



Ventilación natural para el control de las infecciones en entornos de atención de la salud

Editores:

James Atkinson, Yves Chartier, Carmen Lúcia

Pessoa-Silva, Paul Jensen, Yuguo Li, Wing-Hong Seto



**Organización
Panamericana
de la Salud**



Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Ventilación natural para el control de las infecciones en entornos de atención de la salud

**Editado por:
James Atkinson, Yves Chartier,
Carmen Lúcia Pessoa-Silva,
Paul Jensen, Yuguo Li
y Wing-Hong Seto**

Edición original en inglés:
Natural ventilation for infection control in health-care settings
© World Health Organization, 2009
ISBN 978 92 4 154785 7

Biblioteca Sede OPS – Catalogación en la fuente

Organización Panamericana de la Salud
“Ventilación natural para el control de las infecciones en entornos de asistencia sanitaria”
Washington, D.C.:
OPS, © 2010
ISBN: 978-92-75-33153-8

I. Título

1. VENTILACIÓN – métodos
2. MICROBIOLOGÍA DEL AIRE – normas
3. CONTROL DE INFECCIONES – métodos
4. CENTROL DE SALUD
5. DIRECTRICES PARA LA PLANIFICACIÓN EN SALUD

NLM WX 167

La Organización Panamericana de la Salud dará consideración muy favorable a las solicitudes de autorización para reproducir o traducir, íntegramente o en parte, alguna de sus publicaciones. Las solicitudes y las peticiones de información deberán dirigirse a Servicios Editoriales, Área de Gestión de Conocimiento y Comunicación (KMC), Organización Panamericana de la Salud, Washington, D.C., Estados Unidos de América, que tendrá sumo gusto en proporcionar la información más reciente sobre cambios introducidos en la obra, planes de reedición, y reimpressiones y traducciones ya disponibles.

©Organización Panamericana de la Salud, 2010

Las publicaciones de la Organización Panamericana de la Salud están acogidas a la protección prevista por las disposiciones sobre reproducción de originales del Protocolo 2 de la Convención Universal sobre Derecho de Autor. Reservados todos los derechos.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Secretaría de la Organización Panamericana de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o de nombres comerciales de ciertos productos no implica que la Organización Panamericana de la Salud los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados llevan en las publicaciones de la OPS letra inicial mayúscula.

Índice

Prefacio.....	xi
Agradecimientos	xiii
Colaboradores.....	xv
Conflicto de intereses	xix
Resumen	xxi
Siglas y definiciones de términos.....	xxv
Primera parte: Control de las infecciones y ventilación	1
1 Principios generales del control de las infecciones.....	3
1.1 Concepto de precaución de aislamiento y su evolución histórica.....	3
1.2 Prácticas de aislamiento para el control de las infecciones	4
1.3 Prácticas de aislamiento para evitar las infecciones de transmisión aérea	5
1.4 Control de las infecciones durante los procedimientos de alto riesgo.....	6
1.5 Resumen.....	7
2 Conceptos y tipos de ventilación	9
2.1 Ventilación.....	9
2.1.1 Ventilación natural	9
2.1.2 Ventilación mecánica	9
2.1.3 Ventilación híbrida o mixta.....	10
2.2 Evaluación del desempeño de la ventilación	11
2.3 Comparación entre la ventilación mecánica y la natural..	12
2.3.1 Ventilación mecánica	12

	2.3.2	Ventilación natural	13
	2.4	Comparación entre la ventilación mecánica y la ventilación natural para el control de las infecciones	16
	2.5	Resumen.....	18
3		Infección y ventilación	21
	3.1	Relación entre ventilación e infección	21
	3.2	Exigencias de ventilación en relación con el control de las infecciones de transmisión aérea.....	23
	3.3	Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud relativas a las exigencias de ventilación natural	25
	3.3.1	Explicación de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud	27
	3.3.2	Revisión y evaluación de las recomendaciones..	28
	3.4	Resumen.....	29
		Segunda parte: Diseño de la ventilación natural	31
4		Entendiendo la ventilación natural	33
	4.1	Fuerzas motrices de la ventilación natural	33
	4.1.1	Presión del viento	33
	4.1.2	Presión de chimenea (<i>stack</i> o tiro)	36
	4.2	Índice de flujo de ventilación.....	37
	4.3	Resumen.....	38
5		Diseño y funcionamiento	39
	5.1	Diseño de los sistemas de ventilación natural y de ventilación híbrida	39
	5.1.1	Sistemas de ventilación natural	39
	5.1.2	Sistemas de ventilación híbrida (mixta)	39
	5.2	Conceptos básicos de diseño de la ventilación natural	41

5.3	Consideraciones climáticas y de otro tipo en el diseño de la ventilación.....	41
5.3.1	Mantenimiento del confort térmico.....	42
5.3.2	Consideraciones para los veranos calurosos.....	42
5.3.3	Consideraciones para el invierno	44
5.3.4	Mantener una calidad saludable en el aire interior.....	45
5.3.5	Manejo de los problemas de la contaminación ambiental	45
5.3.6	Ruido exterior.....	45
5.3.7	Selección de materiales de construcción poco contaminantes para interiores	45
5.3.8	Humedad y crecimiento de mohos	46
5.3.9	Seguridad y propagación de enfermedades transmitidas por vectores.....	46
5.3.10	Consideraciones para edificios altos	46
5.3.11	Seguridad contra incendios	46
5.4	Diseño de los sistemas de ventilación natural e híbrida... ..	47
5.4.1	Medición de los conductos de ventilación.....	48
5.4.2	Tres elementos principales en el diseño de la ventilación natural	49
5.5	Tipos de sistemas de ventilación natural.....	53
5.5.1	Pasillo lateral	54
5.5.2	Pasillo central	55
5.5.3	Patio.....	55
5.5.4	Torre de viento	57
5.5.5	Atrio y chimenea	58

	5.5.6	Ventilación híbrida (mixta)	59
5.6		Aplicabilidad de los sistemas de ventilación natural	60
5.7		Puesta en servicio, funcionamiento y mantenimiento	61
	5.7.1	Puesta en servicio	61
	5.7.2	Funcionamiento y mantenimiento	62
5.8		Resumen.....	63
Referencias			65
Anexo A	Artículos incluidos en la revisión sistemática sobre la asociación entre ventilación e infección.....		75
Anexo B	Clasificación de las recomendaciones por el método GRADE		81
Anexo C	Gotículas respiratorias		87
Anexo D	Concepto básico del flujo de ventilación.....		93
Anexo E	Fundamento para determinar los requisitos de la tasa de ventilación mínima		97
Anexo F	Ejemplo de ventilación natural I: Hospital Nacional Dos de Mayo, Lima, Perú		99
Anexo G	Ejemplo de ventilación natural II: Hospital Grantham, RAE de Hong Kong, China		107
Anexo H	Ejemplo de ventilación natural III: Unidad de Control de la Tuberculosis, Hospital Tan Tock Seng, Singapur		113
Anexo I	Ejemplo de ventilación natural IV: Centro de Aislamiento de la OIM, Damak, Nepal		117

Cuadros

Cuadro 2.1	Resumen de las ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos de sistemas de ventilación en hospitales	15
Cuadro 3.1	Alcance y definición de tres modelos de transmisión para la revisión sistemática	22
Cuadro 4.1	Cálculo del número de ACH y tasa de ventilación para una sala de 7 m × 6 m × 3 m	37
Cuadro 5.1	Aplicabilidad potencial de los sistemas de ventilación natural en condiciones ideales (consenso de una revisión sistemática de la OMS)	61
Cuadro E.1	Disminución de la concentración de núcleos goticulares en una habitación de aislamiento en función de las diferentes tasas de ventilación y de la duración	97
Cuadro E.2	Riesgo de infección para una exposición de 15 minutos con diferentes tasas de ventilación y generación de quanta cuando un individuo infectante entra en un espacio cerrado de 6 m × 6,7 m × 2,7 m	98
Cuadro F.1	Datos de la sala y cambios de aire medidos por hora	101
Cuadro G.1	Tasas de ventilación medidas en las salas de tuberculosis	110

Figuras

Figura 4.1	Direcciones del flujo de aire inducidas por el viento en un edificio	34
Figura 4.2	Ventilación unilateral generada por las fluctuaciones de presión	35
Figura 5.1	Diferentes sistemas de ventilación natural e híbrida	40
Figura 5.2	Diseño semiabierto que permite que la radiación terrestre ascendente mejore enormemente el bienestar térmico en veranos calientes	43

Figura 5.3	Reglas generales sobre la profundidad de las habitaciones para tres estrategias diferentes de ventilación	53
Figura 5.4	Ventilación natural impulsada por el viento en un hospital de tipo pasillo lateral en el que el viento entra por el pasillo	54
Figura 5.5	Ventilación natural impulsada por el viento en un hospital de tipo pasillo lateral en el que el viento entra por el pasillo	55
Figura 5.6	Ventilación natural que combina la fuerza del viento y el tiro en un hospital con patio y pasillo interior	56
Figura 5.7	Ventilación natural que combina la fuerza del viento y el tiro en un hospital con patio y pasillo exterior	56
Figura 5.8	Diseño de una torre de viento	57
Figura 5.9	Ventilación natural impulsada por el viento en un hospital con una torre de viento	58
Figura 5.10	Ventilación natural impulsada por el efecto de tiro (creado por una chimenea solar) en un hospital de chimenea solar	59
Figura C.1	A) Imagen Schlieren (visualización usando la refracción de la luz causada por las diferencias de densidad del aire) de la tos humana, y B) foto con flash de un estornudo	88
Figura C.2	Curva de evaporación y caída de las gotículas establecida por Wells	90
Figura C.3	Patrones de intercambio de aire durante actividades diarias	91
Figura F.1	Hospital Nacional Dos de Mayo	100
Figura F.2	Plano y fotos de diferentes salas del Hospital Nacional Dos de Mayo	102
Figura F.3	Mejora de la ventilación natural en la sala de espera de consultas externas del Hospital Nacional Dos de Mayo	104

Figura F.4	Plano de la sala de espera y los consultorios	104
Figura G.1	Habitaciones y ventanas abiertas den la sala de tuberculosis del Hospital Grantham.....	107
Figura G.2	Ventilador de techo para refrigerar en verano y radiador en el invierno	108
Figura G.3	Temperatura ambiente, velocidad del viento y dirección del viento medidas por el observatorio de Hong Kong en la estación meteorológica de Wong Chuk Hang, cerca del hospital Grantham	111
Figura H.1	Dos vistas del servicio de hospitalización de los pacientes tuberculosos; el contorno del edificio de una sola planta está despejado para permitir una ventilación natural durante todo el año.....	113
Figura H.2	Plano del servicio de hospitalización de los pacientes tuberculosos	114
Figura H.3	Interior de la sala de hospitalización de los pacientes tuberculosos	115
Figura I.1	Centro de retención de la OIM en Damak	117
Figura I.2	Unidad de aislamiento individual (izquierda). Espacio libre entre la pared y el tejado para permitir la ventilación natural (derecha)	118

Prefacio

En junio del 2007, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó unas guías sobre la prevención y el control de las infecciones titulado *Prevención y control de infección en enfermedades respiratorias agudas con tendencia epidémica y pandémica durante la atención sanitaria: Guías provisionales de la OMS* (WHO, 2007). En estas nuevas guías, la ventilación natural se considera por primera vez como una de las medidas eficaces de control de las infecciones en entornos de atención de la salud. Una recomendación de este tipo procedente de la OMS demuestra que se concede cada vez más importancia al papel de la ventilación y de la ventilación natural en el control de las infecciones.

Las guías del 2007 demostraron que era necesario hacer más estudios en el ámbito de las exigencias mínimas aplicables a la ventilación natural, así como al diseño, la construcción, el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas de ventilación natural para que puedan utilizarse eficazmente en el control de las infecciones.

Durante los dos últimos años, un equipo multidisciplinario de ingenieros, arquitectos, especialistas en el control de las infecciones y microbiólogos ha trabajado en la elaboración estas guías para proporcionar pautas de diseño y funcionamiento a los planificadores, ingenieros y arquitectos de hospitales y al personal encargado del control de las infecciones nosocomiales. Las recomendaciones de esta guía de la OMS se basan en una revisión sistemática de la bibliografía consagrada a la relación entre la ventilación y la transmisión de enfermedades, así como a las soluciones de ventilación natural eficaces en el control de las infecciones.

Esta guía de la OMS debe usarse junto con otras recomendaciones de interés en el control de las infecciones.

Los estudios sobre la utilización de la ventilación natural en el control de las infecciones nosocomiales son escasos. Los autores de esta guía han tratado de documentar lo que se conoce hasta hoy. Cualquier observación de los usuarios y lectores será útil para revisiones futuras; para más información puede consultarse la página <http://www.who.int/csr/natvent> (y seguir los enlaces “natvent”) o <http://www.who.int/csr/bioriskreduction/natvent/en>.

Dra. María Neira
Directora
Departamento de Salud Pública y Medio Ambiente
Seguridad Sanitaria y Medioambiente
Organización Mundial de la Salud

Dr. Michael Ryan
Director
Departamento de Alerta y Respuesta Mundiales
Seguridad Sanitaria y Medioambiente
Organización Mundial de la Salud

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer la colaboración y generoso apoyo financiero prestado por el Ministerio de Salud, de la Juventud y el Deporte de Francia, que ha permitido la concepción y realización de estas guías.

Agradecemos también a la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional por su contribución financiera a la elaboración y publicación de este documento.

Igualmente agradecemos al Research Grants Council Fund for the Control of Infectious Diseases (Fondo para el Control de las Enfermedades Infecciosas del Consejo de Subvenciones para la Investigación) y a la Administración Hospitalaria de la Región Administrativa Especial de Hong Kong, que han financiado la investigación y las mediciones sobre el terreno para la elaboración de esta guía.

También agradecemos a la Asia Pacific Society of Infection Control (Sociedad del Control de las Infecciones de la Región Asia-Pacífico) su apoyo a la primera reunión de consenso multidisciplinaria sobre la utilización de la ventilación natural en el control de las infecciones, que se celebró del 15 al 17 de mayo del 2007.

Además, deseamos agradecer al Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (SDE), equipo de Salud de los Trabajadores en colaboración con el Área de Vigilancia de la Salud y Prevención y Control de Enfermedades (HSD) de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) por el apoyo brindado para la realización de esta publicación en español.

De igual forma agradecemos al gobierno canadiense por su apoyo financiero para hacer posible la traducción al español de este manual.

Por último, agradecemos al personal y a la dirección de los centros de salud presentados como ejemplos en esta guía por su ayuda y contribución.

Colaboradores

Grupo de Trabajo Técnico de las Guías

Redactores

OMS

James ATKINSON

Yves CHARTIER

Carmen Lúcia PESSOA-SILVA

Externos

Paul JENSEN, Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades,
Atlanta, Georgia, Estados Unidos

Yuguo LI, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Wing-Hong SETO, Queen Mary Hospital, RAE de Hong Kong

Autores

OMS

James ATKINSON

Yves CHARTIER

Fernando OTAIZA

Carmen Lúcia PESSOA-SILVA

Externos

Pat CHING, Queen Mary Hospital, RAE de Hong Kong

Derek CROOME, University of Reading, Reino Unido

Rod ESCOMBE, Imperial College, Londres, Reino Unido

Yuguo LI, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong (autor principal)

Li LIU, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Zhiwen LUO, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Jianlei NIU, University Polytechnic de Hong Kong, RAE de Hong Kong

Marco PERINO, Politecnico di Torino, Italia

Hua QIAN, Southeast University, China

Matthew SAL, Salt.arq Architects, Porto, Portugal

Takao SAWACHI, National Institute for Land and Infrastructure Management,
Japón

WH SETO, Queen Mary Hospital, RAE de Hong Kong

Julian Wei-Tze TANG, National University Hospital, Singapur

Xiaojian XIE, Nanjing Normal University, China

Grupo de Orientación de la OMS sobre las Guías

Presidencia

Yves CHARTIER

Carmen Lúcia PESSOA-SILVA

Miembros

Jamie BARTRAM

Yves CHARTIER

Andrei ISSAKOV

Carmen Lúcia PESSOA-SILVA

Roses PRAY

Cathy ROTH

Fabio SCANO

Susan WILBURN

Comité Directivo Externo de las Guías

Michael GARDAM, Ontario Agency for Health Protection and Promotion and
University of Toronto, Canadá

Paul JENSEN, Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Atlanta,
Georgia, Estados Unidos

Hal LEVIN, Building Ecology Research Group, Santa Cruz, California, Estados
Unidos

Jan SUNDELL, University of Texas at Tyler, Estados Unidos

Equipo encargado de la revisión sistemática

Externo

James AXLEY, Yale University, Connecticut, Estados Unidos

Christopher Yh CHAO, Hong Kong University of Science and Technology,
RAE de Hong Kong

Benjamin COWLING, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Michael GARDAM, Ontario Agency for Health Protection and Promotion and
University of Toronto, Canadá

Michael HODGSON, Veterans Health Administration, Estados Unidos

Paul JENSEN, Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, Georgia,
Estados Unidos

Stephen LAU, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Michael LEUNG, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Hal LEVIN, Building Ecology Research Group, Santa Cruz, California,
Estados Unidos

Yuguo LI, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong
(investigador principal)

Chun-Ho LIU, The University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Arsen MELIKOV, Technical University of Denmark, Dinamarca

Peter V NIELSEN, Aalborg University, Dinamarca

Steven RILEY, University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Mats SANDBERG, KTH Research School, Suecia

Wing-Hong SETO, Queen Mary Hospital, RAE de Hong Kong

Adrian SLEIGH, Australian National University, Australia

Jan SUNDELL, University of Texas at Tyler, Estados Unidos

Ignatius TS YU, Chinese University of Hong Kong, RAE de Hong Kong
(investigador principal)

Shelly Lap Ah TSE, Chinese University of Hong Kong, RAE de Hong Kong

Kwok WAI THAM, National University of Singapore, Singapur

OMS

James ATKINSON

Yves CHARTIER

Andrei ISSAKOV

Fernando OTAIZA

Carmen Lúcia PESSOA-SILVA

Fabio SCANO

Nahoko (Nikki) SHINDO

Susan WILBURN

Conflicto de intereses

Todos los autores que colaboraron en este documento y los miembros de los paneles de revisión externos e internos firmaron las declaraciones de conflicto de intereses. No se declaró ningún conflicto de intereses.

Resumen

En junio del 2007, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó unas guías tituladas *Prevención y control de infección en enfermedades respiratorias agudas con tendencia epidémica y pandémica durante la atención sanitaria: Guías provisionales de la OMS* (WHO, 2007). En estas guías la ventilación natural se consideró como una de las medidas eficaces para reducir el riesgo de propagación de las infecciones en entornos de atención de la salud.

Las presentes guías tienen un doble propósito:

- promover el recurso a la ventilación natural para el control de las infecciones en entornos de atención de la salud (primera parte); y
- describir los principios básicos sobre diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento de un sistema de ventilación natural eficaz para el control de las infecciones (segunda parte).

Estas guías se dirigen principalmente a los ingenieros y arquitectos que diseñan o están al frente de centros de salud. También son de utilidad para el personal de salud, en particular para los especialistas en el control de las infecciones que trabajan en centros de salud. En ellas se pone de manifiesto que los diseñadores, gestores y el personal de salud de los hospitales deben colaborar para que el control de las infecciones sea eficaz.

Estas guías se aplican a las enfermedades que pueden transmitirse por finas gotículas o por núcleos goticulares. En ellas se describe cómo puede diseñarse una sala de prevención de la transmisión aérea y sus zonas adyacentes para que la ventilación natural ayude al control de las infecciones. Sin embargo, no incluye descripciones minuciosas para otras medidas de prevención y control de las enfermedades.

La formulación de estas guías supuso:

- una reunión de consenso multidisciplinaria de dos días sobre el alcance y los elementos principales de la ventilación natural en el marco del control de las infecciones (en mayo del 2007);
- una revisión sistemática de la bibliografía que trata la relación entre ventilación e infección, y las soluciones de ventilación natural (de marzo a diciembre del 2008) (véase el anexo A para más detalle);
- una revisión y un esbozo de las recomendaciones principales por un panel de expertos externo a la OMS (de noviembre a diciembre del 2008); y
- un examen por expertos internos y externos a la OMS (de enero a mayo del 2009).

En este cuadro figuran las recomendaciones principales.

Recomendaciones principales

1. Con objeto de contribuir a la prevención de las infecciones transmitidas por vía aérea, es necesario que haya una ventilación adecuada en todas las zonas de atención a los pacientes de los centros de salud.

Clasificación general: recomendación estricta

2. Para la ventilación natural, deben asegurarse las siguientes tasas de ventilación mínima media por hora:

- 160 l/s/paciente (tasa de ventilación media por hora) para las salas de prevención de la transmisión aérea (con un mínimo de 80 l/s/paciente) (nótese que esto solo se aplica a los centros de salud nuevos y a las renovaciones de gran envergadura);
- 60 l/s/paciente para los servicios hospitalarios generales y los servicios de consultas externas; y
- 2,5 l/s/m³ para los pasillos y otros lugares de paso sin un número fijo de pacientes; sin embargo, cuando en situaciones de urgencia u otro tipo se atiende a los pacientes en los pasillos, las tasas de ventilación deben ser las mismas que las exigidas para las salas de prevención de la transmisión aérea o para los servicios hospitalarios generales.

El diseño debe tener en cuenta las fluctuaciones de la tasa de ventilación.

Cuando la ventilación natural no es suficiente para satisfacer las exigencias recomendadas de ventilación, se recurrirá a otros sistemas de ventilación, como los de ventilación natural híbrida (mixta) y, si tampoco es suficiente, se utilizará la ventilación mecánica.

Clasificación general: recomendación condicional

3. Cuando se diseñen centros de salud ventilados naturalmente, debe prestarse atención a que el flujo de aire general lleve el aire de la fuente de patógenos a las zonas donde la dilución sea suficiente, y preferiblemente al exterior.

Clasificación general: recomendación condicional

4. Para los recintos en los que se llevan a cabo procedimientos que generan aerosoles asociados a la transmisión de patógenos, la ventilación natural debe, como mínimo, cumplir las exigencias de la recomendación 2. Si se trata de patógenos de transmisión aérea, se aplicarán las recomendaciones 2 y 3.

Clasificación general: recomendación condicional

Estas cuatro recomendaciones fueron formuladas por el panel de expertos externo encargado de la revisión sistemática, que utilizó el sistema de evaluación GRADE durante la reunión del panel celebrada en Ginebra en noviembre del 2008 (véase anexo B). En las zonas donde las enfermedades de transmisión vectorial son endémicas (por ejemplo, malaria, dengue), el uso de ventilación natural no debe afectar de ninguna manera las normas o las prácticas de utilización de mosquiteros.

En estas guías solo se describen los conceptos básicos de diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento, por lo que los diseñadores tendrán que consultar las guías de diseño técnico y libros adecuados para todos los detalles técnicos relativos a la ventilación natural. Se recuerda a los lectores que la ventilación natural tiene sus limitaciones, cuando las fuerzas naturales como el viento y la brisa no son suficientes, especialmente para llegar a las elevadas tasas de ventilación recomendadas en estas guías para las salas de prevención de la transmisión aérea. Por otro lado, se advierte a los usuarios que no se remitan exclusivamente a esta guía para el diseño de sus instalaciones ventiladas naturalmente.

Los hospitales o las salas de prevención de la transmisión aérea ventiladas naturalmente deben estar adecuadamente diseñados para que la ventilación natural proporcione las tasas de ventilación recomendadas, de otro modo, factores como la falta de control de la dirección del flujo de aire pueden conducir a un aumento del riesgo de transmisión de infecciones. Los lectores interesados deben obtener o consultar los documentos técnicos de referencia cuando se plantee la renovación o la construcción de un centro con ventilación natural.

Estas guías se revisarán a los cinco años de su publicación para incluir los nuevos datos sobre la relación entre tasas de ventilación natural e infección.

Plan de ejecución

Estas guías tratan un ámbito nuevo, por lo que no hay ningún plan de adaptación.

Se ha iniciado ya un proyecto complementario de esta publicación centrado en el “diseño de centros de salud de bajo costo con características de control de las infecciones mediante la ventilación natural”. Está dirigido a proporcionar asistencia para el diseño de centros de salud de bajo costo ventilados naturalmente en entornos de bajos ingresos. Más información respecto a este proyecto puede encontrarse en <http://www.who.int/csr/bioriskreduction/natvent/en/index.html>.

La OMS tiene la intención de proporcionar modelos de diseño, planos y orientación para la renovación y la construcción de centros de salud, que colocará en una página web y podrán descargarse gratis. Para ello se apoyará en las recomendaciones de las presentes guías para promover y facilitar la provisión de centros de salud de bajo costo que incluyan técnicas de control de las infecciones, en los países de ingresos bajos, que usen mecanismos asequibles y sostenibles y (cuando sea posible) ventilación natural.

Siglas y definiciones de términos

Siglas

ACH	cambios de aire por hora
EPP	equipo de protección personal
OMS	Organización Mundial de la Salud
RAE	Región Administrativa Especial
SARS	síndrome respiratorio agudo grave
TB	tuberculosis

Definiciones de términos

Aberturas en la envolvente	Aberturas construidas en un edificio cuya finalidad es la ventilación natural (por ejemplo, ventanas, puertas, chimeneas solares, torres de viento, ventiladores pasivos).
Antesala	Pequeña sala que sirve de paso entre un pasillo y otra sala, generalmente una sala de aislamiento.
Cambios de aire por hora (ACH)	Para una habitación con presión positiva, razón entre el volumen de aire exterior que penetra en un determinado espacio en una hora y el volumen de ese espacio. Para una habitación con presión negativa, los ACH se calculan a partir de la tasa de flujo de aire de salida.
Controles administrativos	Conjunto de medidas de organización para garantizar las condiciones necesarias de aplicación de los principios de control de las infecciones en los centros de salud. Estas incluyen el establecimiento de infraestructura y actividades para el control sostenible de las infecciones, políticas claras sobre el reconocimiento temprano de las infecciones, aplicación de medidas adecuadas para el control de las infecciones, suministros regulares y la organización de los servicios (por ejemplo, creación de un sistema de triaje y ubicación de pacientes). La dirección del centro de salud debe ocuparse también de la planificación del personal de forma que haya una proporción adecuada entre personal y pacientes, brindar capacitación al personal y poner en práctica programas de salud para el personal (por ejemplo, vacunación, profilaxis) dirigidos a mejorar la salud general de los trabajadores de salud (WHO, 2007).
Cuarto de presión negativa	Hace referencia a la diferencia de presión del aire entre dos zonas. Un cuarto que está a presión negativa tiene una presión inferior a la de las zonas adyacentes, lo que impide que el aire se filtre hacia los cuartos o zonas adyacentes.

Exfiltración	Salida de aire hacia el exterior del edificio por fugas no deseadas.
Gotículas	Partículas inhalables de diámetro superior a 5 μm , que pueden depositarse en las vías respiratorias superiores y sobre las mucosas.
Gotículas respiratorias	Según el tamaño de las partículas (que van de gotículas grandes a pequeños núcleos goticulares), las gotículas respiratorias pueden dividirse en gotículas grandes, aerosoles inhalables y núcleos goticulares (véase anexo C para más detalle).
Infiltración	Entrada no deseada de aire en el edificio a través de espacios diversos.
Núcleos goticulares	Residuos de gotículas desecados <5 μm de diámetro.
Patrón de flujo de aire con cortocircuito	Patrón de flujo de aire que se produce cuando parte del aire está estancado en una habitación ventilada, y el aire de ventilación evita el aire estancado y sale directamente por las salidas.
Precauciones contra la transmisión	Conjunto de prácticas que se aplican a los enfermos hospitalizados con infecciones específicas para las que se deben tomar precauciones que van más allá de las estándar, con objeto de controlar la infección en el entorno de atención de la salud.
Procedimientos que generan aerosoles	Procedimientos que pueden inducir en el paciente la producción de finas gotículas respiratorias.
Procedimientos que generan aerosoles asociados a la transmisión de patógenos	Procedimientos de alto riesgo que pueden aumentar el potencial de generar núcleos goticulares debido a la fuerza mecánica del procedimiento (por ejemplo, entubación, reanimación cardiopulmonar, broncoscopia, autopsia y cirugía que conlleve la utilización de dispositivos de gran velocidad) (WHO, 2007).
Quantum	Cantidad o número de partículas
Sala de prevención de la transmisión aérea	Sala con ≥ 12 cambios de aire por hora (ACH) y dirección controlada del flujo de aire. Una sala de prevención de la transmisión aérea puede ventilarse natural o mecánicamente. Además del requisito de ≥ 12 ACH, en una sala de prevención de la transmisión aérea ventilada mecánicamente se crea presión negativa para controlar la dirección del flujo de aire. Es equivalente a la “sala de aislamiento para infecciones transportadas por el aire” descrita por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos. En las salas de prevención de la transmisión aérea ventiladas de forma natural el flujo de aire debe estar

dirigido a zonas libres de tránsito o permitir la dilución rápida del aire contaminado en las áreas circundantes y a la intemperie (WHO, 2007).

Sistema de ventilación de tipo pistón Desplazamiento ideal del aire en el que el aire introducido de un lado del cuarto es empujado hasta el lado opuesto sin ninguna recirculación y mezclándose lo más mínimo con el aire del cuarto. El sistema de ventilación de pistón es el método más eficaz de renovación de aire.

Sistema de ventilación mecánica de presión negativa Sistema de ventilación mecánico que usa un ventilador de extracción de aire.

Sistema de ventilación mecánica de presión positiva Sistema de ventilación mecánica que usa un ventilador de admisión que introduce el aire a la fuerza en el cuarto.

Sistema de ventilación natural de alta tecnología Sistema de ventilación natural que usa métodos modernos de control con computadoras y puede estar asistido por sistemas de ventilación mecánica.

Sistemas de ventilación mecánica controlada (de doble flujo) Sistema en el que la admisión y la extracción del aire se han probado y ajustado de forma que cumplan unas especificaciones de diseño particulares.

Tasa de flujo de aire recirculado Cantidad de aire reintroducido (recirculado). A pesar de que el aire recirculado puede filtrarse, su calidad es a menudo peor que la del aire exterior, para la mayoría de las aplicaciones corrientes. Por consiguiente, el aire filtrado y recirculado no puede reemplazar al aire exterior para la ventilación.

