

FASE 3

La evaluación de esta fase se llevará a cabo en una cita formal del grupo con su mentor, en la cual tendrán 10 minutos para realizar una presentación técnica que incluya el desarrollo de este enunciado. Su grupo deberá subir la presentación y todos los archivos de soporte a SicuaPlus antes del día **DOMINGO 24 de NOVIEMBRE a las 11:59 pm**. La fecha límite para realizar la presentación es el día **MIÉRCOLES 27 de NOVIEMBRE a las 5:00 pm**.

La presentación debe contener: objetivos, aplicación de modelos para representar la situación descrita, respuesta a las preguntas de interés para el negocio, análisis de sensibilidad y conclusiones.

Programación de operaciones de mantenimiento de los sistemas de alcantarillado en Bogotá

Como parte del compromiso social y ambiental de la EAAB por mejorar continuamente los servicios prestados en alcantarillado sanitario y pluvial, la entidad ha decidido enfocar sus esfuerzos en intervenir la infraestructura física de la red de tuberías del sistema de alcantarillado. De acuerdo con los resultados obtenidos en las consultorías anteriores, la entidad reconoce el mantenimiento preventivo como una herramienta de intervención que permite reducir el impacto de las fallas en la red. La EAAB admite que la falta de mantenimiento preventivo a la red de tuberías facilita la propagación de daños estructurales al sistema de alcantarillado, causando daños irreparables y altos costos. Por esta razón, la entidad ha decidido tomar medidas orientadas a la programación y ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos de la infraestructura física de la red de tuberías que permitan minimizar los costos de mantenimiento.

Mantenimiento preventivo

La EAAB tiene contemplado ejecutar un plan de mantenimiento preventivo que consta de la limpieza de las trampas de grasas, los tanques interceptores, los colectores y los dispositivos simplificados de inspección. Para esto, teniendo en cuenta las restricciones de tiempo y de presupuesto, la entidad ha decidió llevar a cabo este plan de mantenimiento en dos fases. La primera consiste en enfocarse únicamente en la zona 4 por ser aquella con mayor número de localidades atendidas. La segunda consiste en evaluar los resultados de la primera fase, hacer los cambios pertinentes y luego implementarla en las demás zonas de la ciudad. Para este caso de estudio únicamente se analizará la primera fase del plan para un horizonte de 10 años.

Para llevar a cabo este plan y teniendo en cuenta que la zona 4 cuenta con tres tipos de tuberías que dependen del material con el cual fueron construidas y de la fecha de instalación, la entidad ha decidido dividir esta zona en tres grupos de intervención. En la Tabla 1 se presentan las características de cada grupo.

Tabla 1 Descripción de la red de tuberías por grupo de intervención

Grupo	Fecha de instalación	Material
1	01/01/2014	Hormigón

2	01/01/2000	Cemento de amianto
3	01/01/1990	Cerámica

Al inicio de cada año, la entidad deberá decidir si realiza o no un mantenimiento preventivo y a qué grupo se realizará. Teniendo en cuenta que, por restricciones de presupuesto, cada año se podrá realizar máximo un mantenimiento en toda la zona 4. La entidad ha estimado que el costo en el que se incurre por realizar un mantenimiento preventivo es de \$987 millones de pesos.

La entidad sabe que el estado de la red de tuberías se ve afectado año tras año debido a la acumulación de sedimentos y residuos sólidos y orgánicos en las tuberías de las zonas residenciales. Esta acumulación de sedimentos genera que la red de tuberías sea más propensa a presentar fallas en el sistema. Tenga en cuenta que, el estado de deterioro de un grupo de intervención es independiente del estado de deterioro de los otros grupos. Dependiendo del porcentaje de sedimentos acumulados en las tuberías, la red de un grupo de intervención puede presentar uno de cinco niveles de deterioro, siendo 1 el de menor nivel de deterioro y 5 el de mayor nivel. En la Tabla 2 se presenta el porcentaje de acumulación de sedimentos para cada estado de deterioro.

Tabla 2 Estado de la red de tuberías

Estado de deterioro	Porcentaje de acumulación
Deterioro nivel 1	[0 – 30)
Deterioro nivel 2	[30 – 60)
Deterioro nivel 3	[60 – 75)
Deterioro nivel 4	[75 – 90)
Deterioro nivel 5	[90 – 100]

Mantenimiento correctivo

De acuerdo con la entidad, solo es posible realizar un mantenimiento preventivo si la red de tuberías de un grupo de intervención está en uno de los primeros cuatro estados de deterioro. Una vez la red de tuberías de un grupo de intervención presenta el nivel de deterioro 5 no podrá ser intervenida con un mantenimiento preventivo y, por ende, obligatoriamente se deberá ejecutar un mantenimiento correctivo para dicho grupo. Este mantenimiento consiste en intervenir los colectores mediante la rehabilitación y reconstrucción de los buzones encargados de la retención de sólidos. Tenga en cuenta que después de realizar un mantenimiento correctivo la red pasará a estar en nivel 1 de deterioro al inicio del siguiente año. El costo en el que incurre la entidad por hacer un mantenimiento correctivo es de \$95,000 millones de pesos.

