



Remodelación del Laboratorio de Microbiología Clínica del INER para el cumplimiento de estándares de bioseguridad

Pimentel-Aguilar A.B.,*
Rodríguez Vera R.N.,*
Méndez Salinas C.L.**

* Departamento de Ingeniería Biomédica, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, México, D.F.

** Ingeniería Biomédica, Universidad Iberoamericana A.C., México, D.F.

Correspondencia:
Ana Bertha Pimentel Aguilar,
ab_pime@yahoo.com.mx

Artículo recibido: 16/noviembre/2006
Artículo aceptado: 31/marzo/2007

RESUMEN

El riesgo de llegar a infectarse con especies de micobacteria de tuberculosis (MTB) es alto para aquellas personas que trabajan en laboratorios de microbiología. Sin embargo, es posible manipular esta bacteria con ajustes adecuados de ingeniería, procedimientos administrativos y de personal que trabaje con adecuadas prácticas que aseguren la contención del organismo y la protección del trabajador a esta exposición. En el Laboratorio de Microbiología Clínica (LMC) del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) se trabaja con tuberculosis multidrogorresistente (MDR-TB) y después de un estudio comparativo con las normas de bioseguridad se comprobó que presenta deficiencias de bioseguridad en sus instalaciones. El objetivo de este trabajo fue realizar una propuesta de adecuación para el LMC, determinando el nivel de bioseguridad adecuado y las características en instalaciones y equipamiento que se necesitan para crear un ambiente seguro para el personal ante agentes infecciosos, así como demostrar los beneficios cualitativos que se tendrían para el personal, con la ejecución de la remodelación. El análisis costo-utilidad realizado mostró que la inversión de este proyecto equivaldría a 13 años de atención para pacientes infectados por TB y 3 años para pacientes infectados con MDR-TB.

Palabras clave:

Bioseguridad, diseño de laboratorios, *Mycobacterium tuberculosis*.

ABSTRACT

The infection risk by *Mycobacterium tuberculosis* is high for the microbiology laboratory personal. It is possible to handle this bacterium using the proper engineering adjustments, administrative procedures and personal working with the appropriate safety measures to content the organism and to ensure the staff protection to that exposition. The Clinical Microbiology Laboratory of the National Institute of Respiratory Diseases deals with tuberculosis multi-drug resistant. An evaluation of the biosafety norms application in that clinical area showed facilities biosafety deficiencies. The purpose of this work was to propose a modification of the Laboratory, determining the actual biosafety level and, according to it, defining the facilities and equipment characteristics required to create a safe environment for the personal; the qualitative benefits of the modifications are also presented. A cost-utility analysis demonstrated that the project monetary inversion is

equivalent to thirteen years of treatment of common tuberculosis infected person, or three years in the case of multi-drug resistant tuberculosis infection.

Key Words:

Biosafety, Laboratory design, *Mycobacterium tuberculosis*.

I. INTRODUCCIÓN

El trabajo en los laboratorios microbiológicos implica para el personal riesgos de contraer enfermedades infecciosas, principalmente a causa de malas técnicas en el manejo del material infectado. En 1949 Sulkin y Pike, realizaron estudios sobre las infecciones dentro de los laboratorios y reportaron 222 casos de infecciones virales, 21 de las cuales fueron fatales y al menos una tercera parte provocadas por el manejo de tejido y animales contaminados. En 1976, encontraron que la exposición a aerosoles fue considerada la más probable fuente de infección para más del 80% de los casos reportados, en los que la persona infectada trabajó con el agente¹.

La Secretaría de Salud en México ha reportado que la tuberculosis causa 3 millones de muertes al año en el mundo². El riesgo de llegar a infectarse con esta bacteria es alto para aquellas personas que trabajan en laboratorios de microbiología; se ha reportado que el 44% de los casos de infecciones adquiridas en éstos fueron por TB³. En un estudio realizado en México de 1992 a 1998 se vigilaron a 1,617 trabajadores de la salud, encontrando una positividad basal de PPD (prueba para diagnosticar tuberculosis) cercana al 40% y que la mitad de los trabajadores se contagian en los primeros dos años de trabajo en un hospital⁴. Otros estudios han reportado que el riesgo de adquirir tuberculosis, es de 3 a 9 veces mayor entre los trabajadores de los laboratorios microbiológicos que entre la comunidad, siendo la exposición a aerosoles la principal forma de transmisión³. Debido a que la tuberculosis se transmite por vía respiratoria y la aparición de cepas multidrogasresistentes (MDR-TB), esta enfermedad se ha convertido en un problema de salud pública reemergente^{4,5}. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que las buenas prácticas y un buen diseño de las instalaciones en los laboratorios permiten la manipulación de los agentes infecciosos sin riesgos para el personal, la comunidad y el medio ambiente⁶, por lo que se ha generado un gran interés entre la comunidad científica en reglamentar la aplicación de prácticas, procedimientos, equipos de conten-