Transmisión aérea Transmisión de enfermedades causada por la diseminación de los núcleos goticulares que siguen siendo infecciosos estando suspendidos en el aire a través de una gran distancia y por mucho tiempo. La transmisión aérea puede subcategorizarse en transmisión obligada y preferencial. La transmisión obligada por el aire se refiere a patógenos que se transmiten solo por el depósito de núcleos goticulares en condiciones naturales (por ejemplo, tuberculosis pulmonar). La transmisión preferencial por el aire se refiere a patógenos que pueden iniciar la infección por múltiples vías, pero son transmitidos principalmente por núcleos goticulares (por ejemplo, sarampión, varicela) (WHO, 2007).

Transmisión aérea oportunista	Transmisión de núcleos goticulares a corta distancias en circunstancias especiales, como la realización de procedimientos que generan aerosoles asociados a la transmisión de patógenos.
Ventilación	La ventilación proporciona aire exterior a un edificio o una habitación y distribuye el aire dentro del edificio. La finalidad de la ventilación de un edificio es sanear el aire que se respira diluyendo los contaminantes que se originan en el edificio con el aire limpio, y proporcionar una tasa de flujo de aire para renovar este aire a una frecuencia dada. La ventilación también se usa para eliminar los olores, garantizar la contención y regular las condiciones climáticas (temperatura y humedad relativa).
Ventilación híbrida	Combinación de ventilación mecánica y natural (también llamada ventilación mixta).
Ventilación mixta	Véase <i>ventilación híbrida</i> .
Ventilación natural	Utilización de las fuerzas naturales para introducir y distribuir el aire exterior en un edificio, o para extraer el aire. Estas fuerzas naturales pueden ser la presión del viento o la presión generada por la diferencia de densidad entre el aire interior y exterior.

Primera parte: Control de las infecciones y ventilación

La primera parte tiene por objeto definir las recomendaciones sobre ventilación natural en el contexto del control de las infecciones. En el capítulo 1 se exponen los principios generales del control de las infecciones en relación con la ventilación. En el capítulo 2 se presenta el concepto básico de ventilación, así como lo que justifica el uso de la ventilación natural en el control de las infecciones. En el capítulo 3 se trata la relación entre ventilación e infección de transmisión aérea y se expone el fundamento y el consenso adoptado por la Organización Mundial de la Salud sobre los requisitos mínimos aplicables al diseño de la ventilación natural para el control de las infecciones.

1 Principios generales del control de las infecciones

1.1 Concepto de precaución de aislamiento y su evolución histórica

La precaución de aislamiento es una estrategia importante en la práctica del control de las infecciones. La propagación de algunas infecciones puede impedirse si los pacientes infectados están separados de los que todavía no lo están. Aunque no hay ningún estudio que demuestre la eficacia del aislamiento, hay muchos informes que prueban la eficacia de los diversos componentes del aislamiento, en particular la utilización de habitaciones individuales (Anderson *et al.*, 1985) y el uso de equipos de protección como las máscaras, los guantes y las batas (Klein, Perloff y Maki, 1989; Maki, 1994; Maloney *et al.*, 1995).

El concepto de aislamiento puede remontarse a los tiempos bíblicos cuando los leprosos eran separados del resto de la población. A finales del siglo XIX, se recomendó poner a los pacientes con enfermedades infecciosas en establecimientos separados, de esta forma aparecieron los hospitales especializados en enfermedades infecciosas (Lynch, 1949). Sin embargo, a principios de los años cincuenta, muchos de estos hospitales se cerraron y los pacientes fueron trasladados a los hospitales generales. La necesidad de aislamiento tomaba, en este contexto, una importancia particular. A partir de entonces, se crearon varios sistemas de aislamiento (NCDC, 1970; Lowbury *et al.*, 1975; Garner y Simmons, 1983), las precauciones aplicadas con mayor frecuencia para evitar la transmisión consistían en precauciones estándares (destinadas a evitar el contacto directo, sin protección, con la sangre y los humores orgánicos) y precauciones basadas en los mecanismos de transmisión de los microorganismos patógenos: aérea, contacto y gotículas (Gardner, 1996; Siegel *et al.*, 2007).

La separación espacial es sumamente importante cuando se toman precauciones de aislamiento porque, como Florence Nightingale observó, muchas enfermedades infecciosas se propagan principalmente por contacto directo cuando los pacientes están cerca unos de otros. Generalmente, no se requieren medidas de ventilación especiales; estas sí son necesarias para las enfermedades que pueden transmitirse a larga distancia por los núcleos goticulares (Gardner, 1996). La mayoría de las enfermedades no pertenecen a esta categoría. Sin embargo, las enfermedades infecciosas transmisibles a larga distancia por los aerosoles (es decir, infecciones de transmisión aérea) pueden dar lugar a numerosos brotes en un corto período. Por consiguiente, el aislamiento adecuado de los pacientes que padecen estas enfermedades es crucial.

Las presentes guías tratan detalladamente las recomendaciones específicas de ventilación natural utilizadas en el aislamiento de las infecciones de transmisión aérea (véase la sección 3.2).

1.2 Prácticas de aislamiento para el control de las infecciones

En estas guías no se describen los detalles de las diversas precauciones aplicables a la transmisión de las infecciones, sino que trata solo las precauciones de transmisión aérea. Los detalles de los otros tipos de precauciones pueden encontrarse en las referencias pertinentes (Siegel *et al.*, 2007; WHO, 2007).

Cuando se ponen en práctica precauciones de aislamiento, deben considerarse tres tipos de controles (Gerberding, 1993).

El primer tipo son los controles administrativos, que son medidas tomadas para conseguir que todo el sistema funcione eficazmente. Estos controles incluyen:

- ejecución de los procedimientos adecuados para el triaje de pacientes
- detección temprana de las infecciones
- separación de los pacientes infecciosos del resto
- traslado de los pacientes
- educación de la salud de los pacientes y el personal
- designación de las responsabilidades clara y correctamente
- comunicación con todos los socios pertinentes.

El segundo tipo son los “controles de ingeniería y ambientales” como la limpieza del ambiente, la separación espacial y la ventilación de los recintos.

El tercer tipo de control para reducir aún más el riesgo de transmisión es la protección personal, es decir, la provisión de un equipo de protección personal (EPP) adaptado (por ejemplo, máscaras, respiradores).

Cuando se establece un sistema de aislamiento en un hospital, debe prestarse la adecuada atención a los tres tipos de control (controles administrativos, de ingeniería y ambientales y de protección personal) para que el sistema funcione eficazmente y que sus diferentes tipos se complementen.

1.3 Prácticas de aislamiento para evitar las infecciones de transmisión aérea

La transmisión aérea se produce por la diseminación a larga distancia de los núcleos goticulares a partir de los pacientes infecciosos (para más detalles sobre las gotículas respiratorias, véase el anexo C). Para que los patógenos se propaguen por los núcleos goticulares, deben cumplirse algunos requisitos, concretamente:

- presencia de patógenos viables en el interior de la gotícula fuente;
- supervivencia del patógeno dentro de la gotícula después de ser expulsado de la fuente y conservación de su poder infeccioso tras la exposición a diversos factores físicos (evaporación, luz, temperatura, humedad relativa, etc.);
- dosis suficiente para causar infección en un huésped vulnerable; y
- exposición de un huésped vulnerable.

Los microorganismos infecciosos que pueden propagarse a largas distancias por las corrientes de aire e infectar a otros individuos vulnerables son *Mycobacterium tuberculosis* (Riley *et al.*, 1957, 1959), el virus del sarampión (Bloch *et al.*, 1985) y el virus varicela-zóster (varicela) (Gustafson *et al.*, 1982). Para prevenir la propagación de infecciones de transmisión aérea, hay que tomar precauciones aéreas, que requieren los tres tipos de controles citados en la sección 1.2: controles administrativos; de ingeniería y ambientales (tratamiento del aire y ventilación específica de la habitación de los pacientes); y utilización de equipos de protección personal (utilización de respiradores para partículas por parte de los trabajadores de salud siempre que sea posible) (WHO, 2007).

Los pacientes que deben aislarse para impedir la transmisión aérea se pondrán en salas de prevención de la transmisión aérea (WHO, 2007). Se trata de habitaciones en las que el número de cambios de aire por hora es ≥ 12 (ACH) (equivalente a ≥ 80 l/s para una habitación de $4 \times 2 \times 3$ m³) y la dirección del flujo de aire está controlada, lo que permite su uso para contener las infecciones de transmisión aérea (AIA, 2001; Wenzel, 2003; Mayhall, 2004; WHO, 2007). Una habitación con ventilación mecánica equivale a las habitaciones de aislamiento en caso de infección de transmisión aérea descritas por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos, que deben tener características especiales en cuanto a ventilación y dirección del flujo de aire, tales como (CDC, 2003):

- un diferencial de presión negativo de $\geq 2,5$ Pa (0,01 pulgadas de columna de agua);
- un diferencial de flujo de aire > 125 -cfm (56 l/s) entre la extracción y la admisión;
- un flujo de aire desde la zona de aire limpio a la zona de aire sucio;

- un cierre hermético de la habitación, que permita aproximadamente 0,046 m² (0,5 pies cuadrados) de pérdida;
- ≥ 12 ACH para un edificio nuevo y ≥ 6 ACH para los edificios existentes (equivalente a 40 l/s para una habitación de 4×2×3 m³) para un edificio viejo; y
- una extracción de aire hacia el exterior o un filtro HEPA si el aire es reciclado.

El concepto de la ventilación natural para las salas de prevención de la transmisión aérea se trató en las guías provisionales de la Organización Mundial la Salud (WHO, 2007). La ventilación natural puede usarse en este tipo de habitaciones. La finalidad de este documento es proporcionar los principios elementales de diseño en caso de utilización de la ventilación natural en el control de las infecciones. Unas “guías de diseño” más detalladas saldrán después de la publicación de este documento.

1.4 Control de las infecciones durante los procedimientos de alto riesgo

Las precauciones contra la transmisión aérea se recomendaron tras la epidemia de síndrome respiratorio agudo grave (SARS) para los pacientes con tuberculosis pulmonar activa, sarampión, viruela y varicela. Sin embargo, se ha observado también que en determinadas situaciones, otros patógenos no transmitidos por vía aérea podían transmitirse por los núcleos goticulares durante ciertos procedimientos de atención de la salud.

Actualmente, no hay ninguna definición clara ni una lista precisa de los procedimientos de atención de la salud de alto riesgo durante los cuales algunos patógenos (por ejemplo, coronavirus causante del SARS, virus de la gripe) pueden propagarse por los núcleos goticulares a distancias cortas. El mecanismo de esta transmisión se conoce como una transmisión aérea oportunista (Roy y Milton, 2004), y los procedimientos de alto riesgo pueden aumentar la formación de núcleos goticulares debido a la fuerza mecánica del procedimiento (Ip *et al.*, 2007). Algunos de estos procedimientos se han asociado a un aumento significativo del riesgo de transmisión de las enfermedades y se han denominado procedimientos que generan aerosoles asociados a la transmisión de patógenos (WHO, 2007). Estos procedimientos son concretamente la intubación, la reanimación cardiopulmonar, la broncoscopia, la autopsia y las intervenciones quirúrgicas en las que se usan dispositivos a gran velocidad (WHO, 2007).

Como en todos los ámbitos del control de las infecciones, los controles administrativos, de ingeniería y ambientales y la utilización de equipos de protección personal deben utilizarse conjuntamente para evitar la propagación de las infecciones durante los procedimientos de alto riesgo.

En el caso de los controles administrativos, es sumamente importante limitar estos procedimientos a los pacientes que los necesitan. La capacitación adecuada del

personal y la provisión de equipos seguros pueden igualmente ser importantes para reducir el riesgo. El uso de equipos de protección personal adaptados, concretamente respiradores para partículas, gafas protectoras, batas y guantes, constituye una protección complementaria para los trabajadores de salud. Por último, la realización de tales procedimientos en un lugar bien ventilado, lejos de otros pacientes y trabajadores de salud, puede ayudar a prevenir la propagación de la infección. Aunque ningún estudio ha evaluado la repercusión de la ventilación sobre la reducción del riesgo de infección de los núcleos goticulares durante los procedimientos que generan aerosoles, es preferible realizar estos procedimientos en una habitación adecuadamente ventilada, en particular en el caso de los pacientes infectados por patógenos conocidos potencialmente mortales (por ejemplo, SARS, gripe aviar).

No obstante, quizá sea difícil poner en práctica las medidas mencionadas anteriormente, especialmente en situaciones de urgencia (por ejemplo, reanimación de un paciente en el servicio de consultas externas). Por consiguiente, es importante establecer los planes de intervención en dichas situaciones y tener un departamento de urgencias adecuadamente equipado y bien ventilado. Los pacientes podrían entonces trasladarse rápidamente a un lugar seguro con buena ventilación destinado a este propósito. El control de la afluencia de personas también es importante para limitar el contacto entre los pacientes. Finalmente, el personal de salud debe llevar equipos de protección personal adaptados antes de comenzar un procedimiento de alto riesgo.

1.5 Resumen

En resumen, aunque hay pocos datos de estudios que muestren una asociación entre las precauciones de aislamiento y el control de las infecciones, diversos informes y casos de estudio indican que algunos tipos de aislamiento (por ejemplo, usar habitaciones individuales y equipos de protección personal) pueden ser útiles para prevenir la propagación de las infecciones en los centros de salud.

Todos los elementos de un sistema de aislamiento (controles administrativos, controles de ingeniería y ambientales y la protección personal) son importantes y deben tenerse en cuenta al diseñar un sistema de aislamiento en un hospital. Además, estos sistemas deben diseñarse para prevenir la propagación de enfermedades a largas distancias por medio de las gotículas respiratorias, prestándose una atención particular a la prevención de la transmisión durante los procedimientos de alto riesgo (como la entubación, la reanimación cardiopulmonar, la broncoscopia, la autopsia y las intervenciones quirúrgicas en las que se usan dispositivos a gran velocidad).

2 Conceptos y tipos de ventilación

2.1 Ventilación

La ventilación introduce aire exterior en un edificio o una habitación y distribuye el aire dentro del edificio o la habitación. El propósito general de la ventilación de los edificios es sanear el aire que se respira diluyendo los contaminantes que se originan en el edificio y evacuándolos (Etheridge y Sandberg, 1996; Awbi, 2003).

La ventilación de los edificios se caracteriza por tres elementos básicos:

- *tasa de ventilación*: cantidad de aire exterior que se introduce en el recinto y calidad del aire exterior (véase anexo D);
- *dirección del flujo de aire*: dirección general del flujo de aire en un edificio, que debe ir de las zonas limpias a las zonas sucias; y
- *modo de distribución o patrón del flujo de aire*: el aire exterior debe distribuirse por todas partes en el recinto ventilado de manera eficaz y los contaminantes generados en las distintas partes del recinto y transportados por el aire se deben evacuar eficazmente.

Para ventilar un edificio se pueden utilizar tres métodos: la ventilación natural, la ventilación mecánica y la ventilación híbrida (mixta).

2.1.1 Ventilación natural

Las fuerzas naturales (por ejemplo, el viento y la fuerza de flotación térmica debida a la diferencia de densidad entre el aire interior y exterior) hacen entrar el aire exterior en el edificio a través de las aberturas construidas para esta finalidad en la envolvente del edificio (ventanas, puertas, chimeneas solares, torres de viento y ventiladores pasivos). Esta ventilación natural de los edificios depende del clima, del diseño del edificio y del comportamiento de las personas.

2.1.2 Ventilación mecánica

Los extractores son el motor de la ventilación mecánica. Los extractores pueden estar instalados directamente en las ventanas o los muros o bien en los conductos de aire para aportar aire a la habitación o para extraerlo.

El tipo de ventilación mecánica utilizada depende del clima. Por ejemplo, en los climas cálidos y húmedos, la infiltración puede tener que reducirse al mínimo o evitarse a fin de reducir la condensación intersticial (que se produce cuando el aire caliente y húmedo del interior de un edificio penetra en la pared, el techo o suelo y encuentra una superficie fría). En estos casos, se utiliza generalmente un sistema de ventilación mecánica de presión positiva. Por el contrario, en los climas fríos, debe

evitarse la exfiltración para reducir la condensación intersticial, y se utiliza la ventilación de presión negativa. En una habitación en la que se generan contaminantes, como en baños, inodoros o cocinas, a menudo se utiliza un sistema de presión negativa.

En un sistema de presión positiva, la habitación está a presión positiva y el aire de la habitación tiende a escaparse por las fugas de la envolvente u otros orificios. En un sistema de presión negativa, la habitación está a presión negativa y se produce una “succión” del aire exterior. Un sistema de ventilación mecánica controlada (de doble flujo) se refiere al sistema en el que el aporte y la extracción del aire se han probado y ajustado para que cumplan las especificaciones de diseño. La presión de la habitación puede mantenerse a una presión ligeramente positiva o negativa, lo que se logra creando una pequeña diferencia entre las tasas de admisión y de extracción de aire. Por ejemplo, una presión ligeramente negativa se logra extrayendo un 10% más de aire del que se aporta en un clima frío para reducir al mínimo la posibilidad de condensación intersticial. En una sala de prevención de la transmisión aérea diseñada para el control de las infecciones, a menudo se mantiene una presión negativa mínima de 2,5 Pa con respecto al pasillo (CDC, 2003).

2.1.3 Ventilación híbrida o mixta

La ventilación híbrida (mixta) depende de las fuerzas motrices naturales para proporcionar la tasa de flujo deseada (diseño). Se utiliza la ventilación mecánica cuando la tasa de flujo obtenida con la ventilación natural es demasiado baja (Heiselberg y Bjørn, 2002).

Cuando la ventilación natural no es suficiente, pueden instalarse extractores (debidamente calculados y probados con anterioridad) para aumentar las tasas de ventilación de las habitaciones en las que hay pacientes con infecciones de transmisión aérea. Sin embargo, este tipo sencillo de ventilación híbrida (mixta) debe usarse con prudencia. Los extractores deben estar instalados estratégicamente de forma que el aire de la habitación pueda evacuarse directamente al exterior a través de un muro o el tejado. El tamaño y número de extractores depende de la tasa de ventilación proyectada y deben medirse y probarse antes.

Entre los problemas derivados de la utilización de extractores están las dificultades de su instalación (especialmente para extractores grandes), el ruido (en particular de los extractores de alta potencia), el aumento o disminución de la temperatura de la habitación y la necesidad de abastecimiento eléctrico permanente. Si el ambiente térmico de la habitación no es agradable, se añadirán sistemas de refrigeración o calefacción, así como ventiladores en el techo.

Otra posibilidad es la instalación de extractores eólicos (eólicos o turbinas de viento) que no requieren electricidad y proporcionan un sistema de extracción por el tejado, que aumenta la circulación del aire en el edificio (véase la figura I.2 del anexo I).

2.2 Evaluación del desempeño de la ventilación

El desempeño de la ventilación en los edificios puede evaluarse a partir de los cuatro aspectos siguientes, que corresponden con los tres elementos básicos de la ventilación citados anteriormente.

- ¿Proporciona el sistema la tasa de ventilación necesaria?
- ¿La dirección general del flujo de aire en un edificio va de las zonas limpias a las sucias (por ejemplo, habitaciones de aislamiento o zonas de contención, como un laboratorio)?
- ¿Qué eficacia tiene el sistema en el aporte de aire exterior a todos los puntos de la habitación?
- ¿Qué eficacia tiene el sistema para extraer los contaminantes de transmisión aérea de todos los puntos de la habitación?

Con frecuencia se utilizan dos indicadores generales del desempeño. La eficacia de la renovación del aire indica la eficacia de distribución del aire fresco en la habitación, mientras que la eficacia de ventilación indica la eficacia de eliminación de los contaminantes de transmisión aérea de la habitación. Los ingenieros definen la media de la edad del aire en un punto como el tiempo promedio que le lleva al aire llegar a ese punto desde el punto de entrada en la habitación, y la media de la edad del aire en la habitación como el promedio de las edades del aire en todos los puntos de la habitación (Etheridge y Sandberg, 1996). La edad del aire puede medirse usando técnicas de gases trazadores (Etheridge y Sandberg, 1996).

La eficacia de la renovación del aire puede calcularse a partir de los cambios de aire por hora y la media de la edad del aire de la habitación (Etheridge y Sandberg, 1996). Para la ventilación de tipo pistón, la eficacia de la renovación del aire es del 100%, mientras que para los sistemas de ventilación que mezclan el aire completamente es del 50%. En el caso de la ventilación por desplazamiento, la eficacia de la renovación del aire está entre estos dos valores, pero en caso de cortocircuito, puede ser inferior al 50%.

La eficacia de la ventilación puede evaluarse por medición o por simulación (Etheridge y Sandberg, 1996). En términos sencillos, el índice de flujo de ventilación puede medirse determinando la rapidez con que se elimina un gas trazador inyectado en una habitación o midiendo la velocidad del aire en las aberturas o los conductos de ventilación, así como la sección de flujo. La dirección del flujo de aire puede visualizarse con humo. La dinámica de fluidos computacional y las técnicas de velocimetría por imágenes de partículas permiten establecer patrones de comportamiento de la distribución del aire en una habitación (Nielsen, 1974; Chen, 1996; Etheridge y Sandberg, 1996).

2.3 Comparación entre la ventilación mecánica y la natural

2.3.1 Ventilación mecánica

Si está bien diseñado, instalado y mantenido, un sistema de ventilación mecánica presenta varias ventajas.

- Los sistemas de ventilación mecánica se consideran fiables en cuanto al suministro del flujo de aire previsto en el diseño, independientemente de las variaciones del viento y la temperatura ambiente. Dado que la ventilación mecánica puede integrarse fácilmente en el aire acondicionado, la temperatura y la humedad del aire interior también pueden regularse.
- Se puede integrar en la ventilación mecánica sistemas de filtración para eliminar los microorganismos, las partículas, los gases, los olores y los vapores nocivos.
- La canalización del flujo de aire en los sistemas de ventilación mecánica puede guiarse, por ejemplo, permitiendo que el aire circule de las zonas donde hay una fuente (paciente con una infección de transmisión aérea) hacia zonas en las que no haya individuos vulnerables.
- La ventilación mecánica puede funcionar en todas partes siempre que haya electricidad.

No obstante, los sistemas de ventilación mecánica también tienen problemas.

- Los sistemas de ventilación mecánica a menudo no funcionan conforme a lo previsto, además el funcionamiento normal puede interrumpirse por numerosas razones como un fallo en el equipo, una interrupción de la alimentación eléctrica, un mal diseño y un mantenimiento deficiente o manejo incorrecto (Dragan, 2000). Si el sistema da servicio a un establecimiento de riesgo y tiene que funcionar ininterrumpidamente, puede ser necesario tener equipos de seguridad, lo que puede resultar costoso e insostenible.
- Los costos de instalación y, sobre todo, los de mantenimiento de un equipo de ventilación mecánica pueden ser muy altos. Si un sistema de este tipo no puede instalarse o mantenerse adecuadamente debido a la escasez de fondos, su buen funcionamiento correrá peligro.

Todos estos problemas pueden hacer que los sistemas de ventilación mecánica favorezcan la propagación de las enfermedades infecciosas en el centro de salud, en vez de ser un instrumento que las controle.

2.3.2 Ventilación natural

Si está bien instalado y mantenido, un sistema de ventilación natural presenta varias ventajas en comparación con los sistemas de ventilación mecánica.

- La ventilación natural en general puede proporcionar una tasa de ventilación elevada a un costo menor, gracias a la utilización de fuerzas naturales y de aberturas grandes.
- La ventilación natural puede tener un mayor rendimiento energético, en particular si no se necesita calefacción.
- Una ventilación natural bien diseñada ofrece la posibilidad de tener una iluminación natural mejor.

Desde el punto de vista técnico, se pueden distinguir los sistemas de ventilación natural simple y los sistemas de ventilación natural de alta tecnología. Estos últimos están controlados por computadora y pueden completarse con los sistemas de ventilación mecánica (sistemas híbridos o mixtos). Los sistemas de ventilación natural de alta tecnología pueden presentar las mismas limitaciones que los sistemas de ventilación mecánica; pero tienen también las ventajas de ambos sistemas.

Si está bien diseñada, la ventilación natural puede ser fiable, en particular cuando se combina con un sistema mecánico usando el principio de la ventilación híbrida (modalidad mixta), aunque algunos de estos sistemas modernos de ventilación natural puedan resultar más costosos de construcción y diseño que los sistemas mecánicos.

En general, la ventaja de la ventilación natural es su capacidad de proporcionar una tasa de renovación de aire muy elevada a bajo costo, con un sistema muy sencillo. Aunque la tasa de renovación de aire puede variar significativamente, los edificios con sistemas modernos de ventilación natural (bien diseñados y funcionando correctamente) pueden lograr solo por el efecto de las fuerzas naturales tasas de renovación de aire muy elevadas, que pueden incluso exceder con creces los requisitos de ventilación mínimos.

No obstante, los sistemas de ventilación natural presentan algunos inconvenientes.

- La ventilación natural es variable y depende de las condiciones climáticas exteriores con respecto al ambiente interior. Las dos fuerzas que generan el flujo de aire (es decir, el viento y la diferencia de temperatura) están sujetas a variaciones estocásticas. La ventilación natural puede ser difícil de controlar, puede haber flujos de aire excesivos e incómodos en algunos puntos y en otras zonas de aire estancado. Además, la tasa de renovación de aire puede ser baja cuando las condiciones climáticas son desfavorables.
- Puede ser difícil controlar la dirección del flujo de aire debido a la ausencia de una presión negativa suficientemente mantenida; lo que puede dar lugar a un riesgo de contaminación de los pasillos y las habitaciones adyacentes.

- La ventilación natural excluye el uso de filtros para partículas.
- Las condiciones climáticas, culturales o de seguridad pueden obligar a dejar las ventanas y los respiraderos cerrados; en estas circunstancias, las tasas de ventilación estarán considerablemente reducidas.
- La ventilación natural funciona solo cuando las fuerzas naturales necesarias están presentes; cuando se requieren tasas de ventilación elevadas, hace falta que las fuerzas naturales puedan garantizar dichas tasas.
- Los sistemas de ventilación natural a menudo no funcionan conforme a lo previsto; además, su funcionamiento puede estar interrumpido por numerosas razones: ventanas o puertas no abiertas, problemas con los equipos (si es un sistema de alta tecnología), interrupción de la alimentación energética (si es un sistema de alta tecnología), diseño defectuoso, mantenimiento deficiente o manejo incorrecto.
- Aunque el costo de mantenimiento de los sistemas sencillos de ventilación natural sea muy bajo, si un sistema de ventilación natural no puede instalarse o mantenerse adecuadamente debido a la escasez de fondos, su funcionamiento puede peligrar, lo que causará un aumento del riesgo de transmisión de los patógenos transmitidos por vía aérea.

Estas dificultades pueden superarse, por ejemplo, usando un mejor diseño o una ventilación híbrida (mixta). Otros inconvenientes posibles, como el ruido, la contaminación del aire, la presencia de insectos vectores y los problemas de seguridad también deben tenerse en cuenta. Debido a todos estos problemas los sistemas de ventilación natural pueden favorecer la propagación de las enfermedades infecciosas en el centro de salud, en lugar de ser un instrumento que las controle.

En el cuadro 2.1 se resumen las ventajas y desventajas de los sistemas de ventilación en los hospitales.

Cuadro 2.1 Resumen de las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de sistemas de ventilación en hospitales

	Ventilación mecánica	Ventilación natural	Ventilación híbrida (mixta)
Ventajas	<p>Apropiada para todos los climas y clases de tiempo, con aire acondicionado si el clima lo exige.</p> <p>Ambiente más controlado y cómodo.</p> <p>Menores posibilidades de actuar sobre el ambiente para los ocupantes.</p>	<p>Apropiada para los climas cálidos y templados; si la ventilación natural solo es posible la mitad del tiempo, resulta de menor utilidad.</p> <p>Costos de inversión, funcionamiento y mantenimiento menores para la ventilación natural sencilla.</p> <p>Capaz de lograr tasas de ventilación elevadas.</p> <p>Mayores posibilidades de actuar sobre el ambiente para los ocupantes.</p>	<p>Apropiada para la mayoría de los climas y clases de tiempo.</p> <p>Ahorro energético.</p> <p>Más flexible.</p>
Desventajas	<p>Instalación y mantenimiento costosos.</p> <p>Notificación de fracasos en la obtención del flujo de aire fresco necesario.</p> <p>Riesgo de ruido del equipo.</p>	<p>Fácilmente afectada por el clima exterior o el comportamiento del ocupante.</p> <p>Más difícil de predecir, analizar y diseñar.</p> <p>Incomodidad para los ocupantes cuando hace calor, humedad o frío.</p> <p>No permite establecer presión negativa en zonas de aislamiento, salvo con un diseño adecuado; depende de la situación.</p> <p>Riesgo de intrusión de ruidos externos.</p> <p>La ventilación natural de alta tecnología presenta algunas de las limitaciones e inconvenientes de la ventilación mecánica.</p>	<p>Puede ser costosa.</p> <p>Puede ser más difícil de diseñar.</p>

2.4 Comparación entre la ventilación mecánica y la ventilación natural para el control de las infecciones

La decisión sobre el uso de ventilación mecánica o natural para el control de las infecciones debe basarse en las necesidades, los recursos existentes y el costo del sistema que ofrezca la mayor eficacia para prevenir los riesgos.

Por ejemplo, en el Reino Unido, la política del National Health Service (Servicio Nacional de Salud) tiende a limitar la adopción de la ventilación mecánica a las principales zonas de tratamiento médico como las habitaciones de aislamiento de pacientes con infecciones de transmisión aérea, los quirófanos y las salas anexas. No se exige generalmente que las habitaciones de los pacientes tengan ventilación mecánica, por lo que la solución más corriente es la ventilación natural abriendo las ventanas (Mills, 2004). Mills (2004) también señala que “El tratamiento del aire es uno de las principales actividades de consumo de energía en los hospitales. El estudio de un hospital de bajo consumo energético identificó esto como uno de los campos en los que se podría ahorrar utilizando la ventilación natural en todas las zonas ‘no clínicas’. Las directivas actuales del NHS han adoptado esta conclusión”. Por el contrario, la guía de diseño de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2007a, 2007b) (Asociación Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción) está a favor de ventilar mecánicamente todas las zonas.