Adicionalmente, la EAAB estima que para cada grupo de intervención el estado de deterioro de la red varía año tras año debido al efecto que tiene la antigüedad y la decisión de la entidad acerca de realizar o no mantenimientos preventivos.

La entidad ha encontrado que el porcentaje de acumulación de sedimentos en la red de tuberías del grupo de intervención i en el año n ($P_{i,n}$), se comporta de acuerdo con una distribución triangular $P_{i,n} \sim \text{triang}(0,100, \text{moda}_{i,n})$ con parámetros mínimo, máximo y moda. Donde el mínimo y el máximo corresponde al valor más bajo y más alto que puede tomar el porcentaje de acumulación,

respectivamente. Por otro lado, la moda de la distribución depende del número de años que lleva de instalada la red y de la decisión que toma la entidad ese año. De esta manera, la moda de la distribución se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$moda_{i,n} = \min\{100, D_{i,n} \cdot (R_{i,n-1} \cdot 0.20) + (1 - D_{i,n}) \cdot (R_{i,n-1} \cdot 1.49) + \sqrt{3 \cdot t_{i,n}}\}$$

Donde $R_{i,n-1}$ corresponde al valor medio del rango en el que quedo el porcentaje de acumulación de sedimentos en la red de tuberías del grupo de intervención i en el año anterior, $D_{i,n}$ toma valor de 1 cuando la entidad para el grupo de intervención i decide realizar mantenimiento preventivo y 0 de lo contrario, y $t_{i,n}$ corresponde al número de años que lleva instalada la red de tuberías del grupo de intervención i hasta el año n .

Con base en lo anterior, la entidad requiere que su grupo consultor le ayude a encontrar una política de decisión sobre la ejecución del plan de mantenimiento preventivo para los años 2020-2030. Este plan de mantenimiento se debe ejecutar con el objetivo de minimizar los costos y teniendo en cuenta que el estado de deterioro de la red de cada grupo de intervención para el año 2020 es de nivel 1.

Por otro lado, es de interés para la entidad analizar cómo cambiaría la política óptima y el valor esperado de dicha política cuando se varían los costos de mantenimiento preventivo y correctivo. Para esto, realice un análisis de sensibilidad sobre dichos parámetros.

Finalmente, la EAAB desea contar con una herramienta desarrollada en Shiny® que le permita ingresar los valores del estado inicial para cada grupo de intervención, y que a partir de esto calcule el valor esperado de la política óptima. Adicionalmente, la herramienta deberá mostrar de forma amigable la política óptima para el horizonte de tiempo considerado. Se le sugiere presentar la política óptima con ayuda de un gráfico como, por ejemplo, un mapa de calor¹.

Programas de prevención e intervención de salud pública en Colombia

Tratamiento de enfermedades: cáncer de cuello uterino

El cáncer de cuello uterino es el cuarto tipo de cáncer más frecuente entre las mujeres en el mundo. En Colombia, para el año 2017 se estimó que la tasa de incidencia de cáncer de cuello uterino es de 19.3 por cada 100,000 mujeres (Instituto Nacional de Cancerología, 2018), constituyéndose en la primera causa de muerte entre la población femenina y la segunda causa de cáncer más frecuente después del cáncer de mama.

El cáncer de cuello uterino es el crecimiento anormal y desordenado de las células del cuello uterino como consecuencia de la infección crónica y persistente del virus del papiloma humano (VPH) y otros factores (Liga Contra el Cáncer, 2017). Por lo general, el cáncer cervical tarda años en manifestarse; los primeros cambios en las células ocurren antes de que se convierta en cáncer completamente desarrollado. Si estos cambios se detectan y se tratan a tiempo, el cáncer cervical puede evitarse. Sin diagnóstico ni tratamiento, dicho cáncer puede extenderse a otras partes del cuerpo y volverse mortal.

