbanización moderna ha sido la creación de megaciudades con una población superior a 5 millones de habitantes, mientras que ciudades de menor tamaño tienden a declinar y desaparecer lentamente. Esta situación lleva consigo un problema debido a la creciente necesidad de agua potable para las ciudades, la recolección y tratamiento de aguas servidas, la recolección y disposición de desechos sólidos, el transporte y la creación de nuevas viviendas.

7. IMPACTO AMBIENTAL

Es importante reconocer los impactos que la *Industrialización* y *Urbanización* tienen sobre el medio ambiente. En este sentido las matrices de impacto ambiental proporcionan una forma muy conveniente para clasificar los distintos efectos que estos dos procesos tienen sobre el medio ambiente. Matrices de impacto ambiental para los casos de *Industrialización* y *Urbanización* se presentan en las Tablas 1 y 2, respectivamente. La primera línea horizontal describe diferentes aspectos relacionados con la *Industrialización* y *Urbanización*, mientras que la primera columna contiene cuatro componentes del medio ambiente: atmósfera, hidrósfera, litósfera e impactos humanos. Los elementos de la matriz de impacto identifican las

interacciones entre cada componente de la *Industrialización y Urbanización*, y las componentes medioambientales.

Industrialización y Urbanización son dos fenómenos que se producen a una escala mundial. Tanto en países más desarrollados como menos desarrollados la tendencia es a vivir en ciudades cada vez más grandes. El mayor problema de estas ciudades es como hacer frente a la creciente demanda por servicios y el tratamiento de los residuos generados como consecuencia de las diversas actividades que se realizan en ellas.

8. IMPACTO AMBIENTAL DE FUENTES DE ENERGÍA

Una de las consecuencias de los procesos de *Industrialización y Urbanización* es un aumento en el consumo de energía por parte de la población. En esa perspectiva nos detendremos brevemente a analizar el impacto que diferentes fuentes energéticas tienen sobre el medio ambiente. Esta información es presentada en las Tablas 3 a 7 para petróleo, gas natural, carbón, energía hidroeléctrica y nuclear, respectivamente.

Tabla 1
Impactos Ambientales debidos a Urbanización

Componente Ambiental	Componente Urbana			
	Población	Uso de la tierra	Transporte	Servicios
Atmósfera	Aumento del dióxido de carbono y disminución de la producción de oxígeno debido al aumento de áreas urbanas.	Aumento de las temperaturas promedio debido a las áreas urbanizadas.	Contaminación atmosférica causada por la quema de combustibles. Creación de smog fotoquímico.	Materiales particulados y gases provenientes de incineradores, rellenos sanitarios, planta de tratamiento de aguas servidas.
Hidrosfera	Mayor demanda de recursos hídricos (subterráneos y superficiales).	Uso más intenso de los recursos hídricos causa un incremento en la cantidad de contaminantes.	Lluvia y aguas superficiales contaminadas con plomo. Patrones de drenaje modificados por la nueva infraestructura.	Infiltración de contaminantes desde rellenos sanitarios. Descargas directas a ríos y lagos desde alcantarillados. Contaminación desde embarcaciones.
Litósfera	Aumento de la transferencia de áreas agrícolas y abandonadas hacia usos urbanos.	Cambios debido a la construcción y a modificación de paisajes.	Modificación del paisaje.	Rellenos sanitarios para desechos domésticos afectan el paisaje.
Impactos Humanos	Impactos psicológicos debido a la alta densidad de viviendas.	Impactos psicológicos	Aumento de los niveles de ruido. Efectos en la salud debido al ruido y la contaminación atmosférica.	