La ventilación mecánica de las habitaciones de aislamiento es costosa de instalar y de mantener. Además, es frecuente que no produzca la tasa de ventilación recomendada y no consiga mantener una presión negativa (las habitaciones están a veces incluso a presión positiva). Por ejemplo, Pavelchak *et al.* (2000) evaluaron 140 habitaciones de aislamiento para infecciones de transmisión aérea en 38 establecimientos desde 1992 a 1998 y observaron un flujo de aire no deseado que salía de las habitaciones de los pacientes en 38% de los establecimientos. Los principales factores asociados a un funcionamiento incorrecto de las habitaciones de aislamiento eran los siguientes:

- regulación defectuosa de los flujos de aire entrante y saliente (54% de las habitaciones con problemas);
- antesalas compartidas (14%);
- regímenes del flujo de aire turbulentos (11%); y
- imprecisiones en el sistema de control automático (10%).

Además, pueden plantearse varios problemas relacionados con el uso de la ventilación mecánica por la falta de colaboración activa entre el personal médico y técnico, que también pueden ocurrir con la ventilación natural. Por ejemplo (ISIAQ, 2003):

- la falta de control adecuado durante las obras de reparación puede perjudicar las zonas vecinas que requieren una limpieza especial;
- los sistemas de ventilación complejos y costosos a menudo no están bien integrados en el diseño de los edificios, ni tampoco mantenidos o correctamente utilizados; y
- el personal médico a menudo no tiene conocimientos suficientes sobre el desempeño operativo esperado de los sistemas de ventilación ni sobre sus funciones de protección; los sistemas que originalmente estaban bien diseñados pueden emplearse mal, hasta el punto de reducir la funcionalidad esperada, lo que conducirá a mayores riesgos.

Otros problemas de la ventilación mecánica incluyen la pérdida de gradiente de presión negativa en las habitaciones de aislamiento debido a la abertura de puertas; la obstrucción de los filtros; o incluso a la presencia de recintos adyacentes despresurizados (Fraser *et al.*, 1993; Dahl *et al.*, 1996; Sutton *et al.*, 1998; Pavelchak *et al.*, 2001; Rice, Streifel y Vesley, 2001).

En respuesta al brote epidémico de síndrome respiratorio agudo grave (SARS) en el 2003, el gobierno de la Región Administrativa Especial de Hong Kong ordenó la construcción de 558 habitaciones de aislamiento para el SARS, que albergaban más de 1300 camas en 14 hospitales. La presión negativa, la canalización del aire, la tasa de renovación de aire y la eficacia local de la ventilación se midieron en algunas de las habitaciones de aislamiento de nueve hospitales grandes (Li 2007 *et al.*). De las 38 habitaciones estudiadas, 97% cumplían la diferencia de presión negativa recomendada de 2,5 Pa entre el pasillo y la antesala; y 89% de las 38 habitaciones probadas cumplieron el mismo requisito entre la antesala y los cubículos. Aunque no se encontraron fugas de aire hacia el pasillo, 60% de los inodoros y baños tenían presión positiva. Más del 90% de las puertas entre los pasillos y las antesalas o entre las antesalas y los cubículos tenían un flujo bidireccional cuando la puerta estaba abierta. De los 35 cubículos probados, 26% tenían una tasa de renovación de aire inferior a 12 cambios de aire por hora (ACH).

La mayoría de estos problemas también pueden producirse con la ventilación natural.

Se llevó a cabo un análisis comparativo de los sistemas de ventilación mecánica y natural en ocho hospitales de Lima, Perú (Escombe *et al.*, 2007). Cinco de estos hospitales tenían un diseño al “estilo antiguo” (construcción anterior a 1950) y tres tenían un diseño “moderno” (construcción entre 1970 y 1990). Se estudiaron 70 habitaciones con ventilación natural para pacientes infecciosos. Estas habitaciones se compararon con 12 habitaciones de aislamiento respiratorio con ventilación mecánica y presión negativa, construidas después del 2000. El análisis mostró que:

- la abertura de las ventanas y las puertas proporcionaba una ventilación mediana de 28 ACH, más del doble de los 12 ACH recomendados en las habitaciones de presión negativa ventiladas mecánicamente, pero dependía de la correcta utilización de las puertas y ventanas; ninguna de estas habitaciones se utilizaban normalmente con las ventanas y puertas abiertas; y
- los centros construidos hacía más de 50 años, caracterizados por grandes ventanas y techos altos (mayores valores de volumen por paciente) estaban más ventilados, cuando las ventanas y puertas estaban abiertas, que las habitaciones con ventilación natural de los hospitales modernos (40 ACH frente a 17 ACH).

Sin embargo, estos resultados deben usarse con prudencia. Las tasas de ventilación se indicaron en el análisis sin información detallada sobre las condiciones climáticas, como la velocidad y dirección del viento. La medida de las tasas de ventilación también estaba afectada por el dispositivo de medición del dióxido de carbono y por el hecho de que las mediciones se tomaron en edificios con múltiples espacios interconectados, lo que probablemente habrá afectado las condiciones de mezcla en el espacio interior medido.

2.5 Resumen

La utilización del aire exterior para la ventilación natural, combinada con los métodos de enfriamiento naturales y la utilización de la luz del día, han sido elementos esenciales de la arquitectura desde la antigüedad hasta principios del siglo XX (ASHRAE, 2007b). La arquitectura clásica con sus plantas en forma de H, L, T o U, sus patios abiertos, sus limitaciones en la profundidad del edificio y del tamaño máximo de las ventanas sacaba el máximo provecho de la ventilación natural y la luz del día. En fecha reciente, la ventilación natural ha sido reemplazada en gran parte por los sistemas de ventilación mecánica en los países de ingresos medianos y altos. Al principio, los sistemas de calefacción, ventilación y de aire acondicionado totalmente mecánicos parecían poder resolver todos los problemas prácticos de la ventilación natural y permitir controlar durante todo el año las condiciones ambientales del interior de los locales.

Sin embargo, la ventilación mecánica requiere un diseño cuidadoso, un mantenimiento regular de los equipos, la adopción de normas rigurosas y unas guías de diseño que tengan en cuenta todos los aspectos ligados a la calidad del ambiente interior y a la eficacia de los recursos energéticos (ASHRAE, 2007b). Lo mismo se puede decir para la ventilación natural de alta tecnología. La ventilación natural

también plantea problemas, concretamente en los países donde los inviernos son fríos. Se necesita trabajar más en el diseño de sistemas de ventilación de bajo costo y fiables para las habitaciones que favorezcan, en lugar de evitar, la circulación del aire y que permitan, al mismo tiempo, el control de la temperatura interior.

En consecuencia, los sistemas de ventilación natural y mecánica pueden, en la práctica, ser igualmente eficaces para el control de las infecciones. Sin embargo, la ventilación natural solo funciona cuando existen fuerzas naturales como el viento o la brisa y cuando las aberturas de entrada y salida del aire se mantienen abiertas. Por otro lado, las dificultades que conlleva la instalación y mantenimiento adecuado de un sistema de ventilación mecánica pueden conducir a una concentración elevada de núcleos goticulares infecciosos y, en definitiva, dar lugar a un mayor riesgo de transmisión de enfermedades.

En los centros de salud existentes con ventilación natural, este sistema debe potenciarse al máximo cuando sea posible, antes de plantearse la instalación de otros sistemas de ventilación. Sin embargo, esto supone que las condiciones climáticas también se presten a esta elección.

3 Infección y ventilación

3.1 Relación entre ventilación e infección

Hay pocos datos probatorios de que la ventilación reduzca directamente el riesgo de transmisión de enfermedades, pero muchos estudios indican que una ventilación insuficiente aumenta la transmisión de enfermedades. Numerosos estudios han versado sobre las vías posibles de transmisión de las enfermedades, pero pocos han tenido en cuenta la repercusión directa de la ventilación sobre la transmisión.

Históricamente, el concepto de propagación aérea fue descrito por primera vez por Wells (1934, 1955) y luego por Riley y O'Grady (1961). La ecuación Wells-Riley (Riley, Murphy y Riley, 1978) se usó para evaluar el efecto de la ventilación, la filtración y otros procesos físicos en la transmisión por los núcleos goticulares (Nardell *et al.*, 1991; Fennelly y Nardell, 1998).

La detección de patógenos en el aire de las habitaciones y los edificios puede indicar una relación indirecta entre ventilación y transmisión de enfermedades (Artenstein *et al.*, 1967; Sawyer *et al.*, 1994; Aintablian, Walpita y Sawyer, 1998; Mastorides *et al.*, 1999; Suzuki *et al.*, 2002, 2003; Booth *et al.*, 2005; Chen y Li, 2008; Huynh *et al.*, 2008). Sin embargo, otros aspectos (por ejemplo, dosis infectante necesaria, vulnerabilidad del huésped, infectividad del patógeno y otros factores ambientales) son importantes para determinar la posibilidad de transmisión de un patógeno. Por consiguiente, los datos sobre la presencia de patógenos en el aire no son suficientes para establecer el riesgo de transmisión de enfermedades y deben usarse conjuntamente con otros datos (por ejemplo, los epidemiológicos).

Para formular estas guías, se llevó a cabo una revisión sistemática de las publicaciones científicas hasta junio del 2008 (véase el anexo A) cuyo objeto era responder a dos preguntas.

1. ¿La tasa de ventilación (medida en cambios de aire por hora —ACH— o velocidad de flujo en m^3/s) contribuye a reducir 1) las tasas de infección o 2) los brotes de enfermedades infecciosas por patógenos que se transmiten por cada uno de los modos de transmisión enumerados en el cuadro 3.1, en *a*) pacientes, *b*) trabajadores de salud y/o *c*) otros prestadores de asistencia como los miembros de la familia? En caso afirmativo, ¿qué tasa de ventilación se ha asociado a cada patógeno infeccioso?
2. ¿El flujo o la dirección del aire contribuyen a reducir 1) las tasas de infección o 2) los brotes de enfermedades infecciosas por patógenos que se transmiten por cada uno de los modos de transmisión en *a*) pacientes, *b*) trabajadores de salud y/o *c*) otros prestadores de asistencia como los miembros de la familia? En caso afirmativo, ¿qué condiciones del flujo de aire o la dirección se han asociado con esto?

Cuadro 3.1 Alcance y definición de tres modelos de transmisión para la revisión sistemática

Modo de transmisión	Definición	Ejemplos de patógenos
Aérea	<p>Transmisión de enfermedad causada por la diseminación de núcleos goticulares que siguen siendo infecciosos durante mucho tiempo y a largas distancias (>1 m), en suspensión en el aire. La transmisión aérea puede ser obligada o preferencial.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La transmisión obligada por vía aérea se refiere a los patógenos que se transmiten simplemente por el depósito de núcleos goticulares en condiciones naturales. • La transmisión preferencial por vía aérea se refiere a los patógenos que pueden iniciar la infección por múltiples vías, pero son transmitidos principalmente por los núcleos goticulares. 	Tuberculosis pulmonar, sarampión, varicela
Aérea oportunista	Transmisión de los núcleos goticulares a corta distancia durante circunstancias especiales, como la realización de procedimientos que generan aerosoles asociados con la transmisión de patógenos.	Coronavirus del SARS, gripe
Gotículas	Las gotículas se generan en una persona infectada (fuente) principalmente al toser, estornudar y hablar. La transmisión ocurre cuando estas gotículas que contienen microorganismos son propulsadas a una distancia corta (generalmente <1 m).	Adenovirus, virus sincitial respiratorio, gripe, coronavirus del SARS

SARS, síndrome respiratorio agudo grave.

Los estudios finalmente seleccionados ($n = 65$) (véase la lista en el anexo A) se incluyeron basándose en la relación entre la tasa de ventilación o la dirección del flujo de aire con la propagación de ciertas enfermedades infecciosas. Las enfermedades que mostraron una relación posible entre la transmisión en los seres humanos y la ventilación fueron la varicela (Gustafson *et al.*, 1982), el sarampión (Bloch *et al.*, 1985), la viruela (Wehrle *et al.*, 1970) y la tuberculosis pulmonar (TB) (Hutton *et al.*, 1990; Calder *et al.*, 1991; Menzies *et al.*, 2000). En estas guías, estas cuatro enfermedades se denominan enfermedades de transmisión aérea.

La revisión sistemática dio lugar a cinco resultados principales.

- La falta de ventilación o unas tasas de ventilación bajas están asociadas con mayores tasas de infección o brotes de enfermedades de transmisión aérea.
- Las tasas de ventilación elevadas podrían reducir el riesgo de infección. En el caso de habitaciones que no se han diseñado para el aislamiento, las tasas de ventilación inferiores a 2 ACH (por ejemplo, equivalente a 13 l/s para una habitación de $4 \times 2 \times 3 \text{ m}^3$) están asociadas a tasas mayores de conversión de la prueba cutánea de la tuberculina en el personal. Una tasa de ventilación mayor

puede proporcionar una mejor dilución y, en consecuencia, reducir el riesgo de infección por transmisión aérea. Por este motivo, las zonas mejor ventiladas tienen un riesgo menor de transmisión de la tuberculosis y de otras infecciones de transmisión aérea. El anexo D contiene una explicación más detallada de cómo las tasas de ventilación reducen la transmisión de las infecciones por vía aérea.

- No hay datos de la repercusión de la tasa de ventilación sobre la transmisión de enfermedades transmitidas por gotículas. Esto concuerda con la física de la transmisión por gotículas, que muestra que la ventilación general no debería afectar la transmisión por gotículas grandes.
- El flujo de aire procedente de una fuente contaminada puede provocar una infección a distancia de la fuente. La tasa de infección (o de ataque) se reduce a medida que la distancia física de la fuente aumenta. Una de las condiciones esenciales para que se produzca una infección inducida por un flujo de aire es que la concentración de patógenos transportados sea suficientemente elevada en la ubicación de la fuente (ya sea porque la concentración en la fuente es alta o porque la tasa de ventilación es baja).
- Aunque no hay suficientes datos para demostrarlo, parece que el flujo de aire procedente de una fuente contaminada no provoca infección si la dilución es suficiente. No existe una indicación precisa sobre la dilución mínima necesaria.

Después de más de 100 años de estudio de la relación entre ventilación e infección, los datos son todavía escasos e incompletos. No son suficientes para calcular las exigencias mínimas de ventilación en las habitaciones de aislamiento, o en las zonas del hospital que no son de aislamiento, para prevenir la propagación de infecciones de transmisión aérea. Tampoco son bastante numerosos para calcular las exigencias mínimas de ventilación en las escuelas, las oficinas y otros edificios no hospitalarios para prevenir la propagación de infecciones de transmisión aérea.

3.2 Exigencias de ventilación en relación con el control de las infecciones de transmisión aérea

Una de las principales dificultades al formular las guías sobre ventilación para el control de las infecciones es que no hay datos suficientes para poder recomendar una tasa de ventilación mínima que permita el control de las infecciones por núcleos goticulares. La ventilación puede reducir la concentración de los patógenos transmitidos por vía aérea mediante la eliminación o la dilución de los núcleos goticulares transportados por el aire. Una tasa de ventilación mayor aumenta la capacidad de dilución y, en consecuencia, reduce potencialmente el riesgo de infección de transmisión aérea. De acuerdo con esta hipótesis, Menzies *et al.* (2000) observaron que la conversión de la prueba de la tuberculina era significativamente más rápida y frecuente en el personal clínico que trabajaba en zonas en las que la ventilación media era inferior a 2 ACH. Una tasa de ventilación mayor puede diluir el aire contaminado dentro de un recinto más rápidamente que una tasa de ventilación inferior y también puede disminuir el riesgo de transmisión de los

núcleos goticulares infecciosos a los individuos presentes en ese recinto. Sin embargo, se desconoce cuál es la tasa de ventilación máxima (por encima de la cual el riesgo de infección ya no disminuye más). La elección del flujo de ventilación mínimo puede estar afectada por la necesidad de reducir el consumo energético (ya que tasas de ventilación mayores tienen un costo energético superior en el caso de la ventilación mecánica).

En estas guías, la justificación para determinar la tasa de ventilación mínima requerida se basa principalmente en dos elementos (véase el anexo E):

- el efecto de la tasa de renovación de aire sobre la disminución de la concentración de núcleos goticulares; y
- el modelo matemático del riesgo utilizando la ecuación de Wells–Riley para calcular el efecto de la tasa de ventilación sobre el riesgo de transmisión de enfermedades de transmisión aérea conocidas.

Estos principios subyacentes indican que cuanto mayor sea la tasa de ventilación, más rápidamente se eliminan las partículas (por ejemplo, núcleos goticulares) del aire de la habitación. Además, según la ecuación de Wells–Riley, la probabilidad de infección por los núcleos goticulares infecciosos es inversamente proporcional a la tasa de ventilación. Los parámetros utilizados en la ecuación de Wells–Riley son la tasa de ventilación, la tasa de generación de núcleos goticulares por la fuente (quanta/minuto) y la duración de la exposición:

$$P = \frac{D}{S} = 1 - \exp\left(-\frac{Ipqt}{Q}\right)$$

donde:

P = probabilidad de infección para las personas vulnerables

D = número de casos de enfermedad

S = número de personas vulnerables

I = número de personas infectantes

p = frecuencia respiratoria por persona (m^3/s)

q = tasa de generación quanta por una persona infectada (quanta/s)

t = tiempo total de exposición (s)

Q = tasa de suministro de aire exterior (m^3/s).

Teniendo en cuenta este modelo, en las situaciones de gran producción de quanta (por ejemplo, procedimientos de alto riesgo que generan aerosoles), se calcula que la probabilidad de infección por 15 minutos de exposición en una habitación con 12 ACH sería inferior al 5% (véase el anexo E para más detalles).

Cuando se usa el número de ACH para medir el desempeño de la ventilación, el volumen de la zona ventilada es lógicamente un parámetro importante. Un ACH dado corresponde a un flujo de aire (m^3/h o l/s) más elevado en una habitación de gran volumen que en una de volumen menor.

Algunas guías existentes de diseño de habitaciones de aislamiento ventiladas mecánicamente (CDC, 2003) prevén que se mantenga una presión negativa mínima y una tasa de ventilación mínima ≥ 12 ACH. Según se ha visto, la desventaja principal de la ventilación natural es la dificultad para mantener constante la dirección del flujo de aire, sujeta a grandes fluctuaciones. Aunque es difícil lograr una presión negativa con la ventilación natural, si la dilución es suficiente, el aire expulsado al aire libre presenta un riesgo mínimo.

De todos modos, la elección de las zonas de prevención de la transmisión aérea y la colocación de los pacientes en estas zonas deben planificarse y diseñarse con esmero, para reducir tanto como sea posible el riesgo de infección de las personas de las zonas circundantes.

Teniendo en cuenta lo dicho, la Organización Mundial de la Salud ha formulado las recomendaciones de la sección 3.3 que vemos a continuación.

3.3 Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud relativas a las exigencias de ventilación natural

Sírvase ver las explicaciones para la clasificación general (es decir, recomendación estricta frente a recomendación condicional) de las recomendaciones en los cuadros de evaluación respectivos del anexo B.

1. Para ayudar a prevenir las infecciones de transmisión aérea, es necesario una ventilación adecuada en todas las zonas de asistencia de los centros de salud (Gustafson *et al.*, 1982; Bloch *et al.*, 1985; Hutton *et al.* 1990; Calder *et al.* 1991).

Recomendación estricta

Comentarios: Hay pocos datos probatorios que indiquen que una ventilación insuficiente esté asociada a un aumento del riesgo de infección y defiendan el uso de la ventilación para el control de las infecciones de transmisión aérea.

2. Para la ventilación natural, las siguientes tasas de ventilación mínima media por hora deben proporcionarse:
 - 160 l/s/paciente (tasa de ventilación media por hora) para las salas de prevención de la transmisión aérea (con un mínimo de 80 l/s/paciente) (nótese que esta solo se aplica a los nuevos centros de salud o a las renovaciones de gran envergadura);
 - 60 l/s/paciente para los servicios hospitalarios generales y los servicios de consultas externas; y
 - 2,5 l/s/m³ para los pasillos y otros lugares de paso sin un número fijo de pacientes; sin embargo, cuando en situaciones de urgencia u otro tipo se atiende a los pacientes en los pasillos, las tasas de ventilación deben ser las mismas que las exigidas para las salas de prevención de la transmisión aérea o para los servicios hospitalarios generales.

El diseño debe tener en cuenta las fluctuaciones de la tasa de ventilación.

Cuando la ventilación natural no es suficiente para satisfacer las exigencias recomendadas de ventilación, se recurrirá a otros sistemas de ventilación, como los de ventilación natural híbrida (mixta) y, si tampoco es suficiente, se utilizará la ventilación mecánica.

Recomendación condicional

Comentarios: Para que la ventilación natural pueda aplicarse, hace falta que las condiciones climáticas sean favorables.

3. Cuando se diseñan centros de salud ventilados naturalmente, debe prestarse atención a que el flujo de aire general lleve el aire de la fuente de patógenos a zonas donde la dilución sea suficiente, y preferiblemente al exterior (Gustafson *et al.*, 1982; Bloch *et al.*, 1985; Hutton *et al.* 1990; Calder *et al.* 1991).

Recomendación condicional

*Comentarios: A pesar de que algunos datos probatorios indican que existe una relación posible entre la dirección del flujo de aire y la propagación de las infecciones de transmisión aérea, dicha propagación se observó con tasas de ventilación muy bajas (inferiores a 4 ACH) (Bloch *et al.*, 1985). Se formula la hipótesis de que si la tasa de ventilación en los espacios adyacentes es suficientemente elevada, el riesgo sería muy bajo o mínimo (por ejemplo, como en un espacio abierto). Sin embargo, se desconoce el valor preciso de la tasa de ventilación requerida en los espacios cerrados adyacentes a las salas de prevención de la transmisión aérea para reducir el riesgo de propagación. Para que la ventilación natural pueda aplicarse, hace falta que las condiciones climáticas sean favorables.*

4. Para los recintos en los que se llevan a cabo procedimientos que generan aerosoles asociados a la transmisión de patógenos, la ventilación natural debe, como mínimo, cumplir las exigencias de la recomendación 2. Si se trata de patógenos de transmisión aérea, se aplicarán las recomendaciones 2 y 3.

Recomendación condicional

Comentarios: Hay datos indirectos que indican que algunos procedimientos generadores de aerosoles están asociados a un mayor riesgo de infección. La ventilación puede tener importancia, pero las exigencias mínimas de ventilación en el caso de los procedimientos que generan aerosoles deben investigarse más.

3.3.1 Explicación de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud

En estas guías se reconoce que actualmente hay una falta de datos epidemiológicos fidedignos sobre la relación entre tasa de ventilación e infecciones de transmisión aérea, pero se aprecia la importancia de la ventilación desde el punto de vista teórico y de la práctica actual en materia de aislamiento.

Las guías también reconocen los tres inconvenientes principales de la ventilación natural: fluctuación de la tasa de ventilación debida a la variabilidad de las fuerzas motrices, dificultad para lograr una dirección de flujo de aire constante y una temperatura interior agradable en los climas extremos.

Aunque se necesita investigar más acerca de los efectos de la tasa de ventilación sobre el riesgo de infección, la tasa de ventilación mecánica actualmente recomendada de 12 ACH para las salas de prevención de la transmisión aérea (CDC, 2003, 2005) se toma como referencia. Las justificaciones posibles (que no cuentan con datos probatorios de apoyo) para determinar la tasa de ventilación mínima requerida se explican en el anexo E. Sugerimos también que si la ventilación natural se usa para el control de las infecciones, la tasa de ventilación mínima ha de ser mayor que la exigida actualmente para la ventilación mecánica a fin de compensar las fluctuaciones previsibles y las dificultades para controlar la dirección del flujo de aire.

Estas guías sugieren usar el volumen de la habitación y la tasa de ventilación (en litros por segundo por paciente o l/s/paciente o l/s/p) en lugar de la tasa de cambios de aire por hora (ACH), aunque esta tasa sea la utilizada generalmente en otras guías. La utilización de la tasa de ventilación (l/s/paciente) se basa en la relación directa entre el nivel de exposición y la tasa de ventilación, así como en la relación directa con el número de pacientes que el recinto acogerá según el diseño. Sin embargo, para los pasillos y otros recintos sin un número fijo de pacientes, la tasa de ventilación se basa en el volumen del recinto.

Otros documentos recomiendan 12 ACH para una sala de prevención de la transmisión aérea, lo que equivale a 80 l/s/paciente en una habitación de $4 \times 2 \times 3 \text{ m}^3$, por ejemplo. Estas guías recomiendan duplicar esta tasa de ventilación para las salas de prevención con ventilación natural. Por consiguiente, para una habitación con un volumen similar, se recomienda una tasa de ventilación media de 160 l/s/paciente por hora. A su vez, las guías también recomiendan una tasa de ventilación mínima de 80 l/s/paciente en todo momento.

En el anexo B se indican los factores que se han tenido en cuenta en la clasificación de las diferentes recomendaciones.

3.3.2 Revisión y evaluación de las recomendaciones

Las exigencias recomendadas de ventilación natural para el control de las infecciones deberán revisarse y actualizarse una vez que se tengan los nuevos datos sobre la repercusión de la ventilación.

Las recomendaciones fueron formuladas por el panel externo de revisión sistemática usando el sistema de evaluación GRADE durante la reunión celebrada en Ginebra en noviembre del 2008 (véase el anexo B).

La recomendación 1 está basada principalmente en los estudios de Gustafson *et al.* (1982) (varicela), Bloch *et al.* (1985) (sarampión), Hutton *et al.* (1990) (tuberculosis) y Calder *et al.* (1991) (tuberculosis). Estos estudios aportaron datos probatorios de la relación entre ventilación y propagación de ciertas enfermedades infecciosas. La falta de ventilación o las tasas de ventilación reducidas estaban asociadas a un aumento de las tasas de infección o a brotes de enfermedades de transmisión aérea o de transmisión aérea oportunista.

La recomendación 2 está basada principalmente en los estudios de Menzies *et al.* (2000) y Bloch *et al.* (1985), que proporcionan datos probatorios de la asociación entre una tasa de ventilación baja (inferior a 2 ACH) y la propagación de la tuberculosis (Menzies *et al.*, 2000) y el sarampión (Bloch *et al.*, 1985). Estos estudios indican que existe una relación entre la dirección del flujo de aire y la propagación de las enfermedades infecciosas de transmisión aérea.

Para la recomendación 4 no hay estudios que aporten datos probatorios de la relación entre las características de la ventilación y la infección debida a los procedimientos que generan aerosoles. Sin embargo, sí hay datos probatorios indirectos que indican que algunos de estos procedimientos están asociados a un mayor riesgo de infección.

3.4 Resumen

El diseño de sistemas adecuados de ventilación general puede desempeñar un papel importante para prevenir la propagación de las infecciones. Los pacientes con enfermedades infecciosas que se propagan fácilmente por el aire (por ejemplo, varicela, sarampión, tuberculosis) deben estar en salas de prevención de la transmisión aérea. Sin embargo, hay a menudo un retraso entre la admisión de estos pacientes en el centro de salud y el diagnóstico de la enfermedad infecciosa. La transmisión de la enfermedad a otros pacientes o al personal puede producirse mientras están esperando en las zonas comunes (por ejemplo, salas de espera, servicio de urgencias). Prestar más atención a las exigencias de ventilación en estos espacios comunes que no son de aislamiento podría conllevar ventajas significativas para el control de las infecciones.

Sin embargo, las estrategias de prevención y control de las enfermedades incluyen la evaluación de los riesgos y los recursos, y la aplicación posterior de los controles administrativos, controles ambientales y de ingeniería y el uso de equipos de protección personal apropiados, paralelamente a la puesta en marcha de un sistema de ventilación adaptado.

Segunda parte: Diseño de la ventilación natural

En esta segunda parte se proporciona una introducción a los principios fundamentales de diseño de la ventilación natural para el control de las infecciones. Estas guías, que se limitan a los principios fundamentales de diseño, se ampliarán con un proyecto de la Organización Mundial de la Salud para el desarrollo de estos principios.

El proyecto, que se basará en la presente introducción, está dirigido a proporcionar los medios para adaptar los centros de salud a la ventilación natural, potenciando así al máximo la preparación ante un brote epidémico al tiempo que se reducen los costos y emisiones. Se basa en la premisa de que una guía de diseño clara y bien concebida puede ayudar a las autoridades de salud, concretamente, de los países de bajos ingresos. Dicha guía podrá descargarse gratuitamente de la página web. Gracias a este instrumento de asesoramiento en el diseño, una inversión relativamente pequeña en términos financieros y de dotación de personal logrará resultados considerables en ámbitos de una importancia crucial.

Se recuerda a los lectores que el diseño es fundamental para el buen funcionamiento de los centros de salud o de las salas de prevención de la transmisión aérea con ventilación natural.

4 Entendiendo la ventilación natural

4.1 Fuerzas motrices de la ventilación natural

Tres fuerzas pueden hacer que el aire se mueva dentro de los edificios:

- la presión del viento
- presión o efecto de “chimenea” (*stack* o tiro)
- las fuerzas mecánicas.

Las dos primeras fuerzas se explican a continuación. Las fuerzas naturales son el motor de la ventilación natural, mientras que los extractores mecánicos son el motor de la ventilación mecánica. Las fuerzas mecánicas se combinan con las fuerzas naturales en los sistemas de ventilación híbrida o mixta.

4.1.1 Presión del viento

Cuando el viento choca contra un edificio induce una presión positiva sobre la fachada de barlovento y una presión negativa sobre la fachada de sotavento. Esta diferencia de presión hace circular el aire desde las aberturas de barlovento a las de sotavento de baja presión (véase figura 4.1). Es posible calcular las presiones del aire para edificios sencillos. La circulación del aire alrededor de los edificios es compleja y es el tema de numerosos libros de texto, por ejemplo Aynsley, Melbourne y Vickery (1977) y Liu (1991).