ción e instalaciones adecuadas, que puedan minimizar e incluso eliminar el riesgo potencial de adquirir infecciones asociadas con el trabajo en los laboratorios.

En la última década, instituciones como la Occupational Safety and Health Administration (OSHA), el Centers for Disease Control and Prevention (CDC), y la National Institutes of Health (NIH), han incrementado el número de guías y regulaciones para el manejo de patógenos y de instalaciones en laboratorios a partir de la determinación del nivel de bioseguridad BSL (*biosafety level*), y de la aplicación de los conceptos de contención¹. El nivel de bioseguridad representa las condiciones bajo las cuales los agentes pueden manipularse en forma segura; considera la severidad del daño a la salud que puede ocasionar, tomando en cuenta las vías de transmisión, virulencia, patogenicidad, resistencia a antibióticos del organismo y la disponibilidad de vacunas o tratamientos contra él. Las medidas de contención involucran un buen diseño de las instalaciones del laboratorio (construcción, hidráulica, gases, eléctrica, ventilación) acorde al tipo de agente infeccioso. El Nivel BSL 3 es adoptado en laboratorios donde se trabaja con agentes exóticos que ocasionan enfermedades serias o potencialmente letales como resultado de la inhalación, como en el caso de *M. tuberculosis*.

En el Laboratorio de Microbiología Clínica (LMC) del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) se trabaja con diferentes agentes infecciosos, siendo los de más alto riesgo para la salud la bacteria *M. tuberculosis* y el hongo *Coccidioides immitis*. Dicho laboratorio actualmente presenta deficiencias en cuanto su diseño e ingeniería de ventilación ya que no está adaptado de acuerdo a las medidas de seguridad requeridas para ser considerado un laboratorio de bioseguridad que permita un manejo adecuado de los agentes infecciosos manejados dentro de sus instalaciones⁷. El Departamento de Ingeniería Biomédica (DIB) del INER desarrolló este trabajo con el objetivo de proponer un proyecto de remodelación del LMC conforme a los estándares nacionales e internacionales de bioseguridad para la realización de procedimientos con

agentes infecciosos, y demostrar los beneficios cualitativos que se tendrían para el personal del laboratorio con la ejecución de la remodelación.

II. METODOLOGÍA

El proyecto consistió en tres etapas que se describen a continuación:

Primera etapa: Se realizó la determinación del nivel de bioseguridad considerando el tipo de patógeno y el procedimiento realizado con el agente infeccioso, de acuerdo a los criterios establecidos en las guías Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories¹ y a la Laboratory Biosafety Guidelines⁸. Para ello se diseñó un cuestionario que permitió recabar información sobre el tipo de patógenos, procedimientos de manejo de los agentes infecciosos y de las áreas específicas de trabajo del laboratorio. Se establecieron reuniones con el jefe del LMC, con el personal del DIB y con asesores especializados en bioseguridad. Se realizaron revisiones detalladas de los procedimientos de manejo de los agentes infecciosos manejados del LMC, considerando su recepción, manejo y eliminación.

Segunda etapa: De acuerdo al nivel de bioseguridad obtenido se realizó una verificación de las siguientes características, contrastándolas con lo establecido en las guías de bioseguridad^{1,8}:

- 1) *Construcción y distribución:* Se verificó el espacio y la ubicación de las áreas de trabajo, pasillos, dimensiones mínimas de cada área para el trabajo de al menos dos personas; características de las puertas principal y de emergencia (ubicación, materiales, dimensiones y trayectorias de cerrado); trayectorias mínimas dentro del laboratorio a la salida; accesos controlados con tarjetas de seguridad; ubicación de oficinas y cubículos de trabajo, pasajes y pasillos; vestidores, separación entre áreas sucias y limpias, ubicación de los gabinetes de seguridad; tipo de ventanas; ubicación de estaciones de seguridad y equipo de protección personal, tales como lavado de ojos, regaderas, extintores y botiquines; cuarto frío y estufa; cuarto de la autoclave y equipo.
- 2) *Superficies:* Se inspeccionaron paredes, techos y pisos, considerando: características de materiales, resistencia a ácidos y químicos, facilidad de lavado y desinfección; para puertas y ventanas se revisaron los tiempos de retardación al fuego, resistencia a impacto; así mismo, las característi-

cas de los materiales de cuarto frío y estufa, áreas de lavado de vidrio, de autoclave y equipo.