Tabla 2
Impactos Ambientales de Grupos de Industrias Específicos

Consecuencias Ambientales	Componente Industrial					
	Petro-químicas	Metales	Alimentación	Minería	Agricultura	Pulpa y Papel
Atmósfera	Emisiones a la atmósfera desde refinерías y plantas de proceso.	Emisión de material particulado y gases.	Gases y olores producidos por el procesamiento de alimentos.	Material particulado desde la superficie de la mina y por transporte. Gases tóxicos producidos en los procesos mineros.	Escape de polen y polvo debido a procesos agrícolas.	Descarga de gases contaminantes durante el proceso.
Hidrosfera	Emisiones a cuerpos de agua.	Descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua. Descarga de metales pesados.	Alto contenido orgánico en desechos líquidos.	Escorrentía desde sitios mineros. Residuos líquidos descargados directamente en los cuerpos de agua.	Incorporación de pesticidas y fertilizantes a la escorrentía superficial y percolación al agua subterránea. Aumento de la salinidad del agua debido a pobres prácticas agrícolas.	Contaminación por desechos de las papeleras (mercurio y materia orgánica). Pérdida de hábitat para la vida salvaje. Arrastre de material desde laderas sin vegetación.
Litósfera	Disposición de residuos sólidos y lodos a rellenos sanitarios. Derrames durante el transporte.	Disposición de productos de desecho.		Efectos de minas a tajo abierto en la agricultura, recreación y actividades forestales.	Erosión de la superficie de la tierra. Disminución de la materia orgánica y microorganismos.	Erosión de la tierra desprotegida. Destrucción del ecosistema en áreas desprovistas de vegetación.
Impactos Humanos	Algunos productos y desechos son tóxicos. Trastorno de estilos de vida debido a emisiones tóxicas.	Efectos en la salud debido a la descarga de tóxicos al aire y al agua.		Peligros en la salud de mineros (mercurio, asbestos, carbón).	Peligros en la salud debido a aguas contaminadas, pesticidas y fertilizantes.	Problemas de salud debido a productos del mar contaminados con mercurio.

Tabla 3
Impactos Ambientales debidos al Petróleo

Componente Ambiental	Tipo de Actividad			
	Exploración	Extracción, Producción y Proceso	Transmisión	Uso y Disposición
Atmósfera	Emisiones de H ₂ S e hidrocarburos como resultado de una perforación.	Emisiones de SO ₂ , H ₂ S, CO ₂ , NO _x e hidrocarburos desde refinerías.		Emisiones de SO ₂ , CO ₂ e hidrocarburos.
Hidrosfera	Derrames de petróleo debido a perforaciones realizadas en alta mar.	Disposición de productos químicos usados durante procesos y derrame de sales. Efluentes desde refinerías.	Accidentes de barcos que transportan petróleo crudo.	Contaminación de aguas subterráneas debido a derrames desde tanques de almacenaje.
Litósfera	Derrames sobre suelo.	Derrame de lodos a ser dispuestos.	Construcción de cañerías de conducción del crudo. Daño al suelo por derrame de petróleo.	Disposición de petróleo usado.
Impactos Humanos	Alteración de estilos de vida.	Interferencias con actividades pesqueras.	Interferencias con pesqueras o uso terrestre. Alteración de estilos de vida durante construcción.	Producción de hidrocarburos y aromáticos polinucleares durante combustión.

Tabla 4
Impactos Ambientales debidos al Gas Natural

Componente Ambiental	Tipo de Actividad			
	Exploración	Extracción, Producción y Proceso	Transmisión	Uso y Disposición
Atmósfera	Emisiones de gas y H ₂ S como resultado de un accidente.	Emisiones de SO ₂ , H ₂ S desde plantas refinadoras.		Emisiones de CO ₂ y NO _x .
Hidrosfera	Explosiones.	Explosiones y perforaciones. Disposición de productos químicos.		
Litósfera			Construcción de cañería de transmisión. Daño a suelo natural.	
Impactos Humanos		Accidentes que involucren gas natural líquido.	Accidentes que involucren gas natural líquido. Alteración de estilos de vida durante construcción.	

Tabla 5
Impactos Ambientales debidos al Carbón

Componente Ambiental	Tipo de Actividad			
	Exploración	Extracción, Producción y Proceso	Transmisión	Uso y Disposición
Atmósfera		Emisiones de SO ₂ e hidrocarburos polinucleares aromáticos desde plantas productoras de gas o líquido. Dispersión de polvo de carbón.		Emisiones de SO ₂ , NO _x , CO ₂ y material particulado.
Hidrosfera		Percolación de ácidos y metales. Compuestos orgánicos formados durante producción de gas.		Efectos termales.
Litósfera		Alteración del terreno por minas a tajo abierto y subsidencia. Pilas de escoria.		Disposición de cenizas volátiles.
Impactos Humanos		Enfermedades pulmonares relacionadas con extracción desde las minas.		Exposición a emisiones desde hornos de combustión de carbón.