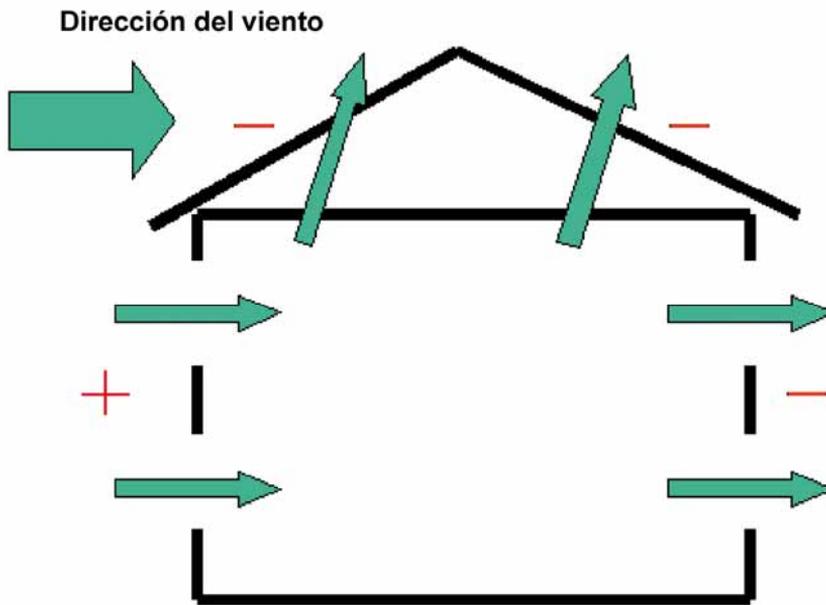


Figura 4.1 Direcciones del flujo de aire inducidas por el viento en un edificio

En caso de ventilación unilateral de las habitaciones, por otra parte, herméticamente cerradas, no hay contribución de las presiones medias del viento, sino solo de las fluctuaciones de presión (véase figura 4.2). Etheridge y Sandberg (1996) estudiaron con detalle estas fluctuaciones. Esta forma de ventilación es corriente; sin embargo, con el transcurso del tiempo, se producen fugas significativas alrededor de las puertas y otros puntos de acceso a la habitación. Debe recordarse que solo con que una ventana esté abierta puede que no se logren suficientes cambios de aire por hora (ACH).

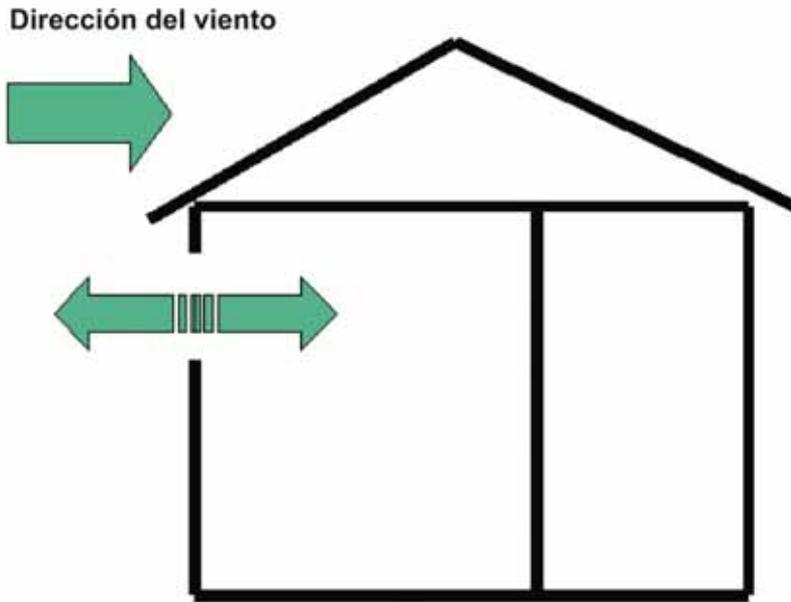


Figura 4.2 Ventilación unilateral generada por las fluctuaciones de presión

La presión ejercida por el viento sobre la superficie de un edificio se expresa como la diferencia entre la presión total ejercida sobre un punto y la presión atmosférica estática. Los datos de la presión del viento generalmente pueden obtenerse en los túneles de viento usando maquetas de los edificios. Si la forma del edificio, las condiciones circundantes y la dirección del viento son las mismas, la presión del viento será proporcional a la velocidad al cuadrado del viento en el exterior. Por lo tanto, la presión de viento se normaliza generalmente dividiéndola por la presión dinámica de la velocidad del viento exterior. La presión de viento normalizada se denomina coeficiente de presión del viento y se escribe como C_p . La velocidad del viento exterior se mide generalmente en el túnel de viento a la altura del alero del edificio:

$$C_p = \frac{P_T - P_{AS}}{\frac{1}{2} \rho V_H^2}$$

donde:

C_p = coeficiente de presión del viento (-)

P_T = presión total (Pa)

P_{AS} = presión atmosférica estática en el punto más alto del edificio (Pa)

ρ = densidad del aire (kg/m^3)

V_H = velocidad del viento, a distancia de las influencias circundantes, a la altura de la parte más elevada del edificio (m/s).

4.1.2 Presión de chimenea (*stack* o tiro)

La presión de chimenea (o tiro) es generada por las diferencias de temperatura o de humedad (a veces expresada como diferencia de densidad) entre el aire interior y el exterior. Esta diferencia produce un desequilibrio en los gradientes de presión de las columnas de aire interior y exterior, causando una diferencia de presión vertical.

Cuando el aire interior es más caliente que el aire exterior, el aire interior es menos denso y sube. El aire entra en el edificio por las aberturas inferiores y se escapa por las aberturas superiores.

La dirección del flujo se revierte, en cierta medida, cuando el aire interior es más frío que el aire exterior; el aire interior es más denso que el aire exterior. El aire entra en el edificio por las aberturas superiores y se escapa por las aberturas inferiores.

Los flujos generados por el efecto de chimenea (o tiro), en un edificio, dependen de las temperaturas interior y exterior. La tasa de ventilación a través de una chimenea depende del gradiente de presión entre las dos aberturas de la chimenea.

El gradiente de presión puede calcularse de la siguiente manera:

$$\Delta P_s = (\rho_o - \rho_i)gH = \rho_o gH \frac{T_i - T_o}{T_o}$$

donde:

P_s = presión de chimenea (o tiro) (Pa)

ρ_o = densidad del aire exterior (kg/m^3)

ρ_i = densidad del aire interior (kg/m^3)

g = aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)

H = altura entre dos aberturas (m)

T_i = temperatura del aire interior ($^\circ\text{K}$)

T_o = temperatura del aire exterior ($^\circ\text{K}$).

4.2 Índice de flujo de ventilación

Como norma general, la tasa de ventilación natural inducida por el viento a través de una habitación con dos aberturas opuestas (por ejemplo, una ventana y una puerta) puede calcularse de la siguiente manera:

$$\text{ACH} = \frac{0,65 \times \text{velocidad del viento (m/s)} \times \text{área de la abertura más pequeña (m}^2) \times 3600 \text{ s/h}}{\text{volumen del cuarto (m}^3)}$$

$$\text{Tasa de ventilación (l/s)} = \frac{0,65 \times \text{velocidad del viento (m/s)} \times \text{área de la abertura más pequeña (m}^2) \times 1.000 \text{ l/m}^3}{1.000 \text{ l/m}^3}$$

En el cuadro 4.1 se proporciona un cálculo del número de ACH y la tasa de ventilación debidos solo al viento, para una velocidad del viento de 1 m/s, suponiendo que el tamaño de la sala es 7 m (largo) \times 6 m (ancho) \times 3 m (alto), con una ventana de $1,5 \times 2 \text{ m}^2$ y una puerta de $1 \times 2 \text{ m}^2$ (la abertura más pequeña).

Cuadro 4.1 Cálculo del número de ACH y tasa de ventilación para una sala de 7 m \times 6 m \times 3 m

Aberturas	ACH	Tasa de ventilación (l/s)
Ventana abierta (100%) + puerta abierta	37	1300
Ventana abierta (50%) + puerta abierta	28	975
Ventana abierta (100%) + puerta cerrada	4,2	150

La velocidad del viento es el valor medido a la altura de la parte más elevada del edificio, en un sitio suficientemente alejado del edificio y sin ninguna obstrucción (por ejemplo, en un aeropuerto).

Para la ventilación natural por el efecto chimenea (o tiro), el número de ACH puede calcularse como sigue:

$$\text{Cambios de aire por hora (ACH)} = \frac{0,15 \times \text{área de la abertura más pequeña (m}^2\text{)} \times 3600 \text{ s/h} \times v}{(\text{temperatura interior} - \text{temperatura exterior (oK)}) \times \text{altura de tiro (m)}} \times \text{Volumen del cuarto (m}^3\text{)}$$

$$\text{Tasa de ventilación (l/s)} = \frac{0,15 \times 1.000 \text{ l/m}^3 \times \text{área de la abertura pequeña (m}^2\text{)} \times v}{(\text{temperatura interior} - \text{temperatura exterior (oK)}) \times \text{altura tiro (m)}}$$

Existen instrumentos de diseño avanzado para el análisis de la ventilación y el cálculo del tamaño de las aberturas (CIBSE, 2005).

4.3 Resumen

Antes de diseñar un sistema de ventilación totalmente natural, hace falta entender las principales fuerzas motrices de la ventilación natural: la presión del viento y el tiro (*stack*). Estas fuerzas controlan la entrada del aire y su desplazamiento dentro del edificio, y pueden combinarse, según convenga, para diseñar un sistema óptimo de ventilación natural.

5 Diseño y funcionamiento

5.1 Diseño de los sistemas de ventilación natural y de ventilación híbrida

En esta sección se describen las principales categorías de ventilación natural y de ventilación híbrida (mixta).

5.1.1 Sistemas de ventilación natural

Según se ha definido, la ventilación natural consiste en usar fuerzas naturales para introducir y distribuir el aire exterior en un edificio o hacerlo salir de este. Estas fuerzas naturales son la presión del viento o la presión resultante de la diferencia de densidad entre el aire interior y exterior.

Hay cuatro métodos de diseño de los sistemas de ventilación natural:

- *flujo cruzado* (sin pasillo): es el sistema de ventilación natural más sencillo, sin obstáculos entre la entrada y la salida del viento dominante (es decir, ventanas de tamaño y forma similar abiertas en fachadas opuestas del edificio);
- *torre de viento* (sistema de captación/extracción): el lado de presión positiva de la torre de viento actúa como un captador de aire y el lado de presión negativa de la torre como un extractor;
- *chimenea (stack o tiro)*, extracción simple: chimenea vertical que parte de cada cuarto, sin interconexión alguna, y sale por el techo; este sistema permite un movimiento del aire basado en los gradientes de densidad; y
- *chimenea (stack o tiro)*, atrio solar: chimenea grande que se calienta por la radiación solar e induce el movimiento del aire debido a los gradientes de densidad (temperatura); sin la radiación solar, el atrio solo proporciona una ventilación mínima.

5.1.2 Sistemas de ventilación híbrida (mixta)

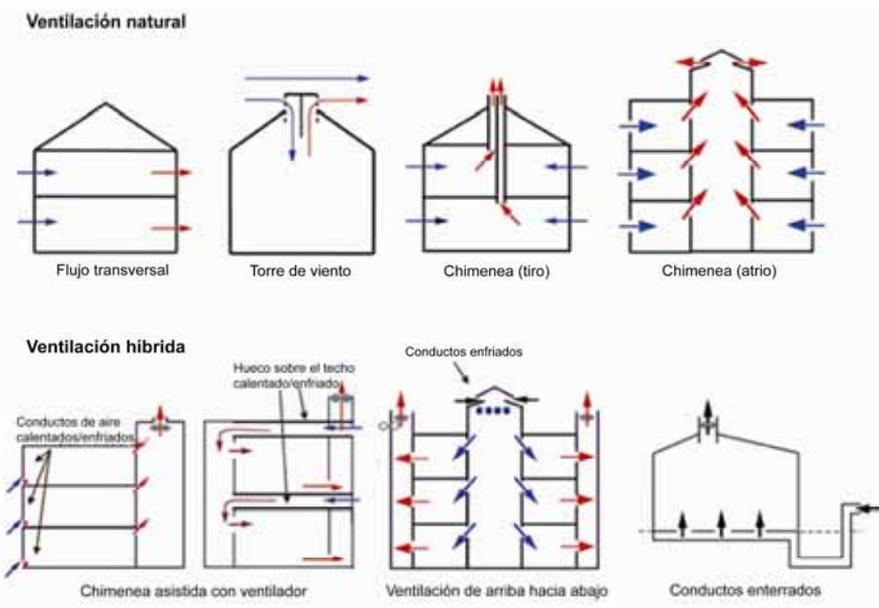
Según se ha definido, la ventilación híbrida (mixta) depende de fuerzas motrices naturales para proporcionar la velocidad de flujo deseada (objetivos de diseño). Utiliza la ventilación mecánica cuando la velocidad de flujo es inferior al necesario para producir una ventilación natural.

Hay tres métodos de diseño de los sistemas de ventilación híbrida.

- *Chimenea asistida con ventilador*: cuando la radiación solar es insuficiente sobre la chimenea (noches y días de mal tiempo) la tasa de ventilación se aumenta con los ventiladores de extracción. El aire que entra se calienta o se enfría para mantener el confort de los ocupantes.

- *Ventilación de arriba hacia abajo o descendente* (chimenea asistida con ventilador más torre de viento): cuando la radiación solar es insuficiente sobre la chimenea (noches y días de mal tiempo) la tasa de extracción se complementa con ventiladores de extracción y la tasa de admisión se complementa con la torre de viento (dispositivo de captación). El aire que entra se calienta o se enfría para mantener el confort de los ocupantes.
- *Tubos enterrados*: cuando el terreno es suficientemente grande, los tubos de ventilación (conductos) enterrados calentarán o enfriarán el aire exterior, este debe permanecer el tiempo suficiente para que la temperatura se acerque a la temperatura constante subterránea. Este sistema no es ideal para tasas de ventilación elevadas.

Figura 5.1 Ilustra los diferentes sistemas de ventilación natural e híbrida.



Fuente: Cortesía del profesor Martin Liddament, VEETECH, Coventry, Reino Unido.

Figura 5.1 Diferentes sistemas de ventilación natural e híbrida

5.2 Conceptos básicos de diseño de la ventilación natural

El proceso de diseño de un edificio ventilado naturalmente con el fin de controlar las infecciones incluye tres pasos básicos, descritos con más detalle en la sección 5.4.

1. Especificación del patrón de flujo de aire deseado, desde las aberturas de entrada a las aberturas de salida.
2. Identificación de las principales fuerzas motrices para obtener el patrón de flujo de aire deseado.
3. Determinación de las dimensiones y ubicación de las aberturas para poder conseguir las tasas de ventilación necesarias en cualquier régimen de funcionamiento.

El procedimiento adoptado para la ventilación natural comienza generalmente con el diseño arquitectónico, la maquetación del sistema y selección de los componentes, el dimensionamiento de los orificios y la estrategia de regulación. El procedimiento concluye con la realización de un esquema detallado del sistema.

La adaptación de un edificio existente o el diseño de un edificio nuevo con la intención de utilizar la ventilación natural para el control de las infecciones de transmisión aérea, idealmente, incluirá la presencia de habitaciones de aislamiento individuales con ventanas que puedan abrirse y baño contiguo. Sin embargo, cuando los recursos son escasos, el número de estas habitaciones de aislamiento tendrá que reducirse y habrá que proporcionar soluciones de aislamiento colectivo de apoyo cuando sea necesario (por ejemplo, tiendas de aislamiento instaladas en el exterior y abiertas al viento).

Es necesario encontrar soluciones técnicas eficaces adaptadas y diseños arquitectónicos innovadores para potenciar al máximo el uso de la ventilación natural en las diversas condiciones climáticas de las distintas partes del mundo.

A diferencia de otro tipo de edificios, cuando se aprovecha la dirección y la velocidad media del viento dominante en el diseño de la ventilación natural para el control de las infecciones, se considerará la peor situación, o sea, cuando no hay viento y cuando pueda necesitarse ventilación mecánica de apoyo.

5.3 Consideraciones climáticas y de otro tipo en el diseño de la ventilación

Varios factores deben tenerse en cuenta en el diseño de un edificio con un uso eficiente de la ventilación natural para el control de las infecciones.

Se necesitan tasas de renovación de aire elevadas cuando el control de las infecciones es el objetivo principal del diseño del edificio. Debe tenerse en cuenta la

repercusión de una tasa de renovación del aire elevada sobre las condiciones ambientales de conjunto en el interior del edificio; en particular en lo que se refiere al confort térmico, la calidad del aire en el interior del edificio y la seguridad en caso de incendio. Otros factores ambientales que pueden ser desfavorables, como el ruido y la contaminación del aire, y sus repercusiones sobre la calidad del ambiente interior también tienen que evaluarse antes de iniciar el diseño del edificio. En los climas fríos, la necesidad de calefacción puede ser difícil de conciliar con la elevada tasa de renovación de aire que se necesita para el control de las infecciones. En las estaciones transitorias de climas cálidos y húmedos, la condensación de la humedad en el interior de las habitaciones puede humedecer las camas y suelos, provocar que los techos rezumen y favorecer el crecimiento de mohos y de mildiu, creando así condiciones desagradables e insalubres. Por otro lado, las aberturas grandes en la envolvente del edificio facilitan la entrada de insectos, animales y otros intrusos no deseados, y también pueden causar problemas en la seguridad y control de las enfermedades infecciosas transmitidas por vectores.

5.3.1 Mantenimiento del confort térmico

En los climas templados y cálidos, cuando la calidad del aire ambiente es buena, una tasa de ventilación elevada es necesaria tanto para el confort térmico como para la calidad del aire interior. Sin embargo, esto no es válido para los climas fríos donde la infiltración del aire exterior debe reducirse todo lo posible para garantizar el confort térmico. Cuando la temperatura del aire ambiente permanece por encima de los 30 °C, las condiciones térmicas en una habitación con ventilación natural pueden hacerse insoportables. Por consiguiente, a un edificio ventilado naturalmente hay que dedicarle más atención al diseño arquitectónico y de la envolvente para conseguir un confort térmico interior aceptable que a un edificio con ventilación mecánica. Para esto es importante elegir bien las ventanas, la creación de sombra exterior adecuada, el aislamiento de la envolvente y las propiedades de absorción solar y radiación térmica de los materiales de la fachada. El arquitecto también debe saber que los planos definitivos resultarán del compromiso entre las necesidades forzosamente contradictorias de los veranos calientes y los inviernos fríos. Las herramientas de simulación del desempeño térmico pueden ayudar a la evaluación cuantitativa y la comparación de las diferentes opciones de diseño. Una explicación más detallada de las opciones técnicas y los métodos de simulación se encuentra en los documentos de la ASHRAE (2009).

5.3.2 Consideraciones para los veranos calurosos

Características de diseño arquitectónico

Cuando la superficie del terreno es suficiente, el uso activo de la radiación terrestre ascendente reducirá enormemente la temperatura radiante efectiva. Un diseño arquitectónico semiabierto es preferible para dejar que se produzca la radiación terrestre ascendente de gran longitud de onda. La semiabertura debe estar situada en

el lado umbrío del edificio para evitar la irradiación solar directa, este es el principio del parasol (véase la figura 5.2).

El aporte de calor solar debe reducirse al mínimo utilizando sistemas de sombra externa adecuados o sistemas más complejos como las cortinas de cristal. Puede usarse el efecto de tiro producido por el calor solar para dirigir el flujo de aire caliente a la parte más alta del edificio, lo que supone por otro lado la ventaja de coincidir con el patrón de circulación del aire buscado para el control de las infecciones.

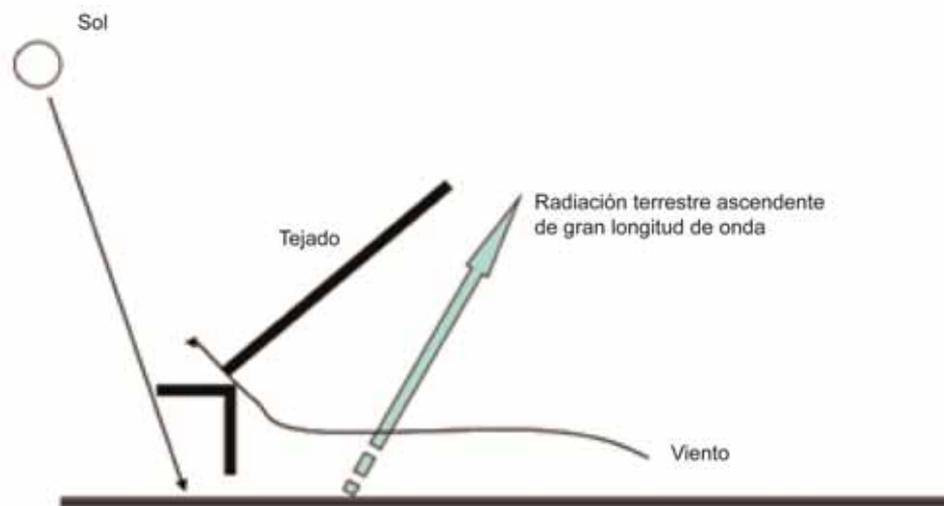


Figura 5.2 Diseño semiabierto que permite que la radiación terrestre ascendente mejore enormemente el bienestar térmico en veranos calientes

Refrigeración mecánica de bajo costo energético

Una tasa elevada de renovación de aire quizá sea favorable para el confort térmico en tiempo frío; sin embargo, puede resultar incómodo en días con calor húmedo y sin viento. Cuando el viento es débil, la renovación de aire provocada por el tiro puede que no genere suficiente movimiento del aire en el interior del edificio.

Refrigeración con ventiladores mecánicos

Además de los sistemas de ventilación híbrida (mixta), los ventiladores eléctricos pueden mejorar el movimiento del aire, aunque la creación de una “brisa” artificial no aumenta necesariamente la tasa de renovación de aire.

La ASHRAE (2009) proporciona guías de diseño que usan el conocido modelo PMV (voto medio previsto), que tiene en cuenta la temperatura del aire, la temperatura radiante, la velocidad del aire, la vestimenta y el grado de actividad de

las personas. Los diseñadores pueden usar el modelo PMV para calcular el aumento de la velocidad del aire requerida cuando hace calor. Cuando la temperatura está por debajo de los 30 °C, puede lograrse un bienestar térmico aceptable aumentando la velocidad del aire (Xia *et al.*, 2000). Las temperaturas superiores a los 30 °C causarán inevitablemente un estrés térmico en los ocupantes del edificio.

Hay que utilizar ventiladores con velocidad regulable y las personas deben poder ajustar la velocidad del ventilador según les convenga. El uso de estos ventiladores reduce enormemente el consumo de energía, en comparación con el aire acondicionado.

En los días más calurosos, cuando la temperatura del aire está por encima de los 30 °C, el uso de ventiladores puede que no sea suficiente para mantener el edificio bastante fresco para los ocupantes. En esos casos, puede usarse un método de enfriamiento por evaporación de bajo costo y particularmente útil cuando la tasa de renovación de aire es elevada. Esta estrategia también es de costo relativamente bajo, comparado con un sistema de aire acondicionado (Zhang *et al.*, 2000).

5.3.3 Consideraciones para el invierno

En inviernos fríos, una tasa de renovación de aire elevada no es deseable para el confort térmico, sobre todo teniendo en cuenta que las ventanas deben estar cerradas para mantener el calor. Aún disponiendo de la calefacción normal, los efectos pueden ser insignificantes con una tasa de renovación de aire elevada y el rendimiento de los recursos energéticos puede ser bajo. Por consiguiente, las estrategias de calefacción deben planificarse prestando mucha atención a todo esto. La envolvente del edificio debe diseñarse de forma que capte el calor solar y reduzca al mínimo las pérdidas por conducción a través de los muros. Por otro lado, el aislamiento adecuado de muros y paredes y el uso de doble vidrio son aconsejables. Para los climas extremadamente fríos, debe realizarse una evaluación rigurosa usando técnicas de simulación, con objeto de poder cuantificar el grado de frío. De esta forma se podrá determinar si puede adoptarse la estrategia de ventilación natural para las condiciones climáticas que se están considerando.

Cuando se plantean estrategias activas de calefacción, los métodos de calefacción radiante dirigida o calefacción directa son más eficaces y se prefieren por dos razones. En primer lugar, debido a los efectos de tiro, el aire caliente de los radiadores de convección clásicos tiende a acumularse en la parte superior del recinto calentado. En segundo lugar, cuando la tasa de renovación de aire es elevada, la pérdida de calor es extraordinaria. Los radiadores eléctricos radiantes modernos que están en el mercado son preferibles a los otros tipos de radiadores eléctricos corrientemente usados.

También hay colchones calentados eléctricamente, que consumen entre 50 y 100 vatios. Estos resultan eficaces para los pacientes encamados, que pueden así tolerar temperaturas mucho más bajas debidas a una tasa de renovación de aire elevada.

Además, ayudan a evitar el consumo excesivo de energía de los métodos clásicos de calefacción interior.

5.3.4 Mantener una calidad saludable en el aire interior

Con una tasa de renovación de aire elevada, la calidad del aire interior será parecida a la del exterior. La ventaja es que la calidad del aire interior tendrá menor probabilidad de estar alterada por los contaminantes generalmente presentes en el interior de los edificios, como los que emanan de los materiales de construcción utilizados corrientemente.

5.3.5 Manejo de los problemas de la contaminación ambiental

Debido a la entrada de gran cantidad de aire exterior no tratado, la calidad del aire interior estará más afectada por la contaminación ambiental (Weschler y Shields, 2000; Ghiaus *et al.*, 2005).

En las regiones con problemas graves de contaminación ambiental, la ubicación de un hospital de enfermedades infecciosas debe elegirse cuidadosamente. Un diseño de ventilación híbrida (mixta) es a veces la única opción, ya que la abertura de las ventanas expondría a los ocupantes a una concentración elevada de contaminantes.

5.3.6 Ruido exterior

Según se señala en la CIBSE (2005) (sociedad británica de ingenieros de mantenimiento de edificios), la presencia de fuentes de ruido es uno de los principales inconvenientes de usar la ventilación natural. Estas guías recomiendan dos soluciones: una es colocar las bocas de admisión de aire en los laterales del edificio lejos de las principales fuentes de ruido; la otra es integrar deflectores acústicos en las bocas de admisión de aire. Sin embargo, esta segunda solución reducirá la tasa de renovación de aire y es por consiguiente mejor combinar una ventilación híbrida (mixta), para que un ventilador mecánico evite la pérdida de presión en este tipo de respiraderos.

5.3.7 Selección de materiales de construcción poco contaminantes para interiores

Los contaminantes emitidos por los materiales de construcción utilizados en el interior de los edificios se han estudiado durante años (Levin, 1989; Li y Niu, 2007). Los arquitectos y contratistas deben conocer las normas y los reglamentos sobre los materiales de construcción para interiores. Los materiales con potencial para liberar contaminantes que irriten las vías respiratorias, en particular, deben evitarse.

5.3.8 Humedad y crecimiento de mohos

Diversos factores pueden dar lugar a la condensación sobre los techos, las paredes, los suelos y las camas de los pacientes. Por ejemplo, en los edificios con una estructura pesada y ventilación natural, un cambio brusco de tiempo con una atmósfera exterior caliente y húmeda puede inducir fenómenos de condensación si la temperatura de las superficies es más baja que el punto de rocío del aire entrante cargado de humedad (Niu, 2001). Se puede producir falta de confort y molestias durante el período de condensación, pero también pueden crecer mohos, que constituyen un riesgo para la salud.

Cuando se diseñan edificios con ventilación natural para un clima caluroso y húmedo, debe optarse por muros de material liviano y con aislamiento. La temperatura de superficie de una construcción liviana o de un muro con aislamiento interno responderá rápidamente a los cambios de temperatura del aire, lo que limita el aumento de la humedad relativa en la superficie interna cuando el aire súbitamente caliente y húmedo entra en contacto con el muro (por ejemplo, durante un cambio de tiempo en la primavera).

En el caso de los edificios existentes que tienen muros de hormigón o de mampostería, varias estrategias de modernización, mantenimiento y funcionamiento pueden necesitarse si se piensa adoptar una ventilación natural. La primera opción consiste en un tratamiento de las superficies internas, que puede ser a corto o a largo plazo.

5.3.9 Seguridad y propagación de enfermedades transmitidas por vectores

Las aberturas grandes y sin protección en los edificios con ventilación natural aumentan el riesgo de intrusión y de propagación de enfermedades de transmisión vectorial. Las ventanas con barrotes y mosquiteras semitransparentes diseñadas a medida pueden prevenir estos riesgos.

5.3.10 Consideraciones para edificios altos

Es deseable que la ubicación de las salas de aislamiento respiratorio esté en los pisos superiores de los edificios altos para reducir todo lo posible el riesgo de reintroducción del aire extraído en los pisos vecinos. Esta reintroducción resulta del efecto de tiro, ya que el aire extraído de las salas está normalmente caliente y tiende a fluir hacia arriba (Wehrle *et al.*, 1970).

5.3.11 Seguridad contra incendios

El diseño de un edificio con aberturas que comunican las habitaciones puede ser un inconveniente para la seguridad contra incendios y la protección frente a los humos. Los edificios con ventilación natural pueden también zonificarse para responder a las exigencias de compartimentalización ligadas al control de los humos. Las

aberturas de ventilación pueden también tener que cerrarse en caso de incendio. Las vías de evacuación en caso de incendio también necesitan una atención especial, ya que el diseño de la ventilación natural también repercute sobre el patrón de flujo de humo.

5.4 Diseño de los sistemas de ventilación natural e híbrida

El proceso de diseño de un edificio ventilado naturalmente para el control de las infecciones incluye tres etapas básicas.

1. Especificar el patrón de flujo de aire deseado desde los orificios de entrada hasta los de salida, pasando por las habitaciones y otros recintos del hospital como los pasillos. Esta etapa está asociada a la forma del edificio (pasillo lateral, pasillo central, patio, etc.) y su organización (ubicación respectiva de los servicios de enfermería, despachos, almacenes, etc.), que a su vez depende del uso previsto del edificio y las condiciones del sitio (vientos predominantes, por ejemplo).
2. Identificar las principales fuerzas motrices que permiten lograr el patrón de flujo de aire deseado. Las estrategias eficaces para el control de las infecciones tienden a reposar principalmente en la fuerza del viento, aunque la estrategia fundada en el efecto de tiro también puede funcionar si se diseña adecuadamente. Una combinación de los efectos del viento y de tiro debe tenerse en cuenta cuando sea necesario y factible. En algunos casos, puede usarse la ventilación híbrida (mixta) en la que los ventiladores complementan las fuerzas naturales. En un buen diseño, las fuerzas motrices dominantes están en sinergia con el patrón de flujo propuesto.
3. Determinar las dimensiones y ubicación de las aberturas de forma que las tasas de ventilación necesarias puedan conseguirse con todos los regímenes de funcionamiento. Este proceso conlleva tres pasos. El primero consiste en determinar las tasas de ventilación en función de las exigencias del control de las infecciones de acuerdo con lo especificado en primera parte de este documento. El segundo, en determinar el tamaño y la ubicación de las aberturas para obtener estas tasas de flujo de aire en las condiciones proyectadas. El último, en diseñar un sistema de regulación que permita mantener las tasas de flujo necesarias en condiciones variables de tiempo y de ocupación.