- 3) *Instalaciones hidráulicas, de gases y de drenaje:* Se revisó el tipo de suministro de agua (caliente, fría y/o purificada); el material de tuberías para cada tipo de cuarto (frío, caliente, cultivo y epifluorescencia); el material de tubería del drenaje; las características de las líneas de suministro de aire, vacío y vapor; así como la protección tipo HEPA de las líneas correspondientes.
- 4) *Instalación eléctrica:* Se establecieron los detalles de la tensión nominal; el tipo de conductores; el etiquetado de interruptores, paneles y controles; el tipo de tierra de la instalación; el suministro de corriente normal y de emergencia; así como la conexión de los sistemas de alarma.
- 5) *Sistema de comunicación y monitoreo:* Se verificó la existencia de sistemas de control del aire acondicionado para el monitoreo del flujo de aire; el monitoreo del sistema de presurización; la conexión de alarmas para el monitoreo de los filtros HEPA, humedad y temperatura; los servicios de teléfono y red para computadoras; así como el sistema de detección, alarma y supresión de fuego.
- 6) *Ventilación:* Se inspeccionaron las características de presurización negativa y positiva en las áreas correspondientes, los flujos de aire unidireccional, el tipo de recirculación de aire al interior y la ausencia de éste hacia el exterior; las características de ductos, suministro y velocidad de aire (inyección y extracción); características de humedad y temperatura, suministro de filtros tipo HEPA.
- 7) *Equipo y mobiliario:* Se revisaron características de las superficies del mobiliario; tipo de lavado de ojos; dimensiones de mesas de trabajo; tipo de gabinete de seguridad biológica y autoclave; regaderas de emergencia, gabinetes de almacenamiento y equipo de laboratorio.

Una vez realizada esta verificación se elaboró una tabla comparativa, la cual sirvió de guía para elaborar la propuesta de remodelación.

Tercera etapa: Se realizó un análisis costo-utilidad para evaluar económicamente los beneficios que tendría que proporcionar este proyecto, y por ende, mejorar las expectativas sobre la calidad de vida de los trabajadores. La evaluación se hizo únicamente para las enfermedades de tuberculosis (TB) y tuberculosis multidrogorresistente (MDR-TB), por ser las de más alto riesgo de contraerse en el LMC. El análisis costo-utilidad se realizó empleando el cociente del costo de la remodelación entre el nú-

mero de QALY's conservados al realizar dicha acción; la medida QALY (Quality Adjusted Life Year), definida como el producto de los años de esperanza de vida por el valor normalizado de la calidad de vida; se empleó con el fin de incorporar en un solo índice los aspectos cualitativos y cuantitativos de la salud (en términos médicos de morbilidad y mortalidad)⁹. El dato calidad de vida para pacientes con TB y MDR-TB, se generó como un valor normalizado, calificado por médicos especialistas del INER y estimado cualitativamente en relación al estado de salud del paciente (0 para una persona fallecida y 1 para una persona sana) basándose en la escala de Karnofsky¹⁰. La esperanza de vida de una persona sana al nacer fue obtenida del INEGI¹¹; para pacientes con TB y MDR-TB, las esperanzas de vida se consideraron igual a la edad promedio de las personas que fallecen debido a estas enfermedades en el INER. Los datos empleados en el análisis costo-utilidad se muestran en el Cuadro 1.

Adicionalmente fueron analizados, los costos del tratamiento para las personas que padecen esta enfermedad en comparación con el costo de la realización de este proyecto, con el fin de evaluar si el evitar la enfermedad a un solo trabajador justifica la inversión presupuestada.