¹ Ejemplos mapas de calor en R: <https://www.r-graph-gallery.com/79-levelplot-with-ggplot2.html>

Dada la gravedad de esta enfermedad, el MinSalud está interesado en contratar nuevamente sus servicios de consultoría para estudiar la evolución del cáncer de cuello uterino en la población de mujeres colombianas de por lo menos 30 años de edad, siendo esta la proporción de la población más propensa a enfermarse.

A diferencia de otros cánceres, éste cuenta con un agente causal en la mayoría de los casos: el **VPH**. Algunas cepas de VPH son llamadas de “alto riesgo” debido a que son las más agresivas y las causantes de aproximadamente el 90% de los casos de cáncer de cuello uterino (American Cancer Society, 2017). La infección por VPH es muy común en la población y en la mayoría de los casos el sistema inmunológico es capaz de eliminarla por sí solo. No obstante, a veces la infección no desaparece, por lo que una paciente infectada puede optar por utilizar medicamentos tópicos especializados que ayudan a eliminarla. Una infección crónica o de larga duración causada por VPH de alto riesgo (cepas 16 y 18 del virus) puede perdurar inclusive ante la presencia de medicamento, transformar las células normales en anormales y, posteriormente, causar cáncer.

Actualmente, para determinar el estadio de cánceres de los órganos reproductores femeninos, entre ellos el cáncer de cuello uterino, se utiliza el sistema de clasificación desarrollado por la Federación Internacional de Ginecología y Obstetricia (FIGO). La determinación del estadio de la enfermedad ayuda a definir la ubicación del cáncer, planificar el tratamiento adecuado y facilitar el pronóstico de una paciente (International Agency for Research on Cancer, 2002). **El sistema FIGO ha definido los siguientes estadios:**

Estadio I: el cáncer se encuentra solo en el útero o vientre, y no se diseminó a otras partes del cuerpo.

Estadio II: el cáncer se diseminó del útero al estroma del cuello uterino, pero no a otras partes del cuerpo.

Estadio III: el cáncer se diseminó más allá del útero, pero aún se encuentra solo en el área pélvica.

Estadio IV: el cáncer hizo metástasis hacia órganos distantes.

El tratamiento del cáncer de cuello uterino depende del estadio en el que se encuentre la enfermedad. La Tabla 3 muestra los tratamientos disponibles para cada una de las etapas de la enfermedad. Los principales tipos de tratamientos para el cáncer son **radioterapia y quimioterapia**, los cuales se describen a continuación:

Radioterapia: utiliza altas dosis de radiación para destruir células cancerosas y reducir tumores.

Quimioterapia: utiliza fármacos para destruir células cancerosas, los cuales pueden ser administrados de forma oral, como una inyección o directamente en un vaso sanguíneo (vía intravenosa).

Tabla 3. Tratamientos disponibles por etapa

Estado\Tratamiento	Medicamento	Radioterapia	Quimioterapia
Infección VPH	✓		
Cáncer en estadio I		✓	
Cáncer en estadio II		✓	✓
Cáncer en estadio III			✓

Cáncer en estadio IV			✓
----------------------	--	--	---

Sin embargo, independientemente de la etapa de la enfermedad, cada año la paciente puede optar por no realizarse ningún tratamiento y esperar al año siguiente para evaluar nuevamente el estado de evolución de la enfermedad. Tenga en cuenta que, cada año, si la paciente decide someterse a algún tratamiento, no optará por realizarse otro tratamiento durante dicho año.


El MinSalud desea enfocar el estudio en cuantificar cómo la evolución del cáncer de cuello uterino y los diferentes tratamientos utilizados para combatirlo afectan la expectativa de vida de la población femenina colombiana. De acuerdo con lo anterior, cada año la esperanza de vida de una mujer puede disminuir no sólo por su estado de salud, sino también por los tratamientos médicos a los que se someta para combatir su enfermedad.

La esperanza de vida una mujer en Colombia está pronosticada alrededor de 80 años (Fernández, 2017). Por esta razón, esta es la edad máxima en la cual se desea analizar la evolución del cáncer de cuello uterino. Así mismo, para cada edad de una paciente, bajo un estado de salud impecable, la expectativa de vida para ese año se cuantifica mediante un índice con valor máximo de 1 unidad. Como se mencionó anteriormente, dependiendo del estado de salud de la paciente y del tratamiento al que esta escoja someterse, el valor de dicho índice para cada año disminuirá de acuerdo con lo presentado en la Tabla 4.