El procedimiento general para el diseño de la ventilación natural incluye varios aspectos.

- *Diseño arquitectónico*: los arquitectos e ingenieros deben fijar al inicio la configuración geométrica general del sistema (por ejemplo, situación del edificio y configuración paisajística, forma del edificio y situación aproximada de las entradas y salidas de aire), teniendo en cuenta los vientos dominantes y el régimen de los vientos, así como las variaciones diarias y estacionales.
- *Disposición del sistema y selección de los componentes*: el diseñador trazará después la canalización del aire desde la entrada a la salida, que garantizará la

circulación del aire requerida (por ejemplo, para el control de las infecciones y el bienestar térmico) y luego seleccionará los tipos de componentes de flujo de aire (por ejemplo, ventanas, puertas, respiraderos, chimeneas solares) que permitirán regular el flujo de aire.

- *Dimensionamiento de las aberturas (puertas, ventanas, respiraderos, etc.):* el diseñador fijará luego las dimensiones de los componentes seleccionados teniendo en cuenta los requisitos de ventilación y las condiciones climáticas. Debe considerar las exigencias (o criterios) de diseño interiores y también exteriores.
- *Estrategia de regulación:* el diseñador debe elaborar luego una estrategia de regulación que permita ajustar los flujos de ventilación a los objetivos de diseño cuando varían las condiciones de funcionamiento. En esta etapa, puede ser necesario recurrir a soluciones de regulación de equipos materiales y de software, si se usa una estrategia de ventilación natural de alta tecnología.
- *Planos de diseño detallados:* por último, el diseñador debe realizar planos detallados que permitan la construcción del sistema.

5.4.1 Medición de los conductos de ventilación

El dimensionamiento de los conductos de ventilación consiste en calcular el área de las aberturas para obtener el flujo de ventilación requerido, a partir de los datos relativos a la forma geométrica, el clima y otros elementos de diseño del edificio. El dimensionamiento de las aberturas depende también de su distribución, que es parte de la estrategia de ventilación.

Hay dos métodos para calcular el tamaño que deben tener los conductos.

- *Métodos directos:* se aplican a los edificios sencillos en los que el flujo de ventilación es una función simple de los parámetros del sistema. Allard (1998) trató cinco de estos métodos.
- *Métodos indirectos:* recurren a la modelización para probar diferentes combinaciones de tamaños de abertura e identificar la mejor. Un método de diseño prometedor es el basado en las ecuaciones de presión de los “bucles” de ventilación, propuesto por Axley (1998).

Una vez calculado el flujo de ventilación necesario en cada zona de un edificio, estos métodos pueden usarse para diseñar las principales canalizaciones del aire y calcular el tamaño de las aberturas de ventilación que cumplan los requisitos de ventilación en cada zona. Cuando se diseñan edificios de grandes dimensiones, tal vez haya que estudiar diferentes opciones de diseño, comparando la ventilación natural con la mecánica, etc.

Cuando un edificio está diseñado y funciona con una configuración dada de aberturas y de circulación del aire, el flujo de ventilación será determinado principalmente por las fuerzas motrices naturales que existan. En la etapa de diseño,

es importante aprovechar los vientos predominantes y optimizar y regular las fuerzas de tiro (efecto de chimenea) que se ejercen en el edificio. Esto puede hacerse definiendo con mucha atención la ubicación y el tamaño de las aberturas o mediante el uso innovador de dispositivos para aumentar las fuerzas naturales, como las torres de viento o las chimeneas solares.

Aumento transitorio del flujo de ventilación

Una de las ventajas de la ventilación natural es que permite planificar una tasa de ventilación transitoria mucho mayor que la tasa de ventilación mínima especificada en la primera parte de este documento. Cuando la temperatura exterior es agradable y el aire está limpio, resulta eficaz permitir la entrada de más aire exterior en el edificio. En algunos climas y edificios, una tasa de ventilación elevada también puede usarse para refrescar el ambiente en verano. Una elevación de la tasa de ventilación transitoria puede asimismo ser necesaria cuando hay obras de renovación en el edificio, que generan gran cantidad de contaminantes ambientales.

5.4.2 Tres elementos principales en el diseño de la ventilación natural

El diseño de la ventilación natural requiere algo más que el cálculo de los tamaños de respiraderos y ventanas. Exige también un diseño innovador y prestar atención a los detalles. Priolo (1998) presentó una guía integral de diseño de la ventilación natural. Se ofrece aquí una visión panorámica breve de tres aspectos esenciales que intervienen en el proceso de diseño de la ventilación natural:

- *diseño de obra*: ubicación del edificio, disposición del lugar, orientación de edificio, ordenación paisajística;
- *diseño del edificio*: tipo, función y forma del edificio, envolvente, estrategia de ventilación natural, distribución interna de espacios y funciones, masa térmica, calefacción, ventilación y aire acondicionado si existe; y
- *diseño de los conductos de ventilación*: situación, tipos y dimensiones de los conductos y estrategia de regulación.

Diseño de obra

El diseño de obra incluye la integración del edificio en el entorno topográfico y los edificios circundantes. En algunos casos, pueden permitirse cambios menores en el sitio, respetando los límites medioambientales y de protección de la vida silvestre.

Para la ventilación natural, es mejor usar los patrones de flujo de aire naturales del lugar con el fin de aumentar el potencial de la ventilación natural.

- Si el edificio necesita refrigeración en verano y una ventilación mínima en invierno, se estudiará la dirección de los vientos dominantes en verano e invierno y se ubicará el edificio de forma que reciba más aire en verano y esté protegido del viento en invierno.

- Cuando varios edificios están contruidos en el mismo lugar, habrá que asegurarse de que cada uno de los edificios esté expuesto al viento en verano, pero no a los vientos fríos de los crudos inviernos.

Se ha visto en la sección 4.1 que el viento ejerce una presión positiva sobre las aberturas de barlovento y una presión negativa sobre las aberturas de sotavento. La forma y la orientación del edificio deben dar lugar a un aumento de la presión negativa como consecuencia del paso de los flujos de aire. Aynsley, Melbourne y Vickery (1977) proporcionan una explicación útil de los efectos del paso del viento según la forma de los edificios.

La vegetación también afecta al movimiento del aire alrededor de un edificio, abrigándolo del viento o teniendo un efecto de refracción, de encauzamiento y de aceleración del aire. La calidad del aire y su comportamiento también se modifican cuando atraviesa una masa de vegetación (por ejemplo, árboles).

Diseño del edificio

Para los edificios sencillos, seguir los consejos de Priolo (1998) sobre el diseño de tejados, la razón largo/ancho y el uso de aleros, muros anti-viento y espacios encastrados. Para los edificios grandes y complejos, usar la dinámica de fluidos por simulación computacional (por ejemplo, Fluent, 2003) para investigar diversas opciones de diseño y mejorar las posibilidades de la ventilación natural, evitando las corrientes de aire frío. Preocuparse por el bienestar de los viandantes de fuera del edificio.

La distribución del espacio interno también es importante. Por ejemplo, los espacios relativamente “sucios” deben estar ubicados a sotavento para evitar el reflujos de aire y olores contaminados a las otras partes del edificio. Las ventanas grandes en los otros espacios habitados de barlovento, como las habitaciones de los pacientes, pueden crear un efecto de embudo que favorezca la entrada de aire. Por otro lado, los compartimentos y muebles interiores no deben bloquear el flujo de aire.

Para el control de las infecciones, es mejor que las salas de prevención estén dispuestas en una sola hilera que en dos separadas por un pasillo central, desde el punto de vista de la ventilación natural y la luz del día. Los grandes espacios abiertos siempre deben tener ventanas grandes en paredes opuestas. Si los cuartos están dispuestos alrededor de un pasillo central, la ventilación natural puede mejorarse combinando la ventilación cruzada con el efecto de chimenea (o tiro) mediante los conductos de ventilación dispuestos en el pasillo o mediante los huecos en los edificios de varios pisos.

Para los hospitales con varios pisos, los huecos de la escalera y otros tiros pueden funcionar como sistemas de extracción para evitar que el aire caliente entre en los apartamentos o despachos de los pisos superiores. Las bocas de salida de los tiros

deben estar ubicadas en la fachada de sotavento, por encima del último piso, y las bocas de entrada en la fachada de barlovento del edificio.

En la medida en que la profundidad de penetración de la ventilación natural debida al viento está restringida, la anchura del edificio es limitada (CIBSE, 2005). Sin embargo, el uso de torres de viento permite la construcción de edificios más profundos.

Diseño de los conductos de ventilación

En cualquier diseño, el área del conducto más pequeño (cuello de botella) determina el índice de flujo de ventilación natural. Las dimensiones de los conductos de entrada y de salida deben ser iguales o similares para que el flujo de aire sea lo más elevado posible.

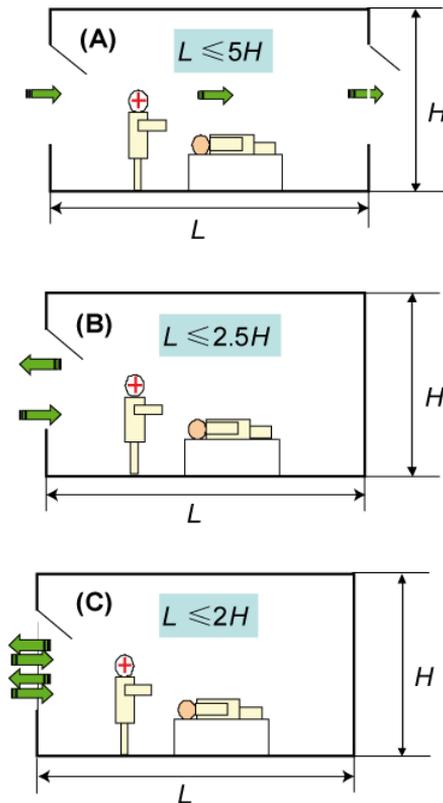
La situación de las aberturas debe estudiarse con atención, debido a las interacciones posibles entre la ventilación cruzada y por chimenea (o tiro), el refrescamiento de las personas y el enfriamiento de las masas térmicas, etc.

También es importante elegir y diseñar adecuadamente aberturas como las ventanas, las mamparas, las rejillas de ventilación, las chimeneas solares y las chimeneas pasivas. El dimensionamiento adecuado puede hacerse usando los métodos tratados antes.

Otros aspectos que también deben considerarse son:

- *Muebles y compartimentación interna:* los conductos de ventilación no deben estar bloqueados, la disposición de los muebles y la compartimentación interna no deben ser un obstáculo para la canalización prevista del aire ni bloquear el acceso a las aberturas.
- *Profundidad de las habitaciones:* a diferencia de los edificios con ventilación mecánica, los edificios con ventilación natural deben ser poco profundos para que las corrientes de aire natural penetren hasta el fondo del edificio. Las reglas generales para determinar la profundidad de las habitaciones se encuentran en CIBSE (2005) (véase figura 5.3).
- *Sombra:* pueden usarse estores, aleros y proyecciones (ventanas profundas retiradas). La sombra creada por el propio edificio o por elementos distantes (por ejemplo, por otro edificio o árboles) también puede ser eficaz si se tiene en cuenta adecuadamente. Se dará preferencia a los estores exteriores retractables.
- *Luz del día y protección frente al deslumbramiento:* las ventanas pueden tener algún tipo de pantalla para evitar la luz solar directa. La forma y la posición de los huecos de las ventanas son también importantes. El color y el acabado de las superficies también deben elegirse adecuadamente para obtener una buena iluminación y evitar el deslumbramiento.

- *Calefacción y entradas de aire frío:* cuando el tiempo es algo frío, puede usarse la calefacción en determinados puntos para proporcionar confort térmico. Sin embargo, debe tenerse cuidado porque si se crea una diferencia muy grande entre la temperatura del aire interior y exterior, puede, a su vez, aumentar la fuerza de tiro. La ventilación natural quizá no sea una buena solución cuando el tiempo es muy frío.
- *Refrigeración:* cuando el tiempo es cálido y húmedo, pueden usarse sistemas de refrigeración localizados o personalizados (por ejemplo, ventiladores de techo o ventiladores de escritorio).
- *Ruido y acústica:* el ruido externo puede evitarse ubicando las ventanas y otras aberturas de ventilación lejos de las principales fuentes de ruido. Los tabiques absorbentes, los techos aislantes, etc., también pueden usarse para disminuir el ruido.
- *Seguridad contra incendios:* el diseño de un edificio con aberturas que conectan las habitaciones puede ir en contra de las exigencias de seguridad en caso de incendio y de control de los humos. Puede ser necesario tener que cerrar los orificios de ventilación en caso de incendio. De todas formas, los edificios ventilados naturalmente pueden diseñarse de manera que cumplan los requisitos de compartimentalización anti-humos. Las salidas de emergencia en caso de incendio necesitan una atención especial, ya que el diseño de la ventilación natural también repercute sobre el patrón de flujo de los humos.
- *Seguridad:* la abertura de las ventanas puede conllevar un riesgo para la seguridad de las personas, en particular en las plantas bajas.



A) Ventilación cruzada. B) Ventilación unilateral impulsada solo por las fuerzas de tiro (es decir, ventilación de tipo chimenea (o tiro), ineficaz para el control de las infecciones de transmisión aérea). C) Ventilación unilateral (ineficaz para el control de las infecciones de transmisión aérea).

Figura 5.3 Reglas generales sobre la profundidad de las habitaciones para tres estrategias diferentes de ventilación

5.5 Tipos de sistemas de ventilación natural

Los sistemas de ventilación natural se clasifican según los elementos principales de diseño arquitectónico (pasillos, patios, torres de viento, chimeneas, etc.). Estos elementos definen la canalización del flujo de aire, así como la estrategia de base de la ventilación natural.

Hay seis grandes tipos de sistemas de ventilación natural:

- pasillo lateral
- pasillo central
- patio
- torre de viento

- atrio y chimenea
- ventilación híbrida (mixta).

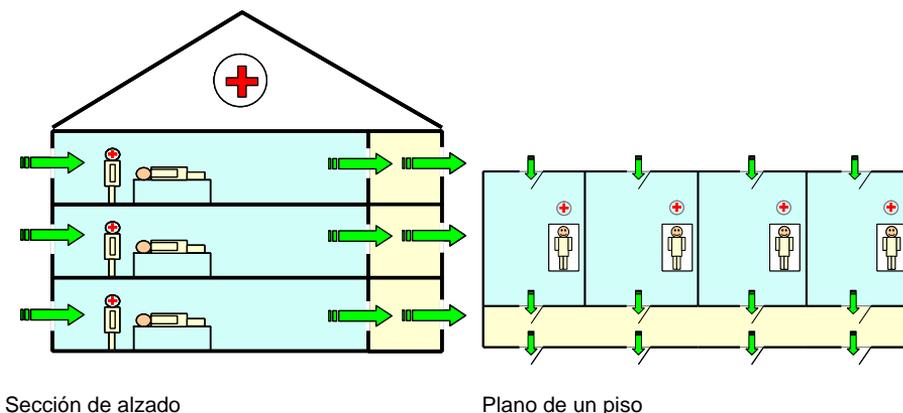
Estos sistemas se describen a continuación. Es posible combinar algunos de estos sistemas para adaptarse al clima del lugar y a las necesidades concretas del hospital. En los anexos F a I se describen los sistemas de ventilación natural usados en cuatro hospitales en diferentes países.

En estas guías se tratan solo los sistemas de ventilación natural sencilla, pero los diseñadores tendrán que considerar otros aspectos (por ejemplo, la regulación) cuando diseñen soluciones de ventilación natural de alta tecnología.

5.5.1 Pasillo lateral

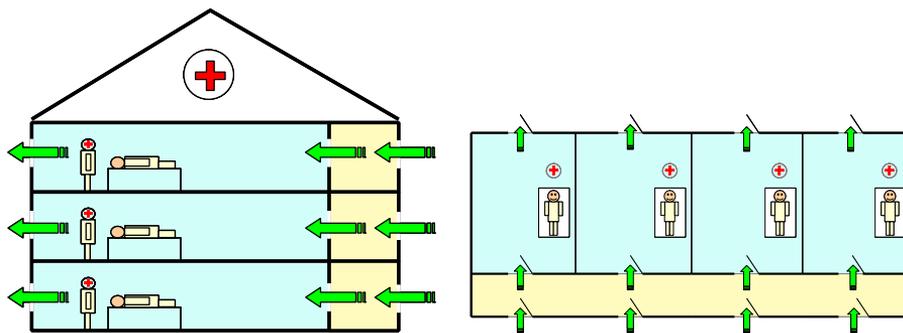
En el sistema de ventilación natural de tipo pasillo lateral, el pasillo va a lo largo de las habitaciones en un lado del edificio (véanse las figuras 5.4 y 5.5). El flujo de aire es unidireccional, de las habitaciones al pasillo o del pasillo a las habitaciones, según la incidencia del viento. Este flujo unidireccional puede prevenir las infecciones nosocomiales. El diseño de las ventanas es crucial para este tipo de configuración: es preferible que la ventana y la puerta de la habitación estén frente a frente para crear un flujo de aire cruzado (Allard, 1998).

Se atribuye a F. Beer el diseño del primer hospital con pasillo lateral, en el que todas las habitaciones estaban dispuestas a lo largo de pasarelas internas. Este hospital, construido en Berna entre 1718 y 1724, fue el primero de este tipo.



Nota: Este dibujo esquemático debe usarse con precaución, teniendo en cuenta las limitaciones específicas de cada caso.

Figura 5.4 Ventilación natural impulsada por el viento en un hospital de pasillo lateral en el que el viento entra por las habitaciones



Sección de alzado

Plano de un piso

Nota: Este dibujo esquemático debe usarse con precaución, teniendo en cuenta las limitaciones específicas de cada caso.

Figura 5.5 Ventilación natural impulsada por el viento en un hospital de tipo pasillo lateral en el que el viento entra por el pasillo

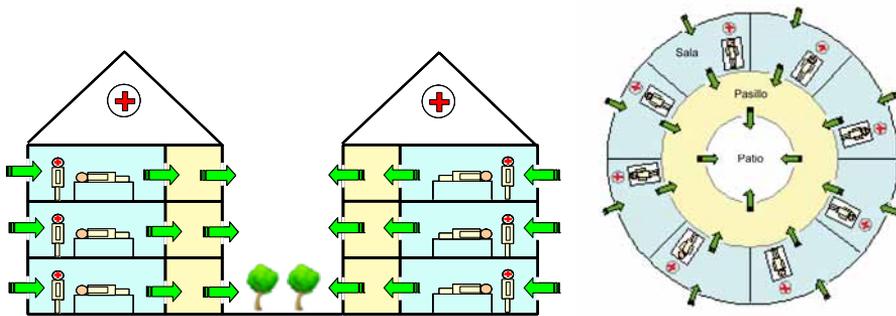
5.5.2 Pasillo central

El sistema de ventilación natural de tipo pasillo central se deriva del sistema de pasillo lateral al que se le ha agregado una fila de habitaciones al otro lado del pasillo. El aire fluye de una habitación al pasillo y luego a la habitación opuesta. Cuando el viento sopla paralelamente a las ventanas, añadir un muro en ala ayuda a que el aire exterior entre en las habitaciones primero y salga por el pasillo central. El tipo de distribución con pasillo central podría dar lugar al paso de aire potencialmente contaminado de las habitaciones expuestas al viento a las que están protegidas. Por ahora, las presentes guías no recomiendan este tipo de diseño.

5.5.3 Patio

Los patios son zonas tradicionalmente cerradas que pueden ayudar a canalizar y a dirigir el flujo general del aire y modificar así el microclima alrededor de los edificios. Según la posición relativa de las habitaciones y del pasillo que dan al patio, se pueden distinguir dos subtipos dependiendo de que el pasillo esté del lado del patio o del lado exterior (véase figuras 5.6 y 5.7, respectivamente). Este sistema puede suministrar más ventilación que los otros, siempre y cuando el patio sea suficientemente grande. El subtipo con el pasillo exterior tiene una ventaja sobre el del pasillo interior, ya que puede evitar la transmisión de infecciones a través del pasillo, dado que el aire limpio entra en el pasillo antes que en las habitaciones.

El primer hospital de este tipo fue el Ospedale Maggiore, construido en Milán en 1456 y diseñado por Antonio Averulino (más conocido como Filarete). El hospital es un edificio simétrico con un gran patio central; a ambos lados del patio las alas del edificio delimitan cuatro patios más pequeños.

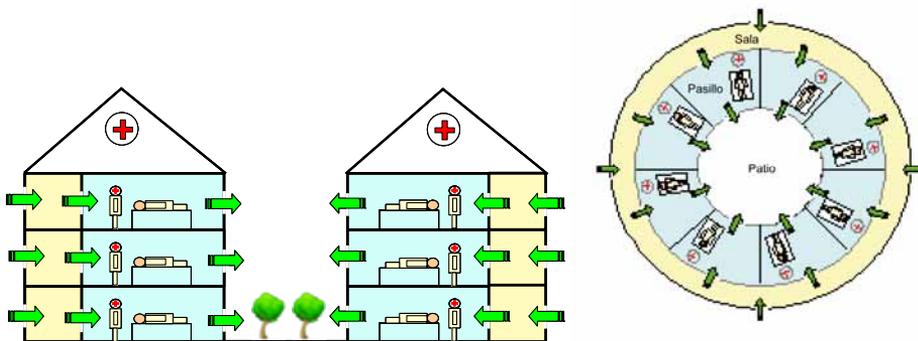


Sección de alzado

Plano de un piso

Nota: Este dibujo esquemático debe usarse con precaución, teniendo en cuenta las limitaciones específicas de cada caso.

Figura 5.6 Ventilación natural que combina la fuerza del viento y el tiro en un hospital con patio y pasillo interior



Sección de alzado

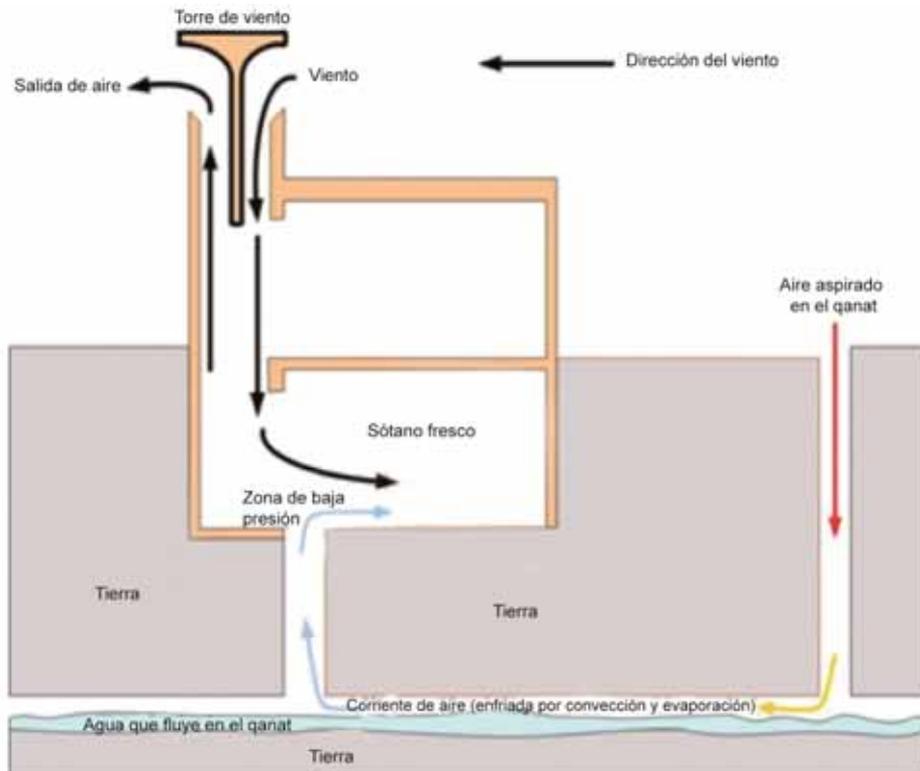
Plano de un piso

Nota: Este dibujo esquemático debe usarse con precaución, teniendo en cuenta las limitaciones específicas de cada caso.

Figura 5.7 Ventilación natural que combina la fuerza del viento y el tiro en un hospital con patio y pasillo exterior

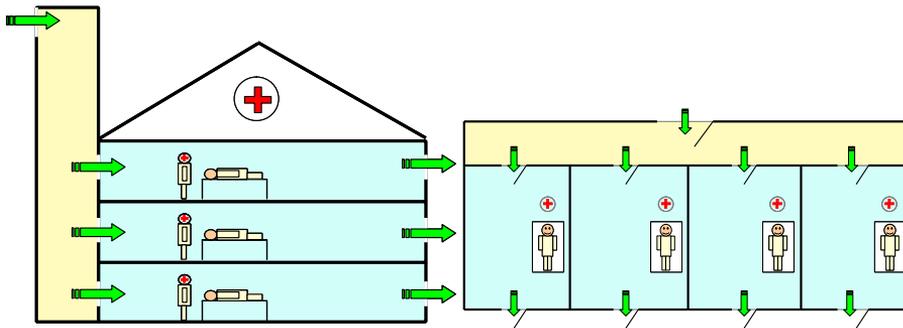
5.5.4 Torre de viento

El sistema de ventilación natural de tipo torre de viento capta el viento a la altura del tejado y lo dirige de arriba a abajo hacia el resto del edificio (véanse figuras 5.8 y 5.9). Las rejillas de ventilación resistentes a la intemperie se instalan para proteger el interior del edificio y los registros de regulación del volumen de aire se utilizan para moderar el flujo. El aire viciado se extrae por el lado de sotavento. La torre de viento se divide normalmente en cuatro cuadrantes que pueden cubrir toda la longitud del edificio y funcionan como tomas de aire o extractores según la dirección del viento.



Nota: Este dibujo esquemático debe usarse con precaución, teniendo en cuenta las limitaciones específicas de cada caso.

Figura 5.8 Diseño de una torre de viento



Sección de alzado

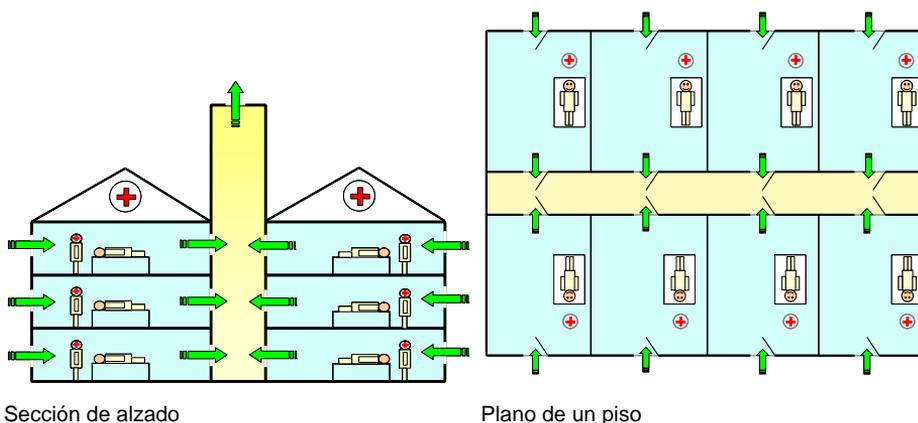
Plano de un piso

Nota: Este dibujo esquemático debe usarse con precaución, teniendo en cuenta las limitaciones específicas de cada caso.

Figura 5.9 Ventilación natural impulsada por el viento en un hospital con una torre de viento

5.5.5 Atrio y chimenea

Un atrio o una chimenea puede ayudar a aumentar el potencial de la ventilación natural. En un sistema de ventilación natural de tipo atrio o chimenea, el atrio o la chimenea pueden estar dispuestos lateralmente o centralmente, según la posición relativa de las habitaciones y del atrio o de la chimenea (véase figura 5.10). El aire exterior es aspirado al interior de las habitaciones por las ventanas por el efecto de tiro (o chimenea). Después de diluir el aire contaminado de la habitación, el aire caliente y contaminado converge hacia el atrio o la chimenea y se evacua por las aberturas de la parte alta. La aplicabilidad de este tipo de diseño dependerá principalmente de la altura de la chimenea, de la diferencia entre la temperatura interior y exterior y de las interacciones con las condiciones generales de viento. Este enfoque puede combinarse con registros de regulación accionados por un motor y sensores de presión que permiten regular los flujos de aire y superar algunas de las limitaciones de la ventilación natural.



Nota: Este dibujo esquemático debe usarse con precaución, teniendo en cuenta las limitaciones específicas de cada caso.

Figura 5.10 Ventilación natural impulsada por el efecto de tiro (creado por una chimenea solar) en un hospital de chimenea solar

5.5.6 Ventilación híbrida (mixta)

Una limitación de la ventilación natural es que a veces depende demasiado del clima exterior. Por ejemplo, si la velocidad del viento exterior es muy baja o la temperatura exterior es muy alta, se reducirá la eficacia de la ventilación natural. Para superar estas carencias, puede usarse la ventilación híbrida (mixta). En un sistema sencillo de ventilación híbrida (mixta), se combinan las fuerzas mecánicas y naturales para dar un sistema que funciona según dos modalidades, la modalidad elegida dependerá de la estación y el momento del día, de forma que se tenga en cuenta el ambiente externo y se aprovechen las condiciones ambientales en todo momento.

Las principales formas de ventilación híbrida (mixta) son:

- alternancia entre ventilación natural y ventilación mecánica;
- ventilación natural asistida con ventiladores;
- utilización simultánea de la ventilación natural y la ventilación mecánica.