Tabla 6
Impactos Ambientales debidos a la Energía Hidroeléctrica

Componente Ambiental	Tipo de Actividad			
	Exploración	Extracción, Producción y Proceso	Transmisión	Uso y Disposición
Atmósfera				
Hidrosfera		Cambios en las características del flujo de aguas superficiales y subterráneas.		
Litósfera		Inundación de tierra causa pérdida del hábitat para animales.	Líneas de transmisión.	
Impactos Humanos		Alteración del estilo de vida para las personas por pérdida de tierra.		

Tabla 7
Impactos Ambientales debidos a la Energía Nuclear

Componente Ambiental	Tipo de Actividad			
	Exploración	Extracción, Producción y Proceso	Transmisión	Uso y Disposición
Atmósfera		Accidentes. Emisión de Radón desde minas de uranio.		
Hidrosfera		Accidentes. Infiltración de percolado desde minas de uranio.		Efectos termales.
Litósfera		Accidentes. Contaminación por desechos desde minas.	Líneas de transmisión.	Disposición de combustible usado y desechos.
Impactos Humanos		Accidentes y peligros de explosión en plantas.	Accidentes durante transporte de combustible nuclear.	Exposición a basuras. Terrorismo.

EJEMPLO 1 Proyección de Población

Estimar la población de un pueblo XXX en el año 2000 usando la siguiente información que incluye desde el año 1900 hasta 1983.

Año	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1983
Población	10.240	12.150	18.430	26.210	22.480	32.410	45.050	51.200	54.030	54.800

EJEMPLO 2 Localidad El Sauce

La pequeña localidad de El Sauce desea contar con los servicios básicos de una ciudad (agua potable, alcantarillado y recolección de basura), por lo que el alcalde, temiendo su continuidad en el cargo, encomienda a Ud., a modo de estudio conceptual, el dimensionamiento de la capacidad de cada una de estas obras.

Se considera que las obras de estas características presentan una vida útil de 30 años, por lo que se hace necesaria la estimación de la población servida hasta el año 2030. Ud. Cuenta además con la información poblacional arrojada por los censos efectuados en la comuna.

Año	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1983
Población	2610	2248	3241	4505	5120	5403	5480

Dadas las mejoras en los servicios, el alcalde desea promover los atractivos turísticos de la zona, instalando un gran hotel con capacidad para 300 personas, el cual debe contar con las instalaciones anteriores. Dado el potencial de la zona, se planea que cada 10 años la capacidad del hotel es incrementada en un 25% respecto a la capacidad existente.

Para los sistemas de agua potable, se define la Demanda Media Diaria y la Dotación de agua potable como:

$$\text{Demanda Media Diaria} = \frac{(\text{Agua Usada en 1 año})}{365 \text{ días}}$$

$$\text{Dotación} = \frac{(\text{Demanda Media Diaria})}{(\text{Población})}$$

Se considera que la dotación promedio de una población típica de Chile asciende a aproximadamente a 200 l/hab/día. Dadas las características del hotel, se estima que la dotación promedio de los turistas es de 300 l/día/turista.

El sistema de alcantarillado se proyecta a partir del agua recolectada del sistema de agua potable menos las pérdidas de éste, las que ascienden a un 15% (riego, lavado de autos, infiltraciones, etc).

En el caso del sistema de recolección de basura, se estima que en promedio los habitantes de El Sauce producen 0.5 kg/hab/día; en cambio debido a los hábitos ciudadanos de los turistas del hotel, se estima que estos producen 1.0 kg/hab/día.

Se pide:

- a) Estimar la población de El Sauce el año 2030, sin considerar la construcción del hotel.
- b) Estimar la población equivalente que será servida si el hotel llega a construirse, en los años 2000, 2010, 2020 y 2030.
- c) Estimar las capacidades con las que deben construirse los sistemas de agua potable, alcantarillado (en l/día) y el de recolección basura (Ton/día).