III. RESULTADOS

El resultado de la aplicación del cuestionario mostró que el LMC debe tener los requerimientos de los niveles de bioseguridad 2 y 3, ya que se trabaja con diferentes tipos de agentes en tres áreas principales: en el área de bacteriología se trabaja con material, fluidos corporales, tejido y cultivos infectados de *Bordetella pertussis*, *Neisseria meningitidis*, *Salmonella*, *Salmonella typhi* y *Shigella* spp, que caen en la clasificación de un laboratorio BSL2. En el área de micología se trabaja con material y cultivos in-

Cuadro 1. Valores empleados en el análisis costo-utilidad para la esperanza de vida y calidad de vida para personas con tuberculosis y tuberculosis multidrogorresistente.

	Personas sanas	Personas con TB	Personas con MDR-TB
Esperanza de vida (años)	75	64	55
Calidad de vida	1	0.7	0.5
QALY's	75	45	28

fectados de diferentes hongos como *Blastomyces dermatitidis*, *Cryptococcus neoformans* y *Histoplasma capsulatum*, que requieren un manejo en BSL2, y con *Coccidioides immitis*, que debe ser manejado en BSL3. El área donde se realizan los procedimientos de mayor riesgo (actividades que producen aerosoles), es el área de micobacteriología, ya que se trabaja con material clínico y cultivos contaminados de *Mycobacterium bovis* y *Mycobacterium tuberculosis*, que requieren manejo en BSL3. Por lo que se decidió que el LMC debe cubrir los requerimientos de un laboratorio con nivel de bioseguridad 2 y sólo un área debe contar con las características de bioseguridad nivel 3.

Como resultado de la revisión del área se encontraron 402 conceptos que requieren modificación para cubrir con los requisitos de los niveles BSL2 y BSL3⁷. Los resultados mostraron altas deficiencias en los conceptos de construcción, superficies, instalación hidráulica y drenaje, instalación de gases, ventilación, instalación eléctrica, iluminación, sistemas de comunicación, monitoreo y alarmas, señalamientos, y en equipo y mobiliario. Algunas de las características actuales más relevantes y de las modificaciones que se proponen se presentan en el Cuadro 2.

Como resultado de la evaluación económica realizada en 2005, se obtuvo que el presupuesto total para la realización del proyecto sería de \$9'500,000. Los resultados del análisis costo-utilidad se muestran en el Cuadro 2.

Se puede observar del Cuadro 3, que si un trabajador fuera infectado por TB, su calidad de vida descendería en un 30%, ya que aun cuando se pudiera cuidar por sí mismo, no podría mantener una actividad normal ni realizar actividades de trabajo; para el caso de una persona que contrajera MDR-TB, la disminución en su calidad de vida estaría en el orden de un 50%, ya que requeriría de constante asistencia y frecuentes cuidados médicos¹⁰. De realizarse el proyecto y evitar el contagio de un trabajador, éste podría conservar de 11 a 20 años de su vida, evitando el efecto de las enfermedades mencionadas en su esperanza de vida. En cuanto a los años de vida ajustados por calidad, un trabajador que no se infectara por TB, podría conservar hasta 30.2 QALY's (años de buena calidad de vida), mientras que de evitar el contagio de MDR-TB, conservaría 47.5 QALY's. Si la inversión en este proyecto evitara el contagio de un solo trabajador por TB, implicaría que conservarle un año de su vida tendría un costo de \$863,636 y el costo por QALY conservado sería de \$314,569; para el caso de MDR-TB un

Cuadro 2. Ejemplo del contenido de la propuesta, donde se señalan las características actuales más relevantes y las modificaciones necesarias.