Cada una de las soluciones de ventilación natural tratadas anteriormente (pasillo lateral, pasillo central, patio, torre de viento y atrio o chimenea) puede combinarse con los ventiladores mecánicos para crear un sistema híbrido (mixto). Lógicamente, como en todos los sistemas que usan ventilación natural o mecánica, el diseño y la regulación son fundamentales.

5.6 Aplicabilidad de los sistemas de ventilación natural

Los sistemas de ventilación natural deben estar diseñados teniendo en cuenta el clima local. Hay cuatro grandes tipos de clima: caliente y húmedo, caliente y seco, templado y frío.

El diseño de un sistema de ventilación natural también puede responder a uno de los tres objetivos principales siguientes: proporcionar confort térmico, controlar las infecciones de transmisión aérea o mejorar la calidad del aire y ahorrar energía.

Para evaluar un tipo de ventilación en un clima dado, se debe tener en cuenta tanto el confort térmico como el control de las infecciones, pero no el ahorro energético.

El desempeño se evalúa como sigue.

Desempeño insuficiente desde el punto de vista del confort térmico o del control de las infecciones. En cuanto al control de las infecciones, el criterio es el valor de la tasa de ventilación.

Desempeño pasable.

Desempeño aceptable, pero puede que haga falta transigir en cuanto al confort térmico.

Desempeño bueno desde el punto de vista del confort térmico y del control de las infecciones.

Desempeño muy bueno (satisfactorio) desde el punto de vista del confort térmico y del control de las infecciones.

En el cuadro 5.1 se muestra una comparación del desempeño de diferentes tipos de sistemas de ventilación natural según los cuatro grandes tipos de clima.

Cuadro 5.1 Aplicabilidad potencial de los sistemas de ventilación natural en condiciones ideales (consenso de una revisión sistemática de la OMS)

Clima	Ventilación natural				Torre de viento	Ventilación híbrida (mixta)	Ventilación mecánica
	Pasillo lateral	Chimenea/atricio	Patio				
			Pasillo exterior	Pasillo interior			
Caliente y húmedo							
Caliente y seco							
Templado							
Frio							

Nota: Lo que se consigue en realidad no está siempre a la altura del potencial teórico y debe prestarse la máxima atención al diseño del sistema de ventilación en entornos críticos como los centros de salud que presentan o pueden presentar riesgos ligados a la presencia de agentes infecciosos de transmisión aérea.

5.7 Puesta en servicio, funcionamiento y mantenimiento

El desempeño de un sistema de ventilación depende en gran medida del diseño, el funcionamiento y el mantenimiento, en una palabra de la puesta en servicio. Estos aspectos determinan el desempeño y la fiabilidad del sistema de ventilación y son importantes sea cual sea el grado de la tecnicidad del sistema de ventilación del edificio. Una construcción y una puesta en servicio adecuadas son necesarias para garantizar que se logra el desempeño deseado de ventilación en diferentes circunstancias (climáticas), mientras que un funcionamiento y mantenimiento adecuados son necesarios para garantizar la ventilación deseada durante toda la vida del sistema.

5.7.1 Puesta en servicio

Es importante que, incluso para un sistema con un grado bajo de tecnicidad que usa rejillas y conductos de ventilación, por ejemplo, se entregue al director o al operador del edificio la documentación que describe las opciones de diseño, cómo funciona y cómo debe mantenerse. Por ejemplo, la explicación de por qué los conductos de ventilación son de un cierto tamaño y están situados en determinados lugares mejorará la comprensión del sistema y ayudará a asegurar que el mantenimiento se hace adecuadamente.

Los diseñadores tienen que proporcionar los siguientes documentos a los responsables del edificio y su sistema de ventilación:

- información sobre la estrategia de diseño y el funcionamiento del sistema de ventilación natural o híbrida (mixta);

- información sobre el funcionamiento del sistema de ventilación natural o híbrida (mixta) por el día o la noche, en diferentes estaciones, en condiciones climáticas extremas y, si está adaptado, en situaciones de urgencia;
- explicaciones destinadas a los pacientes y a los trabajadores de salud sobre el funcionamiento y la gestión del edificio, precisando quién debe abrir las ventanas, etc.;
- reglas de funcionamiento y de mantenimiento del sistema de ventilación, elaboradas conjuntamente con el personal encargado de la puesta en servicio (es decir, un manual de funcionamiento y de mantenimiento); y
- explicaciones sobre todo lo anterior (es decir, documentación de puesta en servicio).

Es aconsejable que los que utilicen el sistema puedan proporcionar retroinformación a los diseñadores, aunque se trate del sistema más sencillo. Estos comentarios y los ajustes a los que dan lugar son esenciales para resolver posibles problemas del sistema y deben continuar durante el primer año de funcionamiento.

El proceso de puesta en servicio constituye una especie de procedimiento de control para asegurar que:

- el sistema de ventilación está instalado y funciona como se había previsto;
- el sistema puede funcionar correctamente y sin riesgos;
- el sistema puede ajustarse para cumplir con las necesidades de ventilación en diferentes condiciones climáticas; y
- las tasas de ventilación son apropiadas para diferentes tipos de tiempo.

Este proceso debe mantenerse al menos durante el primer año de funcionamiento.

5.7.2 Funcionamiento y mantenimiento

El personal encargado del funcionamiento y del mantenimiento debe entender cómo funciona el sistema y tener nociones básicas sobre el control de las infecciones. Debe prestarse una atención especial a la documentación e instrucciones entregadas a estos miembros del personal.

El personal encargado del funcionamiento debe estar capacitado sobre los procedimientos que deben seguir en condiciones meteorológicas especiales, como la lluvia intensa, los tifones y las fuertes tormentas.

Los pacientes no están generalmente autorizados a hacer funcionar el sistema a menos que se les instruya para ello (esto se aplica también a la abertura de ventanas).

La ventilación natural o la ventilación híbrida (mixta) tienen generalmente muchos componentes distribuidos en diversos puntos, como las ventanas y los ventiladores. La detección de las fallas en estos componentes puede ser lenta.

Es esencial que en cualquier hospital diseñado para el control de las infecciones se haga una reconsideración en cuanto al diseño de la ventilación cuando los patrones de ocupación cambian.

Las encuestas regulares a los ocupantes y los controles ayudarán a descubrir los posibles problemas de funcionamiento y a tratar las reclamaciones.

En los hospitales ventilados naturalmente, la satisfacción de los pacientes y los trabajadores de salud puede mejorar si comprenden cómo funciona el sistema.

5.8 Resumen

El diseño de un edificio con ventilación natural para el control de las infecciones conlleva tres etapas esenciales: seleccionar el patrón de flujo de aire deseado, identificar las principales fuerzas motrices y determinar las dimensiones y la ubicación de las aberturas. Aunque estas etapas son comunes en el diseño de edificios de este tipo, las condiciones locales, como el clima durante todo el año y su repercusión sobre el control de las infecciones, también deben tenerse en cuenta.

A un nivel más específico, los principales elementos de diseño de los sistemas de ventilación natural e híbrida (mixta) son dictados por los componentes utilizados. Los elementos de diferentes sistemas de ventilación pueden seleccionarse y combinarse según sea necesario, para adaptar el sistema al clima local y a las exigencias propias de cada hospital.

Referencias

- AIA. *Guidelines for design and construction of hospitals and health care facilities*. Washington, The American Institute of Architects Academy of Architecture for Health, 2001.
- Aintablian N, Walpita P, Sawyer MH. Detection of *Bordetella pertussis* and respiratory syncytial virus in air samples from hospital rooms. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 1998, 19(12):918–923.
- Allard F ed. *Natural ventilation in buildings — a design handbook*. Londres, James & James, 1998.
- Anderson JD et al. Lack of nosocomial spread of *Varicella* in a pediatric hospital with negative pressure ventilated patient rooms. *Infection Control*, 1985, 6(3):120–121.
- Artenstein MS et al. Large-volume air sampling of human respiratory disease pathogens. *American Journal of Epidemiology*, 1967, 85(3):479–485.
- ASHRAE. Health care facilities. In: *Handbook of HVAC applications*. Atlanta, USA, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2007a.
- ASHRAE. *HVAC design manual for hospitals and clinics*. Atlanta, USA, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2007b.
- ASHRAE. *ASHRAE handbook fundamentals*. Atlanta, USA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., 2009.
- Awbi HB. *Ventilation of buildings*, 2nd ed. New York, Taylor & Francis, 2003.
- Axley J. Introduction to the design of natural ventilation systems using loop equations. In: *Ventilation technologies in urban areas*, Proceedings of the 19th AIVC Conference, Oslo, Noruega, 28–30 de septiembre del 1998:47–56.
- Aynsley RM, Melbourne WH, Vickery BJ. *Architectural aerodynamics*. Londres, Applied Science Publishers, 1977.
- Barker J, Stevens D, Bloomfield SF. Spread and prevention of some common viral infections in community facilities and domestic homes. *Journal of Applied Microbiology*, 2001, 91:7–21.
- Bassetti S, Bischoff WE, Sherertz RJ. Are SARS superspreaders cloud adults? *Emerging Infectious Diseases*, 2005, 11(4):637–638.
- Bloch AB et al. Measles outbreak in a pediatric practice: airborne transmission in an office setting. *Pediatrics*, 1985, 75(4):676–683.

- Booth TF et al. Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units. *Journal of Infectious Diseases*, 2005, 191(9):1472–1477.
- Calder RA et al. *Mycobacterium tuberculosis* transmission in a health clinic. *Bulletin of the International Union against Tuberculosis & Lung Disease*, 1991, 66(2–3):103–106.
- CDC. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2003, 52 (RR-10).
- CDC. Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in health-care settings. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2005, 54 (RR-17),
- Chen PS, Li CS. Concentration profiles of airborne *Mycobacterium tuberculosis* in a hospital. *Aerosol Science and Technology*, 2008, 42(3):194–200.
- Chen Q. Prediction of room air motion by Reynolds-stress models. *Building and Environment*, 1996, 31(3):233–244.
- CIBSE. *AM10 Natural ventilation in non-domestic buildings*. London, the Chartered Institution of Building Services Engineers, 2005.
- Cole EC, Cook CE. Characterization of infectious aerosols in health care facilities: an aid to effective engineering controls and preventive strategies. *American Journal of Infection Control*, 1998, 26(4):453–464.
- Craven A, Settles GS. A computational and experimental investigation of the human thermal plume. *Journal of Fluids Engineering*, 2006, 128(6):1251–1258.
- Dahl KM et al. Follow-up evaluation of respiratory isolation rooms in 10 Midwestern hospitals. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 1996, 17(12):816–818.
- Dragan A. HVAC design approach and design criteria for health care facilities. *ASHRAE Transactions: Annual Meeting*, 2000:637–645.
- Duguid JF. The numbers and the sites of origin of the droplets expelled during expiratory activities. *Edinburgh Medical Journal*, 1945, 52:335–340.
- Edge BA, Paterson EG, Settles GS. Computational study of the wake and contaminant transport of a walking human. *Journal of Fluids Engineering*, 2005, 127(5):967–977.
- Escombe AR et al. Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. *PloS Medicine*, 2007, 4:309–317.
- Etheridge D, Sandberg M. *Building ventilation — theory and measurement*. Chichester, UK, John Wiley & Sons, 1996.

- Fennelly KP, Nardell EA. The relative efficacy of respirators and room ventilation in preventing occupational tuberculosis. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 1998, 19(10):754–759.
- Fennelly KP et al. Cough-generated aerosols of *Mycobacterium tuberculosis*: a new method to study infectiousness. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2004, 169(5):604–609.
- Fitzgerald D, Haas DW. *Mycobacterium tuberculosis*. In: Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, eds. *Principles and practice of infectious diseases*, 6^a ed. Filadelfia, Churchill Livingstone, 2005:2852–2886.
- Fluent. *FLUENT 6.1 user's guide*. Libano, NH, Fluent Inc., 2003.
- Fraser VJ et al. Evaluation of rooms with negative pressure ventilation used for respiratory isolation in seven midwestern hospitals. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 1993, 14(11):623–628.
- Gardner J. Centers for Disease Control: guideline for isolation precautions in hospitals. *American Journal of Infection Control*, 1996, 24:2–52.
- Garner JS, Simmons BP. *CDC guideline for isolation precautions in hospitals*. Atlanta, GA, US Department of Health and Human Services, 1983 (HHS Publication No. CDC 83-8314).
- Gerberding JL. Occupational infectious diseases or infectious occupational diseases? Bridging the views on tuberculosis controls. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 1993, 14:686–687.
- Ghiaus C et al. Outdoor–indoor pollutant transfer. In: Allard F, Ghiaus C, eds. *Natural ventilation in the urban environment — assessment and design*. London and Sterling, VA, Earthscan, 2005.
- Gustafson et al. An outbreak of airborne nosocomial varicella. *Pediatrics*, 1982, 70(4):550–556.
- Hamburger M, Roberston OH. Expulsion of group A hemolytic streptococci in droplets and droplet nuclei by sneezing, coughing, and talking. *American Journal of Medicine*, 1946, 4:690–701.
- Hayden CS et al. Air volume migration from negative pressure isolation rooms during entry/exit. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 1998, 13(7):518–527.
- Heiselberg P, Bjørn E. Impact of open windows on room air-flow and thermal comfort. *International Journal of Ventilation*, 2002, 1(2):91–100.
- Hutton MD et al. Nosocomial transmission of tuberculosis associated with a draining abscess. *Journal of Infectious Diseases*, 1990, 161(2):286–295.
- Huynh KN et al. A new method for sampling and detection of exhaled respiratory virus aerosols. *Clinical Infectious Diseases*, 2008, 46(1):93–95.

- Ip M et al. Air-flow and droplet spreading around oxygen masks: a simulation model for infection control research. *American Journal of Infection Control*, 2007, 35(10):684–689.
- ISIAQ. *ISIAQ review on indoor air quality in hospitals and other health care facilities*. International Society of Indoor Air Quality and Climate, 2003.
- Jennison MW. Atomizing of mouth and nose secretions into the air as revealed by high speed photograph. *Aerobiology*, 1942, 17:106–128.
- Klein BS, Perloff WH, Maki DG. Reduction of nosocomial infection during pediatric intensive care by protective isolation. *New England Journal of Medicine*, 1989, 320(26):1714–1721.
- Levin H. Building materials and indoor air quality. *Occupational Medicine: State of the Art Reviews*, 1989, 4:667–693.
- Li F, Niu JL. Control of volatile organic compounds indoors — development of an integrated mass-transfer-based model and its application. *Atmospheric Environment*, 2007, 41(11):2344–2354.
- Li Y et al. An evaluation of the ventilation performance of new SARS isolation wards in nine hospitals in Hong Kong. *Indoor and Built Environment*, 2007, 16(5):400–410.
- Liu H. *Wind engineering: a handbook for structural engineers*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1991.
- Loudon RG, Roberts RM. Droplet expulsion from the respiratory tract. *American Review of Respiratory Disease*, 1967, 95:435–442.
- Lowbury EJM et al. *Control of hospital infection*. Londres, Chapman and Hall, 1975.
- Lynch T. *Communicable disease nursing*. St. Louis, CV Mosby, 1949.
- Maki DG. Yes, Virginia, aseptic technique is very important: maximal barrier precautions during insertion reduce the risk of central venous catheter-related bacteremia. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 1994, 15(4 Pt 1):227–230.
- Maloney SA et al. Efficacy of control measures in preventing nosocomial transmission of multidrug-resistant tuberculosis to patients and health care workers. *Annals of Internal Medicine*, 1995, 122(2):90–95.
- Mastorides SM et al. The detection of airborne *Mycobacterium tuberculosis* using micropore membrane air sampling and polymerase chain reaction. *Chest*, 1999, 115(1):19–25.
- Mayhall CG. *Hospital epidemiology and infection control*, 3^a ed. Filadelfia, Lippincott Williams & Wilkins, 2004.
- Menzies D et al. Hospital ventilation and risk for tuberculous infection in Canadian health care workers. *Annals of Internal Medicine*, 2000, 133(10):779–789.

- Mills F. Indoor air standards in hospitals. *Business Briefing: Hospital Engineering and Facilities Management*, 2004:43–46.
- Morawska L. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air*, 2006, 16(5):335–347.
- Nardell EA et al. Airborne infection: theoretical limits of protection achievable by building ventilation. *American Review of Respiratory Diseases*, 1991, 144(2):302–306.
- NCDC. *Isolation techniques for use in hospitals*. Washington DC, National Communicable Disease Center, US Government Printing Office, 1970 (PHS Publication No. 2054).
- Nicas M, Nazaroff WW, Hubbard A. Toward understanding the risk of secondary airborne infection: emission of respirable pathogens. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2005, 2(3):143–154.
- Nielsen PV. *Flow in air conditioned rooms — model experiments and numerical solutions of the flow equations* [PhD thesis]. Dinamarca, Technical University of Denmark, 1974.
- Niu JL. Technology options for humidity control for hotels in south-eastern China climate. *HKIE Transactions*, 2001, 8(2):20–24.
- Papineni RS, Rosenthal FS. The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects. *Journal of Aerosol Medicine*, 1997, 10(2):105–116.
- Pavelchak N et al. Identification of factors that disrupt negative air pressurization of respiratory isolation rooms. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 2000, 21(3):191–195.
- Pavelchak N et al. Negative-pressure monitoring of tuberculosis isolation rooms within New York State hospitals. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 2001, 22(8):518–519.
- Priolo C. Design guidelines and technical solutions for natural ventilation. In: Allard F, ed. *Natural ventilation in buildings — a design handbook*. Londres, James & James, 1998:195–254.
- Qian H et al. Dispersion of exhaled droplet nuclei in a two-bed hospital ward with three different ventilation systems. *Indoor Air*, 2006, 16(2):111–128.
- Rice N, Streifel A, Vesley D. An evaluation of hospital special-ventilation-room pressures. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 2001, 22(1):19–23.
- Riley EC, Murphy G, Riley RL. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. *American Journal of Epidemiology*, 1978, 107(5):421–432.

- Riley RL, O'Grady F. *Airborne infection: transmission and control*. Nueva York, The Macmillan Company, 1961.
- Riley RL et al. Air hygiene in tuberculosis — quantitative studies of infectivity and control in a pilot ward. Cooperative Study between the Veterans Administration, the Johns-Hopkins-University School of Hygiene and Public Health, and the Maryland-Tuberculosis-Association. *American Review of Tuberculosis and Pulmonary Diseases*, 1957, 75(3):420–431.
- Riley RL et al. Aerial dissemination of pulmonary tuberculosis. *American Journal of Hygiene*, 1959, 70:185–196.
- Roy CJ, Milton DK. Airborne transmission of communicable infection — the elusive pathway. *New England Journal of Medicine*, 2004, 350(17):1710–1712.
- Sawyer MH et al. Detection of Varicella-zoster virus DNA in air samples from hospital rooms. *Journal of Infectious Diseases*, 1994, 169(1):91–94.
- Siegel JD et al. *2007 guideline for isolation precautions: preventing transmission of infectious agents in healthcare settings*. Public Health Service, US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, 2007 (<http://www.cdc.gov/ncidod/dhqp/pdf/guidelines/Isolation2007.pdf>).
- Stetzenbach LD, Buttner MP, Cruz P. Detection and enumeration of airborne biocontaminants. *Current Opinion in Biotechnology*, 2004, 15(3):170–174.
- Sutton PM et al. Evaluating the control of tuberculosis among healthcare workers: adherence to CDC guidelines of three urban hospitals in California. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 1998, 19(7):487–493.
- Suzuki K et al. Detection of Varicella-zoster virus DNA in throat swabs of patients with herpes zoster and on air purifier filters. *Journal of Medical Virology*, 2002, 66(4):567–570.
- Suzuki K et al. Spread of Varicella-zoster virus DNA to the environment from Varicella patients who were treated with oral acyclovir. *Pediatrics International*, 2003, 45(4):458–460.
- Tang JW et al. Door-opening motion can potentially lead to a transient breakdown in negative-pressure isolation conditions: the importance of vorticity and buoyancy air-flows. *Journal of Hospital Infection*, 2005, 61(4):283–286.
- Tang JW et al. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. *Journal of Hospital Infection*, 2006, 64(2):100–114.
- Toth A et al. Tuberculosis prevention and treatment. *Can Nurse*, 2004, 100(9):27–30.

- Wehrle PF et al. An airborne outbreak of smallpox in a German hospital and its significance with respect to other recent outbreaks in Europe. *Bulletin of the World Health Organization*, 1970, 43:669–679.
- Wells WF. On air-borne infection. Study II. Droplets and droplet nuclei. *American Journal of Hygiene*, 1934, 20:611–618.
- Wells WF. *Airborne contagion and air hygiene*. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1955.
- Wenzel RP. *Prevention and control of nosocomial infections*, 4^a ed. Filadelfia, Lippincott Williams & Wilkins, 2003.
- Weschler CJ, Shields HC. The influence of ventilation on reactions among indoor pollutants: modelling and experimental observations. *Indoor Air*, 2000, 10(2):92–100.
- WHO. *Guidelines for the prevention of tuberculosis in health care facilities in resource-limited settings*. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1999.
- WHO. *Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory diseases in health care — WHO interim guidelines*. Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 2007.
- Wilson P. Is natural ventilation a useful tool to prevent the air borne spread of TB? *PLoS Medicine*, 2007, 4(2):e77.
- Wong CY. Severe acute respiratory syndrome and biology, air quality, physics, and mechanical engineering. *Hong Kong Medical Journal*, 2003, 9(4):304–305.
- Wong KC, Leung KS. Transmission and prevention of occupational infections in orthopaedic surgeons. *Journal of Bone and Joint Surgery America*, 2004, 86-A (5):1065–1076.
- Xia YZ et al. Influence of turbulence on thermal comfort at warm conditions. *Indoor Air*, 2000, 10(4):289–296.
- Xie X et al. How far droplets can move in indoor environments — revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor Air*, 2007, 17(3):211–225.
- Zhang H et al. Enhanced performance of air-cooled chillers using evaporative cooling. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2000, 21(4):213–217.

Anexos

Anexo A Artículos incluidos en la revisión sistemática sobre la asociación entre ventilación e infección

Las preguntas formuladas a propósito de la revisión sistemática fueron definidas por el Grupo de Formulación de Guías de la Organización Mundial de la Salud, y los métodos de la revisión sistemática fueron elaborados por el Grupo de Trabajo Técnico de las Directivas y supervisada por el Comité Directivo Externo.

La revisión sistemática fue llevada a cabo por un equipo de investigadores (dirigido por el catedrático Yuguo Li, Universidad de Hong Kong), siguiendo las orientaciones de un documentalista de la biblioteca de la Universidad de Hong Kong. Los términos de investigación incluían palabras clave y términos del tesoro Encabezados de Términos Médicos (MeSH) relativos a la ventilación, la infección y los edificios. Las búsquedas efectuadas en bases de datos como MEDLINE, EBM Reviews, ISI Web of Science, Science Direct, Engineering Village 2 e ISI ProceedingsSM. También se hicieron búsquedas en Google Scholar.

Se usaron criterios de inclusión y exclusión pre-establecidos, y un panel de examen (que incluía expertos en medicina, salud, ingeniería y arquitectura) supervisó el proceso de revisión bibliográfica desde la elaboración de la estrategia de búsqueda hasta la evaluación crítica de los estudios identificados, la extracción de los datos y su presentación. El Comité Directivo Externo validó los resultados definitivos y su utilización para la formulación de las guías.

De un total de 13.661 artículos correspondientes a las palabras clave definidas según lo acordado en el protocolo de la revisión sistemática, se recuperaron 388 artículos y 65 se retuvieron según los criterios de inclusión y exclusión, luego se distribuyeron a un panel de dieciséis expertos de Europa, América del Norte, Australia y Asia.

Los 65 artículos son los que figuran en la siguiente lista.

1. Anderson JD et al. Lack of nosocomial spread of Varicella in a pediatric hospital with negative pressure ventilated patient rooms. *Infection Control*, 1985, 6(3):120–121.
2. Andrewes CH, RE Glover. Spread of infection from the respiratory tract of the ferret. I. Transmission of influenza A virus. *British Journal of Experimental Pathology*, 1941, 22(2):91–97.

3. Basu S et al. Prevention of nosocomial transmission of extensively drug-resistant tuberculosis in rural South African district hospitals: an epidemiological modelling study. *Lancet*, 2007, 370(9597):1500–1507.
4. Bloch AB et al. Measles outbreak in a pediatric practice: airborne transmission in an office setting. *Pediatrics*, 1985, 75(4):676–683.
5. Brundage JF et al. Building-associated risk of febrile acute respiratory diseases in army trainees. *JAMA*, 1988, 259(14):2108–2112.
6. Calder RA et al. *Mycobacterium tuberculosis* transmission in a health clinic. *Bulletin of the International Union against Tuberculosis & Lung Disease*, 1991, 66(2–3):103–106.
7. Cars H, Petersson C, Hakansson A. Infectious-diseases and day-care-center environment. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*, 1992, 24(4):525–528.
8. Couch RB et al. Airborne transmission of respiratory infection with coxsackievirus A type 21. *American Journal of Epidemiology*, 1970, 91(1):78–86.
9. Dick EC et al. Aerosol transmission of rhinovirus colds. *Journal of Infectious Diseases*, 1987, 156(3):442–448.
10. Drinka PJ et al. Report of an outbreak: nursing home architecture and influenza-A attack rates. *Journal of the American Geriatrics Society*, 1996, 44(8):910–913.
11. Drinka PJ et al. Delays in the application of outbreak control prophylaxis for influenza A in a nursing home. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 2002, 23(10):600–603.
12. Drinka PJ et al. Report of an outbreak: nursing home architecture and influenza-A attack rates: update. *Journal of the American Geriatrics Society*, 2004, 52(5):847–848.
13. Edlin BR et al. An outbreak of multidrug-resistant tuberculosis among hospitalised-patients with the acquired-immunodeficiency-syndrome. *New England Journal of Medicine*, 1992, 326(23):1514–1521.
14. Ehrenkranz NJ, Kicklighter JL. Tuberculosis outbreak in a general hospital: evidence for airborne spread of infection. *Annals of Internal Medicine*, 1972, 77(3):377–382.
15. Ehresmann KR. An outbreak of measles at an international sporting event with airborne transmission in a domed stadium. *Journal of Infectious Diseases*, 1995, 171:679–683.
16. Escombe AR et al. The detection of airborne transmission of tuberculosis from HIV-infected patients, using an in vivo air sampling model. *Clinical Infectious Diseases*, 2007, 44(10):1349–1357.

17. Escombe AR et al. Natural ventilation for the prevention of airborne contagion. *PloS Medicine*, 2007, 4(2):309–317.
18. Greene D, Barenberg LH, Greenberg B. Effect of irradiation of the air in a ward on the incidence of infections of the respiratory tract — with a note on Varicella. *American Journal of Diseases of Children*, 1941, 61(2):273–275.
19. Gustafson TL et al. An outbreak of airborne nosocomial varicella. *Pediatrics*, 1982, 70(4):550–556.
20. Henle W, Sommer HE, Stokes J. Studies on air borne infection in a hospital ward II: effects of ultraviolet irradiation and propylene glycol vaporization upon the prevention of experimental air borne infection of mice by droplet nuclei. *Journal of Pediatrics*, 1942, 21:577–590.
21. Hocking M. Common cold transmission in commercial aircraft: industry and passenger implications. *Journal of Environmental Health Research*, 2004, 3(1):7–12.
22. Hoge CW et al. An epidemic of pneumococcal disease in an overcrowded, inadequately ventilated jail. *New England Journal of Medicine*, 1994, 331(10):643–648.
23. Houk V. Spread of tuberculosis via recirculated air in a naval vessel: the Byrd study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1980, 353:10–24.
24. Houk VN et al. The epidemiology of tuberculosis infection in a closed environment. *Archives of Environmental Health*, 1968, 16(1):26–35.
25. Hutton MD et al. Nosocomial transmission of tuberculosis associated with a draining abscess. *Journal of Infectious Diseases*, 1990, 161(2):286–295.
26. Jennings LC, Dick EC. Transmission and control of rhinovirus colds. *European Journal of Epidemiology*, 1987, 3(4):327–335.
27. Josephson A. Airborne transmission of nosocomial varicella from localised zoster. *Journal of Infectious Diseases*, 1988, 158(1):238–241.
28. Kenyon TA et al. Transmission of multidrug-resistant *Mycobacterium tuberculosis* during a long airplane flight. *New England Journal of Medicine*, 1996, 334(15):933–938.
29. Kingston D, Lidwell OM, Williams REO. The epidemiology of the common cold: III. The effect of ventilation, air disinfection and room size. *Journal of Hygiene*, 1962, 60(3):341–352.
30. Leclair JM et al. Airborne transmission of chickenpox in a hospital. *New England Journal of Medicine*, 1980, 302(8):450–453.
31. Lester W. The influence of relative humidity on the infectivity of air-borne influenza-A virus (Pr8-strain). *Journal of Experimental Medicine*, 1948, 88(3):361–368.

32. Li Y et al. Role of air distribution in SARS transmission during the largest nosocomial outbreak in Hong Kong. *Indoor Air*, 2005, 15(2):83–95.
33. Li Y et al. Multi-zone modeling of probable SARS virus transmission by air-flow between flats in Block E, Amoy Gardens. *Indoor Air*, 2005, 15(2):96–111.
34. Li Y et al. Probable roles of bio-aerosol dispersion in the SARS outbreak in Amoy Gardens, Hong Kong. In: Sleigh A et al., eds. *Population dynamics and infectious disease in the Asia–Pacific*. Singapur, World Scientific Publishing, 2006.
35. Loosli CG, Robertson OH, Puck TT. The production of experimental influenza in mice by inhalation of atmospheres containing influenza virus dispersed as fine droplets. *Journal of Infectious Diseases*, 1943, 72:142–153.
36. Loudon RG et al. Aerial transmission of mycobacteria. *American Review of Respiratory Disease*, 1969, 100(2):165–171.
37. Lovelock JE, Further studies on the natural transmission of the common cold. *Lancet*, 1952(Oct 4):657–660.
38. Lowen AC et al. The guinea pig as a transmission model for human influenza viruses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, 103(26):9988–9992.
39. Lowen AC et al. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathogens*, 2007, 3(10):1470–1476.
40. Menzies D et al. Hospital ventilation and risk for tuberculous infection in Canadian health care workers. *Annals of Internal Medicine*, 2000, 133(10):779–789.
41. Meschievitz CK, Schultz SB, Dick EC. A model for obtaining predictable natural transmission of rhinoviruses in human volunteers. *Journal of Infectious Diseases*, 1984, 150(2):195–201.
42. Miller WR. Evaluation of ultraviolet radiation and dust control measures in control of respiratory disease at a naval training center. *Journal of Infectious Diseases*, 1948:87–100.
43. Moser MR et al. An outbreak of influenza aboard a commercial airliner. *American Journal of Epidemiology*, 1979, 110(1):1–6.
44. Olsen SJ et al. Transmission of the severe acute respiratory syndrome on aircraft. *New England Journal of Medicine*, 2003, 349(25):2416–2422.
45. Palmer GT. Ventilation, weather, and the common cold — a study of the prevalence of respiratory affections among school children and their association with school ventilation and the seasonal changes in weather. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 1921, 7:39–52.