Tabla 4. Disminución de la expectativa de vida

Estado	Decisión	Disminución
Sana	Esperar	0%
Infectada con VPH	Esperar	2%
Infectada con VPH	Medicamento	5%
Cáncer en estadio I	Esperar	35%
Cáncer en estadio I	Radioterapia	20%
Cáncer en estadio II	Esperar	33%
Cáncer en estadio II	Radioterapia	30%
Cáncer en estadio II	Quimioterapia	25%
Cáncer en estadio III	Esperar	50%
Cáncer en estadio III	Quimioterapia	35%
Cáncer en estadio IV	Esperar	80%
Cáncer en estadio IV	Quimioterapia	50%

Con base en lo anterior, se requiere que su grupo consultor defina un modelo de decisión en el tiempo que le permita al MinSalud establecer la política óptima de tratamiento del cáncer de cuello uterino para una paciente, teniendo en cuenta que su objetivo es maximizar la expectativa de vida de la población femenina en riesgo. En el archivo *Reporte anual.xlsx* se presenta la base de datos que registra la evolución del estado de salud de 1,500 mujeres a las cuales se les hizo seguimiento de la enfermedad anualmente, y que efectivamente enfermaron. Tenga en cuenta que, si una mujer bajo el caso de estudio supera los 80 años de edad, la paciente sobrepasa la esperanza de vida promedio y deja de cumplir con las características de interés, por lo cual ya no es considerada dentro del mismo.

De acuerdo con su modelo, el MinSalud desea conocer el valor promedio de la expectativa de vida para una mujer de 30 años que hoy está completamente sana y hace parte de la muestra de la población propensa a enfermarse. 

Adicionalmente, una vez obtenida la política óptima de tratamiento del cáncer de cuello uterino, su grupo consultor debe proveerle al MinSalud una simulación del estado de la enfermedad de manera anual para una mujer de 30 años que empieza completamente sana y hace parte de la muestra de la población propensa a enfermarse. Dicha simulación debe contemplar 10,000 réplicas que estimar el valor promedio de los costos en los que incurre una Entidad Promotora de Salud (EPS) por una paciente bajo el caso de estudio, considerando que hoy la paciente tiene 30 años y se encuentra completamente sana. Suponga que todas las mujeres del caso de estudio están amparadas por una EPS que puede cubrir los costos asociados a los tratamientos por presencia de cáncer cervical. La Tabla 5 contiene los costos asociados a cada tratamiento y la frecuencia anual de estos.

Tabla 5. Costos y frecuencia por tratamiento²

Tratamiento	Frecuencia (ciclos/año)	Costo (COP/ciclo)
Medicamento	3.25	200,000
Radioterapia	7.50	4,000,000
Quimioterapia	8.00	3,000,000

Finalmente, el MinSalud desea contar con una herramienta desarrollada en Shiny® que reporte el valor promedio de la expectativa de vida de una mujer colombiana que hace parte de la muestra de la población propensa a enfermarse. Para esto, la herramienta debe permitir que el usuario ingrese la edad y el estado de salud inicial de una paciente y a partir de esta información, presente de forma amigable la política óptima para el horizonte de tiempo considerado. Además, la herramienta debe reportar el valor esperado de los costos en los que incurre una EPS variando el número de sesiones anuales de ciclos de medicamento, radioterapia y quimioterapia.

²Fuentes: <https://reference.medscape.com/drug/aldara-zyclara-imiquimod-343508> ;
<https://listado.mercadolibre.com.co/salud-belleza/cuidado-piel/crema-imiquimod-verruga> ;
<https://www.aecc.es/es/todo-sobre-cancer/tratamientos/radioterapia/como-se-administra-radioterapia> ;
<https://www.colombia.com/actualidad/nacionales/sdi/120084/cuanto-debe-pagar-un-paciente-que-padece-cancer-en-colombia>

Referencias

American Cancer Society. (2017). *Cáncer de cuello uterino*. Obtenido de American Cancer Society: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-cuello-uterino>

Fernández, C. F. (14 de Septiembre de 2017). Obtenido de El Tiempo: <https://www.eltiempo.com/salud/esperanza-de-vida-en-los-hombres-y-mujeres-de-colombia-130840>

Instituto Nacional de Cancerología. (2018). *Boletín Epidemiológico*. Obtenido de Instituto Nacional de Cancerología - ESE Colombia: <https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/Boletin>

International Agency for Research on Cancer. (2002). *Clasificación de FIGO de los carcinomas cervicouterinos*. Obtenido de World Health Organization: <https://screening.iarc.fr/viaviliappendix1.php?lang=3>

Liga Contra el Cáncer. (2017). *Prevención y control: cáncer de cuello uterino*. Obtenido de Fundación Liga Contra el Cáncer: <https://www.ligacontraelcancer.com.co/prevencion-y-control-cancer-de-cuello-uterino/>