	Características actuales	Propuesta
Construcción y distribución	<p>Puertas de construcción sólida con panel de visualización y cierre manual</p> <p>No hay un espacio destinado para la estación y el equipo de seguridad.</p> <p>Los contenedores para basura y ropa sucia no están centralizados, se encuentran en diferentes partes del laboratorio</p> <p>Las áreas de micología y micobacteriología se encuentran separadas. La primera se encuentra aislada por cancelas de vidrio.</p> <p>La entrada al área de micobacteriología es por medio de un pasaje de doble puerta no controlada</p>	<p>Puertas de aluminio recubierto con lámina en acero inoxidable y cierre automático</p> <p>Colocación de una esclusa a la entrada principal, espacio para lockers y perchas para ropa del personal y a descontaminar.</p> <p>Espacio para ropa de seguridad limpia, estuche de emergencia, botiquín de primeros auxilios</p> <p>Adaptación del área de micología y micobacteriología en una sola área con características de nivel BSL3. Entrada por medio de un pasaje de doble puerta, controlado por lector de huella y mecanismo que evite la apertura simultánea</p>
Superficies	<p>Las paredes son rugosas con acabado en vinilo y uniones esquinadas. Pisos con uniones entre losetas</p> <p>Los cuartos de micología y micobacteriología no están completamente sellados</p>	<p>Paredes con acabados lisos, resistentes, de fácil limpieza y desinfección con curvas sanitarias en las uniones. Pisos y paredes con cubierta monolítica (resina epóxica)</p> <p>El área BSL3 debe estar completamente sellada, se deberán clausurar las ventanas existentes</p>
Instalación hidráulica	<p>El drenaje de bacteriología y micología, se encuentra unido al drenaje de la planta baja del edificio</p> <p>No hay coladeras en el piso</p> <p>No hay lavado de ojos</p>	<p>Separar el drenaje de micología y bacteriología de las demás áreas del edificio</p> <p>Colocación de coladeras en el piso</p> <p>Colocación de suministro de agua para lavado de ojos</p>
	Características actuales	Propuesta
Instalación de gases	<p>En el área de micología y micobacteriología, no hay vapor para autoclave y el suministro de CO₂ al área de micobacteriología es por medio de mangueras de plástico provenientes de tanques fuera del cuarto</p> <p>No hay suministro de aire y vacío</p>	<p>Instalación para el suministro de CO₂</p> <p>Colocación de tuberías de aire y vacío protegidas con filtros de alta eficiencia (HEPA)</p>
Ventilación	<p>El flujo de aire es unidireccional. La cercanía de tomas y extractores, dan como resultado la recirculación al laboratorio</p> <p>El sistema de suministro y extracción de aire del área de mayor riesgo (micobacteriología) es</p>	<p>Presión negativa dentro del laboratorio en relación a las áreas fuera de éste. Diferencia de presión de 25 Pa entre cada área</p> <p>El sistema de ventilación del LMC debe ser independiente a las</p>

	independiente, pero el sistema de suministro de las demás áreas del laboratorio de microbiología está conectado a todo el edificio	demás áreas del edificio y con un flujo de aire unidireccional, sin recirculación al laboratorio ni a otras áreas del edificio. Extracción del aire de 10 a 15 veces el volumen de cuarto/hora.
	Las entradas y salidas de aire del laboratorio de microbiología se encuentran situadas en el techo	Sistema de suministro y extracción de aire al área BSL3 independiente y con filtros HEPA en los ductos
Instalación eléctrica	No hay un sistema de alarma y detección de incendios conectados a la planta de emergencia, igualmente para la ventilación La iluminación es de 250 y 500 lux. Lámparas PHI F32T8/TL841/ALTO de 32W	La ventilación, el sistema de alarma, detección y supresión de incendios, deberá estar conectado a la planta de emergencia Colocación de difusores de 60 x 122 cm para obtener iluminación de 800 a 1,100 lux. Lámparas GE T5 de 14W
Sistemas de comunicación, monitoreo y alarmas	No hay sistema contra incendios ni monitoreo de humedad. Hay monitoreo de temperatura, sin alarmas	Instalación de sistema de alarma contra incendios, control de temperatura y humedad de tipo audio/visual. Se debe monitorear también el flujo de aire en los ductos y monitoreo con alarmas de los filtros HEPA y despresurización
Equipo y mobiliario	No hay lavado de ojos en las tarjas de las mesas de trabajo ni llaves automáticas. No hay tarja junto a la entrada principal del laboratorio Las mesas en el área de micología y micobacteriología tienen cubierta de acero inoxidable sin lavado de ojos, ni llaves automáticas. No hay regaderas de emergencia No hay autoclave en el área de micobacteriología	Colocación de lavado de ojos en las tarjas. Colocación de tarja de acero inoxidable junto a la entrada principal. Llaves controladas por sensor de presencia Adquisición de mobiliario nuevo en el área BSL3 con cubiertas de resina epóxica, tarjas con lavados de ojos y llaves controladas por sensor de presencia. Colocación de regadera de emergencia Adquisición de autoclave de doble puerta

Cuadro 3. Resultados obtenidos para el análisis costo-utilidad TB y MDR-TB.