46. Pei LY et al. Investigation of the influencing factors on severe acute respiratory syndrome among health care workers. *Journal of Peking University (Health Sciences)*, 2006, 38(3):271–275.
47. Ratcliffe HL, Palladino VS. Tuberculosis induced by droplet nuclei infection — initial homogeneous response of small mammals (rats, mice, guinea pigs, and hamsters) to human and to bovine bacilli, and the rate and pattern of tubercle development. *Journal of Experimental Medicine*, 1953, 97(1):61–68.
48. Remington PL et al. Airborne transmission of measles in a physician's office. *Journal of the American Medical Association*, 1985, 253(11):1574–1577.
49. Riley EC. Aerial dissemination of pulmonary tuberculosis. *American Journal of Hygiene*, 1959, 70:185–196.
50. Riley RL, Riley EC, Murphy G. Airborne spread of measles in a suburban elementary school. *American Review of Respiratory Disease*, 1978, 117(4):255–255.
51. Riley RL et al. Air hygiene in tuberculosis — quantitative studies of infectivity and control in a pilot ward — cooperative study between the Veterans Administration, the Johns-Hopkins-University School of Hygiene and Public Health, and the Maryland-Tuberculosis-Association. *American Review of Tuberculosis and Pulmonary Diseases*, 1957, 75(3):420–431.
52. Riley RL et al. Infectiousness of air from a tuberculosis ward — ultraviolet irradiation of infected air — comparative infectiousness of different patients. *American Review of Respiratory Disease*, 1962, 85(4):511–525.
53. Schulman JL. Experimental transmission of influenza virus infection in mice — relationship of transmissibility of different strains of virus and recovery of airborne virus in environment of infector mice. *Journal of Experimental Medicine*, 1967, 125(3):479–488.
54. Schulman JL, Kilbourne ED. Airborne transmission of influenza virus infection in mice. *Nature*, 1962, 195(4846):1129–1130.
55. Schulman JL, Kilbourne ED. Experimental transmission of influenza virus infection in mice. I. The period of transmissibility. *Journal of Experimental Medicine*, 1963, 118:257–266.
56. Schulman JL, Kilbourne ED. Experimental transmission of influenza virus infection in mice. I. Some factors affecting the incidence of transmitted infection. *Journal of Experimental Medicine*, 1963, 118:267–275.
57. Shigematsu I, Minowa M. Indoor infection in a modern building. *Tokai Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 1985 10(4):407–413.
58. Sommer HE, Stokes J. Studies on air borne infection in a hospital ward I: The effect of ultraviolet light on cross infection in an infants' ward. *Journal of Pediatrics*, 1942, 21:569–576.

59. Tang JW et al. Door-opening motion can potentially lead to a transient breakdown in negative-pressure isolation conditions: the importance of vorticity and buoyancy air-flows. *Journal of Hospital Infection*, 2005, 61(4):283–286.
60. Tsujino G. Varicella infection in a children's hospital: prevention by vaccine and an episode of airborne transmission. *Biken Journal*, 1984, 27(2–3):129–132.
61. Wehrle PF et al. Airborne outbreak of smallpox in a German hospital and its significance with respect to other recent outbreaks in Europe. *Bulletin of the World Health Organization*, 1970, 43(5):669–679.
62. Wong TW et al. Cluster of SARS among medical students exposed to single patient, Hong Kong. *Emerging Infectious Diseases*, 2004, 10(2):269–276.
63. Yu IT et al. Evidence of airborne transmission of the severe acute respiratory syndrome virus. *New England Journal of Medicine*, 2004, 350(17):1731–1739.
64. Yu IT et al. Temporal-spatial analysis of severe acute respiratory syndrome among hospital inpatients. *Clinical Infectious Diseases*, 2005, 40(9):1237–1243.
65. Zitter JN et al. Aircraft cabin air recirculation and symptoms of the common cold. *Journal of the American Medical Association*, 2002, 288(4):483–486.

Anexo B Clasificación de las recomendaciones por el método GRADE

B.1 Explicación del método GRADE para evaluar las recomendaciones

Varios factores deben tenerse en cuenta para evaluar el carácter más o menos estricto de las recomendaciones, en particular las pruebas científicas disponibles, la relación entre efectos benéficos y efectos indeseables y cargas, la variabilidad de los valores y la relación entre costos y beneficios netos.

Las pruebas científicas se evaluaron mediante la revisión sistemática diseñada para estas guías (véase anexo A para más detalle).

En la clasificación general de las recomendaciones cada uno de los factores mencionados intervendrá de la manera siguiente:

- Cuanto mayor sea la calidad de los datos probatorios, más probabilidad de que la recomendación sea estricta.
- Cuanto mayor sea la diferencia entre los efectos deseables e indeseables, más probabilidad de que la recomendación sea estricta.
- Cuanto menor sea el beneficio neto y menor sea la certidumbre de ese beneficio, más probabilidad de que la recomendación sea moderada.
- Cuanto mayor sea la variabilidad de los valores y preferencias o la incertidumbre de los valores y preferencias, más probabilidad de que la recomendación sea moderada.
- Cuanto mayores sean los costos de una intervención, o sea, cuantos más recursos hagan falta, menor probabilidad de que una recomendación estricta sea probable.

B.1.1 Recomendaciones estrictas frente a recomendaciones condicionales

Las definiciones de recomendación estricta y condicional son:

- **recomendación estricta:** el panel de expertos está convencido de que los efectos deseables de la adopción de la recomendación son superiores a los efectos indeseables; y

- **recomendación condicional:** el panel de expertos llega a la conclusión de que los efectos deseables de la adopción de la recomendación son probablemente superiores a los efectos indeseables, pero no está seguro.

B.1.2 Implicaciones de una recomendación estricta y de una recomendación condicional

Las implicaciones de una recomendación estricta son las siguientes:

- para los pacientes: la mayoría de las personas en su situación desearía que esta recomendación fuera seguida y sólo una proporción pequeña no lo desearía; solicitar explicaciones si la intervención no se ofrece;
- para los médicos: la mayoría de los pacientes debería beneficiarse de esta medida; y
- para los responsables de las políticas: la recomendación puede ser adoptada como una política en la mayoría de las situaciones.

Las implicaciones de una recomendación condicional son las siguientes:

- para los pacientes: la mayoría de las personas en su situación desearía que esta recomendación fuera seguida, pero hay un buen número que no lo desearía;
- para los médicos: usted debe reconocer que los diferentes pacientes necesitan soluciones diferentes y que usted debe ayudar a cada paciente para conseguir una decisión compatible con sus valores y preferencias; y
- para los responsables de las políticas: la formulación de políticas requerirá un debate de fondo con la participación de muchos interesados directos.

B.2 Cuadros de clasificación de las recomendaciones

Recomendación 1:

Con objeto de contribuir a la prevención de las infecciones transmitidas por vía aérea, es necesario que haya una ventilación adecuada en todas las zonas de atención a los pacientes de los centros de salud.

Población: Entornos de atención de la salud

Intervención: Ventilación

Factor	Evaluación	Explicación
Calidad de los datos probatorios	Moderada	Hay pocos datos probatorios que indiquen que una ventilación insuficiente está asociada a un mayor riesgo de infección (Gustafson <i>et al.</i> , 1982; Bloch <i>et al.</i> , 1985; Hutton <i>et al.</i> , 1990; Calder <i>et al.</i> , 1991).
Ventajas o efectos deseados	Importantes (a veces superiores a los inconvenientes)	Reduce la exposición de los pacientes y los trabajadores de salud a los núcleos goticulares. Calidad del aire interior mejorada para los pacientes y trabajadores de salud.
Inconvenientes o efectos no deseados		Costos relacionados con la instalación de una ventilación adecuada en un centro de atención de salud. Necesidad de seguir los procedimientos adecuados de funcionamiento y mantenimiento
Costos	Pueden ser bajos o elevados	Los costos pueden ser bajos si se utiliza una ventilación natural sencilla y su diseño está bien adaptado al clima local. Costo inicial generalmente elevado en el caso de una ventilación totalmente mecánica o de una ventilación natural de alta tecnología o de una ventilación híbrida (mixta).
Factibilidad	Según el clima	La ventilación mecánica y la ventilación híbrida (mixta) son factibles en todos los climas, pero su aplicación puede estar limitada por los recursos existentes. La ventilación natural de alta tecnología es factible en la mayoría de los climas, la ventilación natural sencilla es también factible en los países de recursos limitados si se diseña adecuadamente.
Clasificación general	RECOMENDACIÓN ESTRICTA	
Necesidad de investigación	Necesidad de determinar la tasa de ventilación requerida para el control de las infecciones en entornos de atención de la salud.	

Recomendación 2:

Para la ventilación natural, deben asegurarse las siguiente tasas de ventilación mínima media por hora:

- 160 l/s/paciente (tasa de ventilación media por hora) para las salas de prevención de la transmisión aérea (con un mínimo de 80 l/s/paciente) (nótese que este solo se aplica a los centros de salud nuevos y las renovaciones de gran envergadura);
- 60 l/s/paciente para los servicios hospitalarios generales y los servicios de consultas externas; y
- 2,5 l/s/m³ para los pasillos y otros lugares de paso sin un número fijo de pacientes; sin embargo, cuando en situaciones de urgencia u otro tipo se atiende a los pacientes en los pasillos, las tasas de ventilación deben ser las mismas que las exigidas para las salas de prevención de la transmisión aérea o para los servicios hospitalarios generales.

El diseño debe tener en cuenta las fluctuaciones en la tasa de ventilación.

Cuando la ventilación natural no es suficiente para satisfacer las exigencias recomendadas de ventilación, se recurrirá a otros sistemas de ventilación alternativos, como los de ventilación natural híbrido (mixta) y, si tampoco es suficiente, se utilizará la ventilación mecánica.

Población: Entornos de atención de la salud

Intervención: Ventilación natural

Factor	Evaluación	Explicación
Calidad de los datos probatorios	Baja	No hay datos probatorios directos que sugieran que la ventilación natural repercuta sobre la transmisión de enfermedades, aunque los datos probatorios técnicos muestran claramente que la ventilación natural puede lograr una tasa de ventilación muy elevada y se piensa que una tasa de ventilación alta puede reducir la transmisión aérea de las infecciones (Menzies <i>et al.</i> , 2000).
Ventajas o efectos deseados	Moderados (a veces superiores a los inconvenientes)	Apropiado para los climas suaves o templados. Costos de inversión, de funcionamiento y de mantenimiento moderados. Permite lograr una tasa de ventilación muy alta. Grandes posibilidades para los ocupantes de controlar el ambiente.
Inconvenientes o efectos no deseados		Fácilmente afectado por el clima exterior. Más difícil de predecir, analizar y diseñar para garantizar el control de la dirección del flujo de aire. Bienestar de los ocupantes reducido cuando el tiempo es caliente, húmedo o frío. Incapacidad para establecer una presión negativa en las zonas de aislamiento, pero puede conseguirse mediante un diseño adecuado; depende de la situación.
Costos	Pueden ser bajos o elevados	Los costos pueden ser bajos si se utiliza una ventilación natural sencilla y su diseño está bien adaptado al clima local. Pueden ser más elevados si se utiliza una ventilación híbrida (mixta) o una ventilación natural de alta tecnología.
Factibilidad	Según el país	La ventilación natural es menos factible en los climas extremos (frío, calor, ruido o contaminación extremos).

Clasificación general	RECOMENDACIÓN CONDICIONAL
Necesidad de investigación	Necesidad de determinar las exigencias aplicables a la ventilación natural en cuanto a la variabilidad de la tasa de ventilación y la variabilidad de la dirección del flujo de aire para el control de las infecciones en entornos de atención de la salud.

Recomendación 3:

Cuando se diseñan centros de salud ventilados naturalmente, debe prestarse atención a que el flujo de aire general lleve el aire de la fuente de patógenos a las zonas donde la dilución sea suficiente, y preferentemente al exterior.

Población: Entornos de atención de la salud

Intervención: Control del flujo de aire en la ventilación natural

Factor	Decisión	Explicación
Calidad de los datos probatorios	Baja	Hay pocos datos probatorios que indiquen que una ventilación insuficiente esté asociada a un mayor riesgo de infección (Gustafson <i>et al.</i> , 1982; Bloch <i>et al.</i> , 1985; Hutton <i>et al.</i> , 1990; Calder <i>et al.</i> , 1991).
Ventajas o efectos deseados	Moderados (a veces superiores a los inconvenientes)	Riesgos de transmisión entre las habitaciones tal vez reducidos.
Inconvenientes o efectos no deseados		Dificultades en la fase de diseño y de funcionamiento de los sistemas de ventilación natural.
Costos	Pueden ser bajos o elevados	Los costos pueden ser bajos si se utiliza una ventilación natural sencilla y su diseño está bien adaptado al clima local. Pueden ser más elevados si se utiliza una ventilación híbrida (mixta) o una ventilación natural de alta tecnología o si son necesarias medidas técnicas complementarias para controlar la dirección del flujo de aire.
Factibilidad	Según el diseño y las posibilidades de control del flujo de aire	La ventilación natural se presta menos al control del flujo de aire y exige un diseño técnico y arquitectónico bien estudiado.

Clasificación general	RECOMENDACIÓN CONDICIONAL
Necesidad de investigación	Necesidad de estudiar los métodos técnicos y arquitectónicos de control del flujo de aire en edificios ventilados naturalmente.

Recomendación 4:

Para los espacios en los que se llevan a cabo procedimientos que generan aerosoles asociados a la transmisión de patógenos, la ventilación natural debe, como mínimo, cumplir las exigencias de la recomendación 2. Si se trata de patógenos de transmisión aérea, se aplicarán las recomendaciones 2 y 3.

Población: Entornos de atención de la salud

Intervención: Ventilación de los recintos en los que se realizan procedimientos que generan aerosoles

Factor	Decisión	Explicación
Calidad de los datos probatorios	Muy baja	Los datos probatorios indirectos muestran que algunos procedimientos que generan aerosoles están asociados a un riesgo de infección mayor y la ventilación puede desempeñar una función importante.
Ventajas o efectos deseados	Moderados (a veces superiores a los inconvenientes)	Posiblemente el riesgo reducido de infecciones.
Inconvenientes o efectos no deseados		Bienestar de los ocupantes reducido con tiempo caluroso, húmedo o frío.
Costos	Pueden ser bajos o elevados	Costos bajos si se utiliza una ventilación natural sencilla. Pueden ser más elevados si se utiliza una ventilación híbrida (mixta) o una ventilación natural de alta tecnología.
Factibilidad	Según el país	La ventilación natural es menos factible en los climas extremos (frío, calor, ruido o contaminación extremos).
Clasificación general	RECOMENDACIÓN CONDICIONAL	
Necesidad de investigación	Necesidad de determinar las exigencias mínimas aplicables a la ventilación natural en cuanto a la variabilidad de la tasa de ventilación y del control de la dirección de flujo de aire durante los procedimientos que generan aerosoles.	

Anexo C Gotículas respiratorias

Según Wells (1955), los núcleos goticulares son el vehículo para la transmisión de las enfermedades respiratorias de transmisión aérea. Se trata del residuo seco de las gotículas que puede contener patógenos infecciosos.

C.1 Formación y tamaño de las gotículas

El término “gotícula”, en este contexto, se refiere a pequeñas partículas constituidas principalmente de agua y diversas inclusiones, según cómo se hayan generado.

Las gotículas producidas naturalmente por los humanos (cuando respiran, conversan, estornudan o tosen) encierran diversos tipos de células (por ejemplo, células epiteliales y células del sistema inmunitario), electrólitos fisiológicos presentes en las mucosas y la saliva (por ejemplo, Na⁺, K⁺, Cl⁻), así como, potencialmente, diversos agentes infecciosos (por ejemplo, bacterias, hongos y virus).

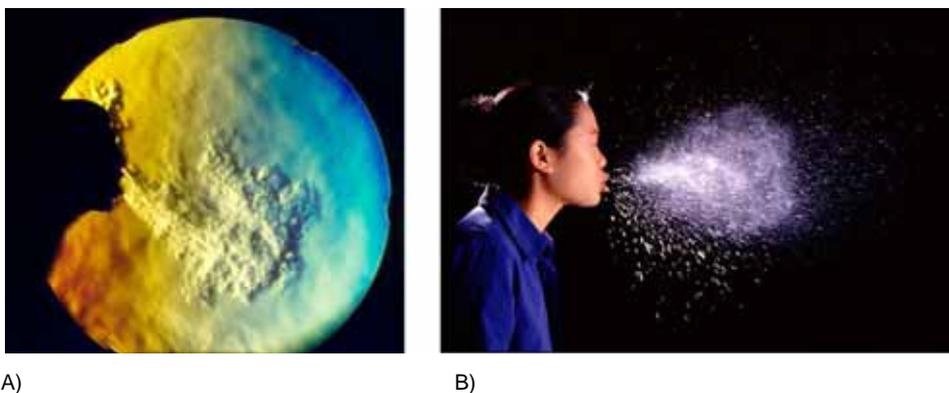
En el caso de las gotículas generadas artificialmente en entornos de atención de la salud (por ejemplo, aspiración traqueobronquial), el constituyente principal también será agua estéril con diversos electrólitos (por ejemplo, solución salina isotónica o fisiológica que contiene Na⁺, Cl⁻) y a menudo moléculas de un medicamento (por ejemplo, salbutamol para asmáticos).

Las gotículas generadas natural o artificialmente pueden variar tanto en tamaño como en contenido. Las gotículas >5 µm suelen quedar atrapadas en las vías respiratorias superiores (orofaringe), mientras que las gotículas ≤ 5 µm pueden inhalarse y llegar a las vías respiratorias inferiores (bronquios y alvéolos pulmonares).

Actualmente, el término gotícula se usa a menudo para referirse a las de diámetro >5 µm que caen rápidamente al suelo por gravedad y por consiguiente se transmiten solo a una distancia limitada (por ejemplo, ≤ 1 m). Por el contrario, el término núcleo goticular se refiere a las gotículas ≤ 5 µm de diámetro que pueden permanecer en suspensión en el aire durante períodos largos y se transmiten así a distancias >1 m (Stetzenbach, Buttner y Cruz, 2004; Wong y Leung, 2004). Otros estudios indican definiciones algo diferentes, y distinguen las gotículas “grandes”, las gotículas “pequeñas” y los núcleos goticulares, de >60 µm, ≤ 60 µm y <10 µm de diámetro, respectivamente (Tang *et al.*, 2006; Xie *et al.*, 2007). La idea es que los aerosoles producidos natural y artificialmente contienen partículas de tamaños diferentes, cuyo movimiento dependerá de diversos factores ambientales, como la gravedad, la dirección y fuerza de los flujos de aire presentes, la temperatura y la humedad relativa (que afectarán tanto al tamaño como a la masa de la gotícula debido a la evaporación).

Se han realizado varios estudios sobre el número y el tamaño de las gotículas de saliva y otras secreciones respiratorias (Jennison, 1942; Duguid, 1945; Hamburguer y Roberston, 1946; Loudon y Roberts, 1967; Papineni y Rosenthal, 1997; Fennelly *et al.*, 2004) y se han publicado excelentes revisiones (Nicas, Nazaroff y Hubbard, 2005; Morawska, 2006). Estos estudios y revisiones señalan que el tamaño de los núcleos goticulares expulsados al estornudar, toser y conversar depende probablemente del proceso de generación y las condiciones ambientales. La distribución real de los tamaños de las gotículas también depende de parámetros, como la velocidad del aire espirado, la viscosidad del líquido y de la vía tomada por el flujo de aire (es decir, a través de la nariz, la boca o ambos) (Barker, Stevens y Bloomfield, 2001). Hay también una gran variabilidad individual (Papineni y Rosenthal, 1997; Fennelly *et al.*, 2004).

Los seres humanos pueden producir aerosoles respiratorios (gotículas) durante diversos procesos como al respirar, conversar, toser (figura C.1, A), estornudar (figura C.1, B) e incluso al cantar (Wong, 2003; Toth *et al.*, 2004).



Fuente: Las fotografías reproducidas bajo la autorización de A) Prof. Gary S Settles, Departamento de Ingeniería Mecánica y Nuclear, Universidad Estatal de Pensilvania, PA, EUA; y B) Prof. Andrew Davidhazy, Escuela de Artes Fotográficas y Ciencias, Rochester Institute of Technology, Rochester, NY, EUA, respectivamente.

Figura C.1 A) Imagen Schlieren (visualización usando la refracción de la luz causada por las diferencias de densidad del aire) de la tos humana, y B) foto con flash de un estornudo

Hay una variación fisiológica natural en el volumen y la composición de dichos aerosoles de unos individuos a otros e incluso, en un mismo individuo, en el curso de las diferentes actividades. Una infección puede aumentar esta variabilidad, que a su vez puede variar cuando el sistema inmunitario del huésped comienza a responder a la infección. Por ejemplo, un paciente con varicela no tendrá anticuerpos específicos contra el virus al comienzo de la infección, por lo que la carga vírica será mucho mayor y por lo tanto potencialmente más transmisible durante la fase prodrómica de la infección aguda, febril, acompañada de tos, que posteriormente, cuando los anticuerpos específicos empiezan a formarse.

En realidad pocos estudios han caracterizado el número, tamaño y contenido de las gotículas generadas por medios naturales o artificiales. Además, debido a las variaciones individuales, los estudios sobre las gotículas generadas naturalmente tendrían un interés limitado y no corresponderían necesariamente a los denominados “superpropagadores”, es decir, individuos infectados capaces de infectar a muchos otros y que son la causa de que aparezcan muchos más casos secundarios de los esperados por término medio. Esto puede deberse a varias razones, en particular a una respuesta inmunitaria deficiente del huésped para detener la infección, a enfermedades concomitantes o a otras infecciones respiratorias que aumentan el grado de diseminación del patógeno infeccioso y a factores ambientales que favorecen la supervivencia de dichos patógenos (Bassetti, Bischoff y Sherertz, 2005).

Los datos publicados indican que el estornudo podría producir hasta 40.000 gotículas de 0,5–12 μm de diámetro (Cole y Cook, 1998; Tang *et al.*, 2006) que pueden expulsarse a velocidades de hasta 100 m/s (Wells, 1955; Cole y Cook, 1998), mientras que la tos puede producir hasta 3.000 núcleos goticulares, aproximadamente el mismo número que el producido al conversar durante cinco minutos (Cole y Cook, 1998; Fitzgerald y Haas, 2005; Tang *et al.*, 2006). A pesar de la variedad en el tamaño, las gotículas grandes representan la mayor parte del volumen total de las gotículas respiratorias expulsadas. Se necesitan más datos sobre el comportamiento de la dispersión de las gotículas en los aerosoles generados naturalmente.

Los aerosoles infecciosos se forman por contacto y mezcla de las gotículas con el aire espirado, que puede llevar agentes infecciosos de las vías respiratorias de los pacientes. Diversos procedimientos médicos generan aerosoles, y algunos de estos procedimientos pueden estar asociados a un mayor riesgo de transmisión de patógenos. Sin embargo, muchos de los estudios más recientes dedicados a estos procedimientos tienen fallas metodológicas significativas que impiden utilizar sus conclusiones para formular recomendaciones. En términos generales, el riesgo asociado a muchos de los procedimientos que generan aerosoles no está aún bien definido, y la comprensión de la aerobiología de los procedimientos que generan aerosoles podría evolucionar al realizar más estudios. En esta guía, la expresión procedimiento que genera aerosoles asociado a un aumento documentado del riesgo de transmisión por agentes patógenos se refiere a los procedimientos siguientes practicados en pacientes con una infección respiratoria aguda:

- entubación y procedimientos relacionados (por ejemplo, ventilación manual, aspiración);
- reanimación cardiopulmonar;
- broncoscopia; y
- operación quirúrgica y autopsia.

C.2 Evaporación de las gotículas

En el estudio clásico de la transmisión por vía aérea, Wells (1934) pudo identificar la diferencia entre la transmisión de enfermedades por gotículas grandes y por vía aérea. Wells observó que, en condiciones atmosféricas normales, las gotículas de diámetro inferior a 100 μm se secaban completamente a unos 2 m del suelo antes de caer. Este hallazgo permitió formular la teoría de la transmisión por gotículas y núcleos goticulares, según el tamaño de las gotículas infectadas. La curva de evaporación y de caída de las gotículas establecida por Wells (figura C.2) es importante para entender la transmisión aérea y la transmisión por gotículas grandes. El estudio de Wells también demostró que las gotículas pueden transformarse en núcleos goticulares por evaporación.

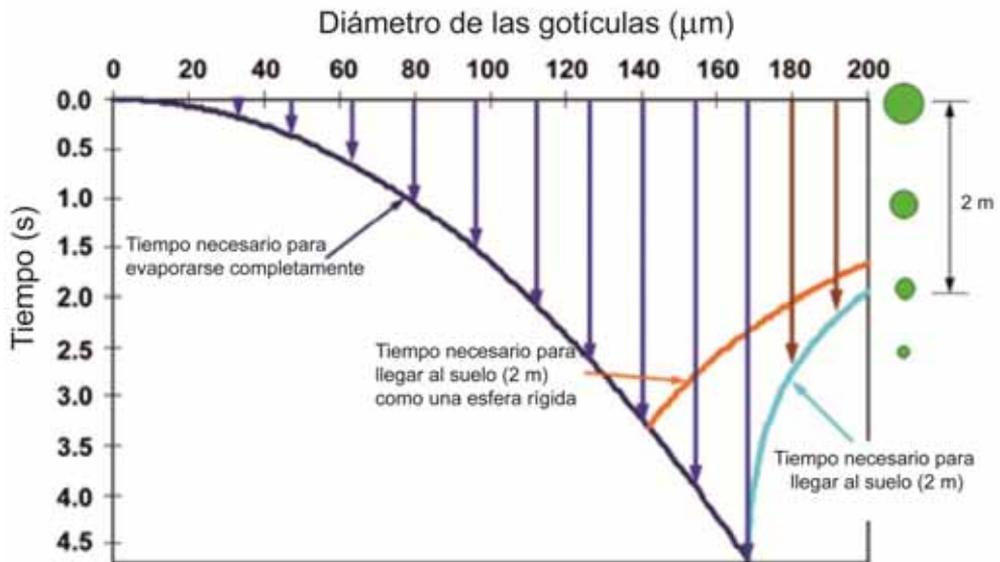


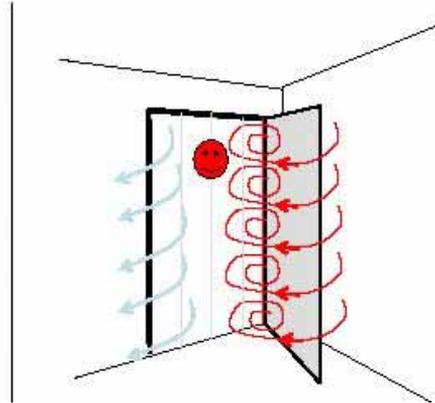
Figura C.2 Curva de evaporación y caída de las gotículas establecida por Wells

C.3 Movimiento del aire

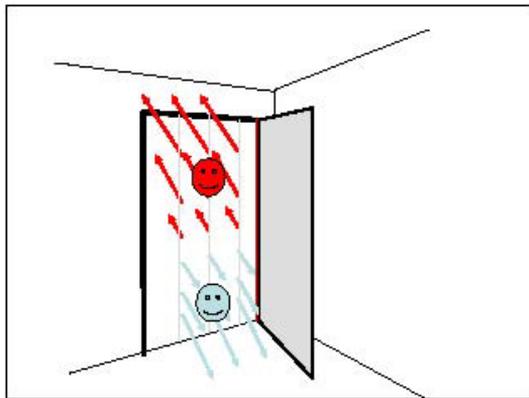
Los núcleos goticulares que flotan en el aire pueden ser transportados por el movimiento del aire. El arrastre del aire hacia los espacios vecinos puede producirse durante las actividades diarias más inocuas; por ejemplo, cuando las personas caminan o cuando se abre la puerta de una habitación que da a un pasillo o a un espacio adyacente (Hayden *et al.*, 1998; Edge, Paterson y Settles, 2005; Tang *et al.*, 2005, 2006). Además, las diferencias de temperatura (y por consiguiente de densidad) entre el aire de un lado y otro de la puerta abierta también contribuirán al intercambio entre las dos zonas, proporcionando un segundo mecanismo de aporte de aire a las zonas vecinas (Tang *et al.*, 2005, 2006) (véase la figura C.3).



A)



B)



C)

A) Demostración de cómo una persona al andar hace que se mueva el aire a su paso (Tang *et al.*, 2006). B) Demostración de cómo la abertura de una puerta pueden hacer pasar aire del interior una habitación de aislamiento al exterior por el simple hecho de abrirla (Tang *et al.*, 2005). C) Demostración de cómo una puerta abierta pueden permitir la mezcla y el intercambio de aire de diferentes temperaturas y densidades (Tang *et al.*, 2005).

Figura C.3 Patrones de intercambio de aire durante actividades diarias

Incluso un paciente simplemente al sentarse en su cama o al lado creará diferencias de temperatura de aire debidas a su calor corporal. Una temperatura mayor del aire directamente encima de la cabeza del paciente (o de su cuerpo, si está acostado) creará corrientes de aire convectivas que pueden mover el aire potencialmente infeccioso procedente de los espacios vecinos a la columna de aire caliente ascendente por encima del paciente (Craven y Settles, 2006). Los pacientes encamados, al respirar o al dormir, pueden producir flujos de aire espirados que pueden llegar a la zona del aire respirado por el vecino de cama e incluso más allá en presencia de ciertos tipos de sistemas de ventilación (véase más adelante) (Qian *et al.*, 2006). De la misma manera, otros dispositivos mecánicos, incluidos los ventiladores, las televisiones y el equipo médico pueden perturbar los flujos de aire próximos y diseminar el aire de los pacientes cercanos al resto de la habitación.