	TB	MTB
Presupuesto del proyecto	\$9'500,000	\$9'500,000
Calidad de vida conservada con la propuesta	1-0.7 = 0.3	1-0.5 = 0.5
Años de vida conservados con la propuesta	11	20
QALY's sin realizar la propuesta	(0.7) (64) = 44.8	(0.5) (55) = 27.5
QALY's al realizar la propuesta	(1) (75) = 75	(1) (75) = 75
QALY's conservados	75-44.8 = 30.2	75-27.5 = 47.5
Costo por año de vida conservado	\$9'500,000/11 = \$863,636	\$9'500,000/20 = \$475,000
Costo por QALY conservado	\$9'500,000/30.2 = \$314,569	\$9'500,000/47.5 = \$200,000

año de vida conservado tendría un costo de \$475,000 y el costo por QALY conservado sería de \$200,000.

En el último estudio realizado por el INER sobre el costo de atención hospitalaria de un paciente con TB sin complicaciones se estimó en \$43,976 anualmente; mientras que un paciente con complicaciones como MDR-TB, anualmente requirió atenciones por un monto de \$202,862¹². Se ha reportado que un paciente con alguno de estos padecimientos contagia a un promedio de quince personas¹², por lo que cada contagio generaría dieciséis enfermos potenciales; es decir, la atención de estos pacientes requeriría de un gasto anual de \$703,616 para el caso de TB y de \$3'245,792 para MDR-TB. De forma comparativa, los gastos por atención hospitalaria de los pacientes infectados por TB derivados del contagio de un solo trabajador en 13 años igualarían la inversión de este proyecto; mientras que si el contagio fuera por MDR-TB, bastaría con 3 años de atención de los pacientes para justificar la inversión. Cabe resaltar que la evaluación es puramente económica y en el ámbito hospitalario, sin embargo, es necesario recordar que existen otros factores relevantes, tales como el impacto en la calidad de vida de los pacientes, los gastos asociados que tendrían que cubrirse en el ámbito familiar y el peligro latente de contagio de más trabajadores.

Finalmente las observaciones realizadas por el DIB se plasmaron en un proyecto arquitectónico que será sometido ante consultores en bioseguridad de agencias internacionales, dicho proyecto fue resul-

tado de sesiones posteriores con el área usuaria, arquitectos proyectistas y biólogos especialistas en aspectos de bioseguridad. Este resultado se ilustra en la Figura 1.

V. CONCLUSIONES

De la evaluación de las instalaciones actuales, se concluye que el LMC no cumple con las características necesarias para cubrir los estándares de bioseguridad BSL 2 y BSL 3, que son los niveles en los que se encontró que debe estar clasificado. Estas deficiencias no aseguran la contención adecuada de los agentes infecciosos, por lo que pone en riesgo al personal que labora en estas áreas. Se encontraron deficiencias en los aspectos evaluados: construcción, distribución de áreas y superficies, instalaciones eléctricas, de agua, gases e iluminación y ventilación. Las mayores deficiencias presentadas son en la parte de ventilación, siendo éste el más importante de los aspectos de ingeniería para el control de los aerosoles de los agentes infecciosos, ya que no existe ningún control de las presiones ni de la dirección de los flujos, por lo que existen condiciones de alto riesgo de contraer TB o MDR-TB. Adicionalmente a las mejoras en las instalaciones, es importante establecer estrategias de capacitación para que el personal lleve a cabo medidas de seguridad en sus procedimientos de trabajo, que permitan mantener la contención del agente infeccioso y disminuyan los riesgos de infección. A pesar de que la inversión inicial para este proyecto podría

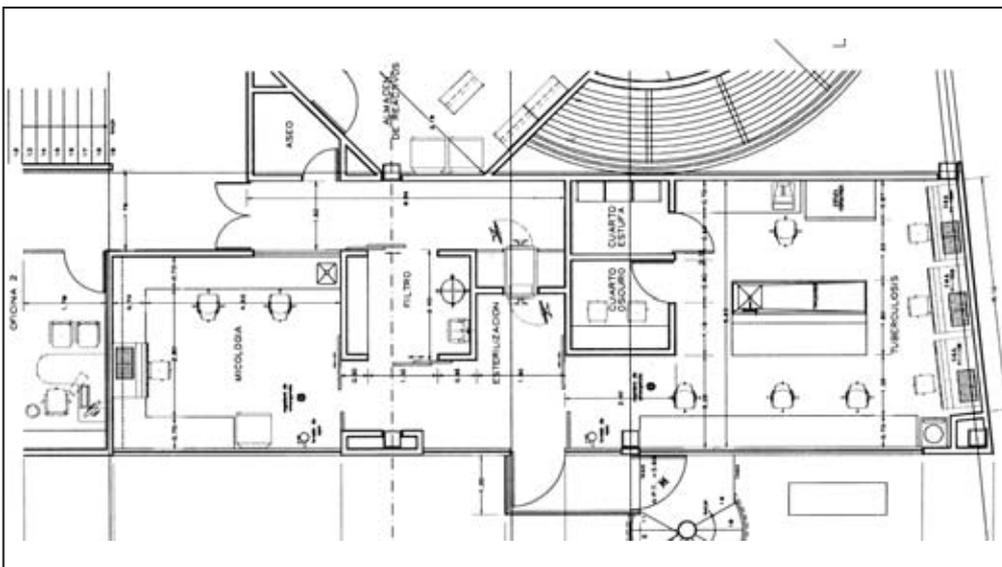


Figura 1. Proyecto de remodelación trazada con los lineamientos descritos en la propuesta del DIB.

parecer alta, se puede apreciar del análisis costo-utilidad que los resultados a mediano y largo plazo justifican la inversión, ya que los beneficios en cuanto a calidad y esperanza de vida, individuales y en términos de salud pública, no son cuantificables de forma monetaria. Es de resaltar que el papel del ingeniero biomédico en este proyecto permitió conjuntar los esfuerzos de profesionales de diversas disciplinas, tales como ingenieros, arquitectos, administradores, biólogos y médicos.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Costos del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, en especial a la Lic. Lucía Ríos Núñez.

BIBLIOGRAFÍA

1. Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories, Centers for Disease Control and Prevention and National Institutes of Health, Washington, 1999: pp. 5-56
2. Secretaría de Salud. La tuberculosis causa tres millones de muertes al año en el mundo. Comunicado No. 205, México 2005.
3. Fernández R, De la Cruz F. Riesgo biológico ocupacional y medidas de seguridad en los laboratorios médicos. Disponible en: www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/repind61/rbomslm/rboms.html
4. Ostrosky-Zeichner L, Rangel-Frausto MS, García-Romero E, Vázquez A, Ibarra MJ, Ponce De León-Rosales S. Tuberculosis en trabajadores de la salud: importancia de los programas de vigilancia y control", Salud Pública de México, 2000; 42(1): 48-52.
5. Chedore P, Th'ng C, Nolan DH, Churchwell GM, Sieffert DE, Hale YM, Jamieson F. Method for inactivating and fixing unstained smear preparation of *Mycobacterium tuberculosis* for improved laboratory safety. Journal of Clinical Microbiology 2002; 40(11): 4077-4080.
6. Centers for Disease Control and Prevention (1997, Abril). Goals for Working Safely with *Mycobacterium tuberculosis* in Clinical, Public Health, and Research Laboratories. Disponible en: <http://www.cdc.gov/od/ohs/tb/tbdoc2.htm>
7. Méndez-Salinas CL. Bioseguridad en laboratorios: Ade-cuación del Laboratorio de Microbiología Clínica para el cumplimiento de estándares de bioseguridad proyec-to terminal. Licenciatura en Ingeniería Biomédica, Uni-versidad Iberoamericana A.C., D.F. México, 2005.
8. Laboratory Center for Disease Control, 1996. Laboratory Biosafety Guidelines. 2nd Edition. Disponible en: <http://www.phac-aspc.gc.ca/publicat/lbg-ldmbl-96/index.html>
9. Universidad Virtual de Barcelona. Maestría en Gestión de Centros y Servicios de Salud 2005, M4: Economía de la Salud, T4: La evaluación económica de la actividad sani-taria. Disponible en <http://www.salud.ubvirtual.com/es>
10. Schag CC, Heinrich RL, Ganz PA. Karnofsky performance status revisited: reliability, validity, and guidelines. J Clin Oncol 1984; 2(3): 187-193.
11. INEGI, Estadísticas Sociodemográficas, 2005. Disponible en <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/capsulas/2005/sociodemograficas/esperanza.asp?c=1582>
12. Vargas-Ruiz M, Ríos-Núñez L, Salazar-Lezama MA, Cano-Valle F. Costos de atención de la tuberculosis: Caso del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER). Rev Inst Nac de Enfer Resp 2003; 16(4): 219-225.