Anexo D Concepto básico del flujo de ventilación

El flujo de ventilación puede expresarse en forma de flujo de ventilación absoluto en l/s o m³/s, o en tasa de renovación de aire con respecto al volumen del recinto. En estas guías, la tasa de ventilación corresponde a la cantidad absoluta de aire entrante por unidad de tiempo (litros por segundo o l/s, metros cúbicos por hora o m³/h) y la tasa de renovación de aire es la cantidad relativa de aire entrante por unidad de tiempo. Por ejemplo, en una sala de prevención de la transmisión aérea se necesita una tasa de renovación de aire de 12 por hora (12 ACH) (CDC, 2005), mientras que en una oficina se necesita una tasa de ventilación de 10 l/s por persona.

La relación entre la tasa de ventilación en l/s y la tasa de renovación de aire es:

$$\text{Tasa de renovación de aire} = [\text{tasa de ventilación (l/s)} \times 3600 \text{ (s/h)}] \times 0,001 \text{ (m}^3\text{/s)} / [\text{volumen de la habitación (m}^3\text{)}] \quad (\text{C.1})$$

o

$$\text{Tasa de ventilación (l/s)} = \text{tasa de renovación de aire} \times \text{volumen de la habitación (m}^3\text{)} \times 1.000 \text{ (l/m}^3\text{)} / 3.600 \text{ (s/h)} \quad (\text{C.2})$$

El efecto de la tasa de ventilación sobre la calidad del aire interior puede verse por la repercusión sobre la concentración de contaminantes de transmisión aérea mediante la ecuación macroscópica simple que rige la ventilación en una única habitación.

Se considera una habitación en la que el aire está plenamente mezclado, es decir que la concentración de los contaminantes es la misma en todos los puntos de la habitación. Cuando hay una fuente de contaminantes en la habitación, la ecuación que rige la concentración puede escribirse de la siguiente forma:

$$V \frac{dc}{dt} = q(c_o - c) + \dot{V}_{pol} \quad (\text{C.3})$$

donde:

V = volumen del recinto (m³)
 c = concentración (% o kg/m³)
 q = tasa de ventilación (m³/s)
 c_o = concentración de aire nuevo (% o kg/m³)
 $d.c.$ = diferencia de concentración

dt = diferencia de tiempo

\dot{V}_{pol} = tasa de generación de contaminantes en la habitación (m^3/s o kg/s).

La ecuación (C.3), llamada ecuación de ventilación, muestra la relación básica entre la concentración, la tasa de ventilación, la concentración interior inicial, la concentración exterior y la tasa de generación de contaminantes. La solución general de la ecuación (C.3) puede escribirse de la siguiente forma:

$$c = (c_o + c_G) \left(1 - e^{-nt} \right) + c_I e^{-nt} \quad (C.4)$$

donde:

$$c_G = \frac{\dot{V}_{pol}}{q} = \text{concentración en la fuente}$$

c_I = concentración inicial en el tiempo $t = 0$

n = tasa de renovación de aire.

El lado derecho de la solución (C.4) tiene dos partes. La primera parte indica cómo la concentración se acerca a su valor de equilibrio y la segunda parte indica cómo la concentración inicial disminuye con el tiempo. Cuando el tiempo es suficientemente grande, la segunda parte disminuirá mientras la concentración de contaminantes se acerca a la solución de equilibrio:

$$c = c_o + \frac{\dot{V}_{pol}}{q} \quad (C.5)$$

La diferencia entre la tasa de ventilación y la tasa de renovación de aire puede verse en las soluciones (C.4) y (C.5). En (C.5), la concentración de equilibrio de un contaminante se determina por la tasa de generación del contaminante y la tasa de ventilación (valor absoluto del flujo de ventilación), pero no por la tasa de renovación de aire. Por consiguiente, para controlar la exposición a largo plazo a los contaminantes, debemos especificar la tasa de ventilación, no la tasa de renovación de aire. En (C.4), suponiendo que consideramos la situación de disminución de la concentraciones sin una fuente de contaminantes constante (primer término = 0), la velocidad de disminución es función de la tasa de renovación de aire, y no de la tasa de ventilación. Por consiguiente, para reducir la concentración de contaminantes en poco tiempo después de una emisión súbita de contaminantes, la tasa de renovación de aire es la más apropiada.

La solución anterior (C.5) puede reescribirse en forma de relación entre la concentración interior y exterior de los contaminantes gaseosos:

$$\text{Concentración interior} = \text{Concentración exterior} + \frac{\text{Tasa de generación de contaminantes}}{\text{Tasa de ventilación}} \quad (\text{C.6})$$

Esta relación es muy útil. En ella se muestra que:

- cuanto mayor es la concentración exterior, mayor es la concentración interior;
- cuanto mayor es la tasa de ventilación, menor es la concentración interior;
- cuanto mayor es la tasa de generación de contaminantes, mayor es la concentración interior.

La ecuación (C.6) se deriva de una ecuación de equilibrio simplificada que pasa por alto diversos procesos de eliminación, como el depósito sobre las superficies, la transformación por colisión con otras partículas, los procesos químicos y la descomposición o pérdida de viabilidad de los organismos.

Los sistemas de ventilación pueden clasificarse según:

- sus fuerzas motrices: ventilación natural incluida la infiltración, la ventilación mecánica y la ventilación híbrida (mixta);
- admisión o extracción: ventilación mecánica solo de admisión, ventilación mecánica solo de extracción, ventilación mecánica controlada;
- integración en sistemas de aire acondicionado: sistemas de ventilador de bobina y de inducción, sistemas de volumen de aire constante, sistemas de volumen de aire variable, sistemas de conducto de ventilación simple, sistemas de conducto doble; y
- estrategias de distribución del aire: ventilación por dilución y ventilación por desplazamiento.

Anexo E Fundamento para determinar los requisitos de la tasa de ventilación mínima

El fundamento para determinar los requisitos de la tasa de ventilación mínima se basa en dos aspectos principalmente.

Primero, consideramos el efecto de la tasa de renovación de aire sobre la disminución de la concentración de los núcleos goticulares. El cuadro E.1 muestra la disminución de la concentración de contaminantes con diferentes tasas de ventilación en habitaciones de aislamiento con el aire totalmente mezclado, suponiendo que la concentración de contaminantes en el aire exterior es 0 y que no hay ninguna fuente en el recinto cerrado según la ecuación simple de disminución de la concentración. El cuadro muestra que hay una dilución de 7 veces en 10 minutos con 12 cambios de aire por hora (ACH), una dilución de 20 veces en 10 minutos con 18 ACH y una dilución de 54 veces en 10 minutos con 24 ACH.

Cuadro E.1 Disminución de la concentración de núcleos goticulares en una habitación de aislamiento en función de las diferentes tasas de ventilación y de la duración

Tiempo (minutos)	Tasa de ventilación (ACH) (%)			
	6	12	18	24
0	100,00	100,00	100,00	100,00
10	37,00	13,50	4,98	1,83
20	13,50	1,83	0,25	0,03
50	0,67	0,00	0,00	0,00
60	0,25	0,00	0,00	0,00

ACH, cambios de aire por hora.

Segundo, usamos el modelo matemático del riesgo de infección utilizando la ecuación de Wells-Riley para calcular el efecto de la tasa de ventilación sobre la probabilidad de infección para las enfermedades de transmisión aérea. La ecuación de Wells-Riley se desarrolló para predecir la probabilidad de transmisión de las enfermedades de transmisión aérea.

Se puede calcular el riesgo de infección en un recinto cerrado según la tasa de ventilación y la generación de quanta. En el cuadro E.2 se muestran los resultados calculados en la hipótesis de un individuo infectante que entra una habitación cerrada de 6 m × 6,7 m × 2,7 m durante una hora. El riesgo de transmisión aérea de una infección de un paciente a otro disminuye cuando aumenta la tasa de ventilación, especialmente si la tasa de generación de quanta es baja, mientras que

la tasa real de generación de quanta promedio notificada para diferentes enfermedades de transmisión aérea es baja.

Las ventajas de usar tasas de ventilación mayores son también obvias. En entornos de atención de la salud, en los que los núcleos goticulares constituyen un modo importante de transmisión de enfermedades, la tasa promedio de producción de quanta en pacientes sintomáticos no sometidos a procedimientos que generan aerosoles es generalmente < 1 quanta/minuto, y entre 4–6 quanta/minuto para los sometidos a una broncoscopia. Para una tasa de producción de 10 quanta/minuto, el riesgo de infección calculado para 15 minutos de exposición en una habitación con 12 ACH es igual a 4%, mientras que con 24 ACH es de 2%, lo que ilustra la importancia de una ventilación adaptada.

Cuadro E.2 Riesgo de infección para una exposición de 15 minutos con diferentes tasas de ventilación y generación de quanta cuando un individuo infectante entra en un espacio cerrado de 6 m × 6,7 m × 2,7 m

Generación de quanta (quanta/min)	Tasa de ventilación (cambios de aire por hora) (%)							
	1	3	6	12	15	18	24	30
1	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,10	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
3	0,14	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,19	0,07	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5	0,23	0,08	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
6	0,27	0,10	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
7	0,30	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
8	0,34	0,13	0,07	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
9	0,37	0,14	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
10	0,40	0,16	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
11	0,43	0,17	0,09	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
12	0,46	0,19	0,10	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02
13	0,49	0,20	0,11	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02
14	0,51	0,21	0,11	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
15	0,54	0,23	0,12	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03
16	0,56	0,24	0,13	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03
17	0,58	0,25	0,14	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
18	0,61	0,27	0,14	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03
19	0,63	0,28	0,15	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
20	0,64	0,29	0,16	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04

Anexo F Ejemplo de ventilación natural I: Hospital Nacional Dos de Mayo, Lima, Perú

Nota: La presentación de los ejemplos de los anexos F a I no significa necesariamente que estas guías consideren que los diseños de esos hospitales tengan una ventilación eficiente. Estos ejemplos se han elegido porque hay elementos de su construcción que presentan interés para mejorar la ventilación natural. Para un diseño de la ventilación natural eficaz, las tasas de ventilación deben medirse a lo largo de un año, bajo condiciones de clima y de funcionamiento variables. Esto no se ha hecho con ninguno de los ejemplos incluidos en estos anexos.

F.1 Descripción e historia del hospital

El Hospital Nacional Dos de Mayo de Lima es un hospital general público. Se fundó en 1538 y fue el primer hospital del Perú. En 1875, el hospital se trasladó a su ubicación actual en Barrios Altos, cerca del centro histórico de Lima. Tiene 646 camas y ofrece todas las grandes especialidades médicas y quirúrgicas, además de los servicios de pediatría y obstetricia. Anualmente, 14.500 enfermos son hospitalizados, 240.000 pacientes son atendidos en consultas externas y 50.000 se reciben en el servicio de urgencias. El hospital cuenta con 248 médicos y 912 trabajadores de salud que no son médicos. El servicio de enfermedades infecciosas y tropicales es conocido en todo el país. Las habitaciones de los pacientes del departamento de afecciones respiratorias están ubicadas en el piso superior de este servicio, y tienen camas para los enfermos con tuberculosis multiresistente (TB). Los edificios de enfermedades infecciosas y tropicales se construyeron en los años cincuenta en la parte norte del hospital y se diseñaron específicamente para el aislamiento de los pacientes con tuberculosis, siguiendo los principios de diseño de los sanatorios europeos de tuberculosis (véase figura F.1).



A) Hospital Nacional Dos de Mayo
infecciosas



B) Vista del edificio del servicio de enfermedades
infecciosas

Figura F.1 Hospital Nacional Dos de Mayo

F.2 Principales estilos arquitectónicos del hospital

Muchos de los edificios del hospital actual datan de su inauguración en 1875 y presentan características arquitectónicas de la época colonial española, con techos altos (en general 4,2 m o más), grandes ventanas y claraboyas para la iluminación y la ventilación. Los servicios hospitalarios generales, médicos y quirúrgicos, con salas grandes (40 camas) de tipo “Nightingale” dispuestas alrededor de un jardín central donde los pacientes y el personal pueden relajarse al exterior. El edificio que alberga los servicios de enfermedades infecciosas y afecciones respiratorias, nombrado Santa Rosa en honor a la santa patrona de Lima, es un edificio de dos pisos con techos altos, grandes ventanas y balcones que permiten a los pacientes con tuberculosis tomar el aire (véase la figura F.2). Parte de la planta baja se ha transformado para las habitaciones de aislamiento ventiladas mecánicamente y con presión negativa, para los pacientes con tuberculosis e infectados por el VIH.

En 1971 se agregó al hospital una serie de edificios de diseño moderno. En ellos se encuentra el servicio de urgencias, los servicios de pediatría y cirugía, el laboratorio y el servicio de radiología. Estos edificios tienen en general ventanas pequeñas y techos bajos (unos 2,9 m alto).

F.3 Ventilación natural en las salas anteriores a 1950

La ventilación se midió utilizando el dióxido de carbono como gas trazador. Los cambios de aire por hora (ACH) indicados en el cuadro F.1 se midieron, a menos que se indique otra cosa, con las ventanas y puertas abiertas.

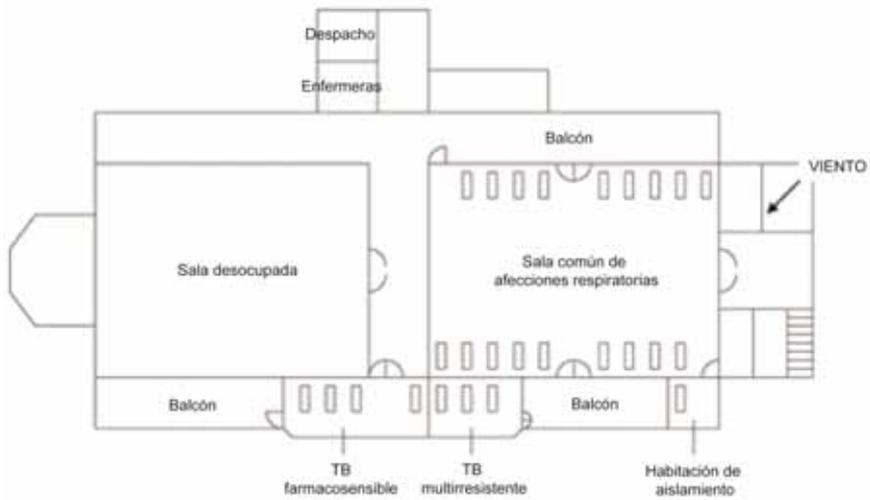
Las salas de los pacientes con afecciones respiratorias están ubicadas en el primer piso, bien expuestas a los vientos predominantes. Lima está situada en la costa y los vientos vienen del sur-oeste (del Pacífico). La sala común tiene 18 camas muy espaciadas y su superficie es de 166 m². La habitación tiene una excelente ventilación cruzada, con ventanas a ambos lados, y tiene cuatro puertas dobles.

Cuadro F.1 Datos de la sala y cambios de aire medidos por hora

Parámetros	Sala común de afecciones respiratorias	Sala de TB farmacosen sensible	Sala de TB multi-resistente	Habitación de aislamiento	Sala de procedimientos
Superficie (m ²)	166,0	51,0	35,0	11,7	23,0
Altura del techo (m)	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Superficie total de ventanas (m ²)	32,3	32,3	18,4	3,0	20,3
Superficie que se abre de las ventanas (m ²)	12,5	22,0	12,3	3,0	19,6
Superficie de puertas (m ²)	16,6 (n = 4)	9,2 (n = 2)	3,8 (n = 1)	2,0 (n = 1)	3,7
ACH medio	25,0 (n = 26)	29,0 (n = 15)	33,0 (n = 42)	49,0 (n = 7)	51,0 (n = 7)

ACH, cambios de aire por hora; TB, tuberculosis.

Nota: Las condiciones climáticas en el momento de la medición de la tasa de ventilación no se comunicaron; por consiguiente, las tasas de renovación de aire medidas son solo indicativas (valores "instantáneos" a corto plazo). Se desconoce la precisión de las medidas de ACH.



(A) Plano de las salas de afecciones respiratorias



B) Sala común de afecciones respiratorias



C) Sala de TB farmacosensible



D) Sala de TB multirresistente



E) Ubicación de la sala de TB multirresistente

Figura F.2 Plano y fotos de diferentes salas del Hospital Nacional Dos de Mayo

La sala para los pacientes con tuberculosis farmacosensible tienen cuatro camas y está bien ventilada ya que la relación entre la superficie de la ventana y la puerta es grande con respecto al volumen de la habitación y a pesar de que la sala está en el lado del edificio que está protegido de los vientos predominantes. La fachada de esta habitación se ve en el primer piso en figura F.1.

La sala de tuberculosis multirresistente está al lado de la sala de tuberculosis farmacosensible. Aunque también está a sotavento, tiene mejor exposición a los vientos predominantes. Esta sala tiene tres camas para pacientes con tuberculosis multirresistente. Las pruebas realizadas con humo demostraron sistemáticamente que el flujo de aire entra por la puerta y sale por las ventanas.

La habitación de aislamiento está ubicada cerca de la sala común principal para las afecciones respiratorias (véase figura F.2, A). La puerta da a la sala común y tiene tres ventanas que abren al exterior. Con la puerta cerrada, se midió un ACH medio de 23 con las tres ventanas totalmente abiertas ($n = 3$). La abertura de la puerta permitía una ventilación cruzada, con un ACH medio de 49 ($n = 7$). Las pruebas realizadas con humo demostraron sistemáticamente un flujo de aire dirigido de la sala principal a la habitación de aislamiento y su salida por las ventanas.

La sala de procedimientos (no representada) no se utiliza actualmente debido a los daños en la estructura de esta ala del edificio. Tiene forma hexagonal con ventanas grandes en cinco de los lados y grandes puertas en el último lado, que garantizan una ventilación cruzada. Esta habitación está también situada en el lado de sotavento del edificio. Se han hecho múltiples mediciones de la ventilación con un número cada vez mayor de ventanas o puertas abiertas.

F.4 Mejoras de la ventilación natural obtenidas mediante modificaciones sencillas

El ejemplo que se presenta aquí de mejora de la ventilación natural se realizó en una sala de espera de consultas externas (véase figura F.3). Para determinar la repercusión de las intervenciones, se midieron los ACH primero en la configuración original (claraboya herméticamente cerrada con revestimiento plástico, acristalado eliminado y sustituido por un revestimiento plástico), después se retiró el revestimiento plástico y se midieron los ACH con la nueva configuración.



A)

B)

A) Foto de la sala de espera de consultas externas. B) La tasa de ventilación aumentó de 6,5 ACH a 15 ACH medios con la apertura de las claraboyas en la sala de espera.

Figura F.3 Mejora de la ventilación natural en la sala de espera de consultas externas del Hospital Nacional Dos de Mayo

La sala de espera para las consultas externas (que incluyen la mayoría de las especialidades médicas, la cirugía y la psiquiatría) está ubicada en el gran hall mostrado en la fotografía. Los consultorios están dispuestos a un lado y otro de este hall. La entrada principal da a la calle y las puertas de los lados opuestos de la sala conducen a otras partes del hospital, según se ve en la figura F.4. Hasta 300 pacientes comparten esta habitación durante horas de consulta en las mañanas y tardes.

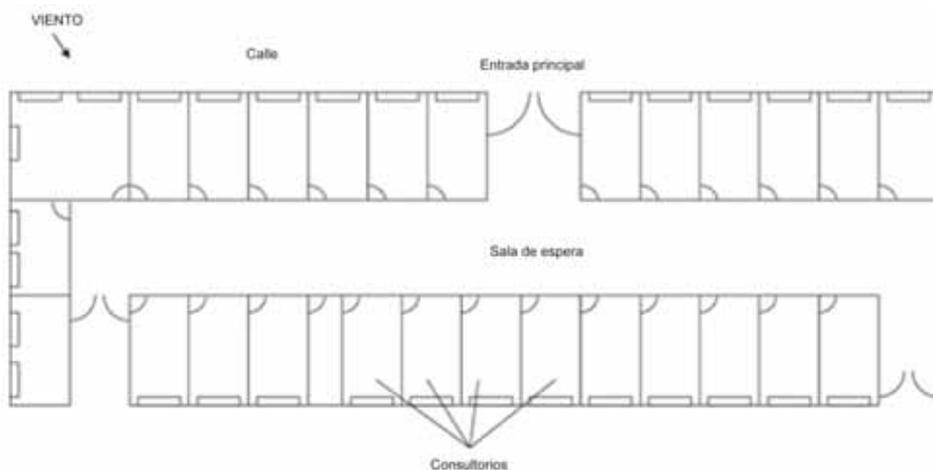


Figura F.4 Plano de la sala de espera y los consultorios

El techo de la sala de espera de consultas externas tenía originalmente cuatro secciones acristaladas herméticamente cerradas, dos que medían 14 m × 2,4 m y otras dos de 5 m × 2,4 m. Se levantaron un metro para que entrara aire en la sala de espera por el techo. La ventilación se mejoró considerablemente con esta intervención sencilla que costó aproximadamente US\$1.000. La tasa de ventilación pasó de una media de 5,5 ACH con las ventanas y puertas abiertas a una media de 15 ACH con la abertura de las claraboyas ($n = 4$).

Se recuerda a los lectores que la finalidad de estos ejemplos es presentar casos de estudio de hospitales con ventilación natural para el control de las infecciones. Algunas de las características del diseño para el control de las infecciones presentadas en estos ejemplos (salas comunes, falta de esterilizadores de manos con solución de alcohol en las fotos) muestran que no siempre son los ideales.

Anexo G Ejemplo de ventilación natural II: Hospital Grantham, RAE de Hong Kong, China

G.1 Descripción e historia del hospital

Las salas de tuberculosis (TB) del Hospital Grantham están ubicadas en el séptimo piso. Se ha utilizado ventilación natural en estas salas desde la construcción del hospital en 1957, y no se ha instalado ningún sistema central de aire acondicionado, pero en verano se utilizan ventiladores de techo (véase figuras G.1 y G.2). Las ventanas y las puertas se mantienen abiertas todo el tiempo. A continuación puede leerse una descripción del hospital en 1957:

En el diseño de un hospital de tuberculosis, los locales espaciosos y ventilados son una necesidad primordial, y este es el motivo por el que el edificio principal tiene la forma de una losa vertical estrecha bien separada del edificio de administración, pues así se permite el máximo de ventilación transversal. El hospital está orientado para aprovechar las brisas de verano, mientras que queda abrigado de los vientos fríos de invierno por los cerros situados al norte. Está expuesto al sudeste para protegerlo del sol en verano.



Figura G.1 Habitaciones y ventanas abiertas en la sala de tuberculosis del Hospital Grantham



Figura G.2 Ventilador de techo para enfriar en el verano y radiador para calentar en el invierno

G.2 Medición de las tasas de ventilación natural

Las tasas de ventilación natural se midieron el 9 y 10 de noviembre del 2005 y el 28 de agosto del 2008. En cada medición, los pacientes de cuatro salas de tuberculosis se sustituyeron por maniqués térmicos para simular los flujos térmicos ligados a la presencia de enfermos hospitalizados. La generación de calor de cada maniqué térmico fue de unos 76 vatios (W), que corresponde a un adulto en reposo.

Para medir la tasa de renovación de aire, se estudió la desaparición de un gas trazador, hexafluoruro de azufre (SF_6); este gas se inyectaba continuamente en la sala hasta que su concentración se estabilizaba, entonces se interrumpía la inyección y se medía la disminución de la concentración del gas. Se usaron dos ventiladores eléctricos para mezclar el aire en la sala durante la medición. La inyección de SF_6 se controló por muestreador dosificador multigás de tipo 1303 (Bruel y Kjar, Dinamarca) y la concentración de SF_6 se midió con un analizador monogás 3425 (Bruel y Kjar, Dinamarca). Para obviar la dificultad de garantizar una mezcla homogénea del aire en la habitación, se midió la disipación del gas trazador en dos puntos, la tasa de ventilación indicada correspondía a la media de los dos valores así obtenidos.

G.3 Tasas de ventilación medidas

Las tasas de ventilación se midieron en diferentes situaciones: con puertas y ventanas cerradas o abiertas y con extractores en funcionamiento o no. En total, se realizaron 20 pruebas (véase cuadro G.1, a continuación).

La tasa de ventilación medida aumentaba cuando la superficie total de abertura de las ventanas y las puertas aumentaba. Esta tasa alcanzó el valor máximo cuando todas las aberturas estaban totalmente abiertas. Cuando estaban cerradas, la tasa de ventilación medida debida únicamente a la infiltración no pasaba de 0,71 (prueba 15). Cuando las aberturas que dan al corredor estaban completamente abiertas, las ventanas que dan al exterior cerradas y los extractores parados, la tasa de ventilación fue de 8,7 cambios de aire por hora (ACH) (prueba 14).

La obtención de una tasa de ventilación elevada depende de la dirección del viento, de la velocidad del viento y del alineamiento de los dos orificios de ventilación con la dirección del viento predominante. Esto explica la diferencia entre las tasas de ventilación medidas en las pruebas 4 y 17 en la misma sala (véase la figura G.3). La figura G.3 muestra la temperatura, la velocidad y la dirección del viento medidas por el observatorio de Hong Kong durante las pruebas. La prueba 4 se realizó de 15.19 a 15.30 horas el 9 de noviembre del 2005, cuando la velocidad y la dirección el viento eran respectivamente de 3,6 m/s y 150° a las 15.00 horas y de 2,4 m/s y 170° a las 16.00 horas. La prueba 17 se realizó de 17.42 a 18.04 horas el 28 de agosto del 2006, cuando la velocidad y dirección del viento eran respectivamente de 4,1 m/s y 100° a las 17.00 horas y de 4,8 m/s y 90° a las 18.00 horas. A pesar de que la velocidad del viento fuera mucho mayor durante la prueba 17 que durante la prueba 4, la tasa de ventilación obtenida para la prueba 17 (18,5 ACH) fue mucho menor que la de la prueba 4 (42,2 ACH). Esto se debió a la dirección del viento. El ángulo entre la dirección del viento y las puertas y ventanas en la prueba 17 era inferior a 10°, mientras que llegaba casi a 75° en la prueba 4. El flujo eficaz relacionado con la velocidad del viento que entraba por las ventanas era de $3,0 \times \sin(75^\circ) = 2,9$ m/s para la prueba 4, mientras que la velocidad del viento eficaz era inferior a $4,5 \times \sin(10^\circ) = 0,78$ m/s para la prueba 17. Los resultados indican la importancia de la velocidad y de la dirección del viento para la tasa de ventilación.

Cuadro G.1 Tasas de ventilación medidas en las salas de tuberculosis

Prueba	Fecha	Sala	Ventanas /puertas al exterior (% abertura)	Puerta al pasillo (%abertura)	Ventilador	Tipo de habitación	ACH
1 ^a	9 de	Cubículo 7; 6/F	100	100	apagado	2 camas	30,30
2	nov. del		100	cerrada	apagado	2 camas	17,60
3	2005		50	cerrada	apagado	2 camas	14,60
4		Cubículo 4; 6/F	100	100	apagado	2 camas	42,20
5			100	cerrada	apagado	2 camas	15,40
6			50	cerrada	apagado	2 camas	10,70
7			100	cerrada	apagado	2 camas	22,50
8 ^b	10 de	Cubículo 0; 2/F	100	100	apagado	2 camas	60,20
9	nov. del		100	cerrada	apagado	2 camas	16,00
10	2005		50	cerrada	apagado	2 camas	12,90
11 ^b		Cubículo 7; 2/F	100	100	apagado	5 camas	69,00
12			100	cerrada	apagado	5 camas	31,60
13			50	cerrada	apagado	5 camas	23,50
14			cerradas	100	apagado	5 camas	8,70
15	28 de	Cubículo 4; 6/F	cerradas	cerrada	apagado	2 camas	0,71
16	nov. del		100	100	apagado	2 camas	14,00
17	2006		100	100	apagado	2 camas	18,50
18			cerradas	cerrada	apagado	2 camas	12,60
19			100	100	apagado	2 camas	14,60
20			100	100	apagado	2 camas	29,20

ACH, cambios de aire por hora.

^a Aire acondicionado de la ventana de la sala estaba en funcionamiento durante el experimento.

^b Pruebas 8 y 11: las tasas de ventilación fueron tan elevadas que los datos recogidos resultaron poco fiables.

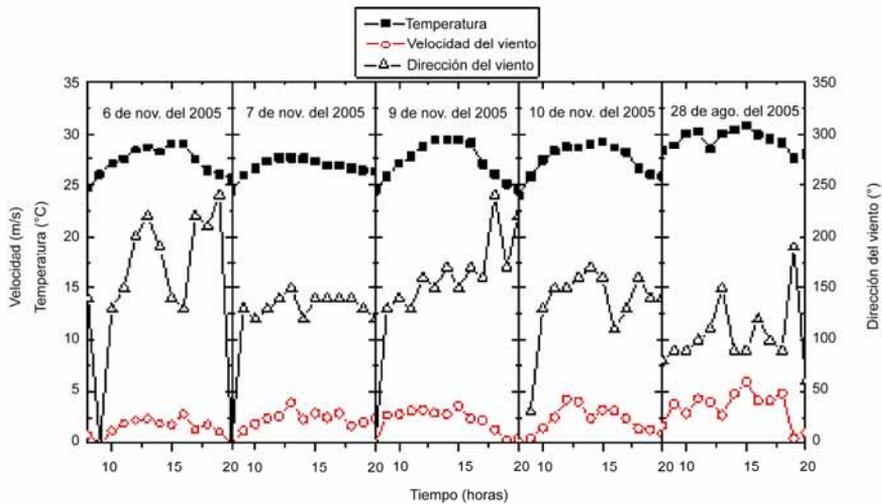


Figura G.3 Temperatura ambiente, velocidad del viento y dirección del viento medidas por el observatorio de Hong Kong en la estación meteorológica de Wong Chuk Hang, cerca del hospital Grantham

Estos resultados indican que es importante conocer la enorme incidencia de la velocidad y la dirección del viento en la tasa de ventilación y la dirección del flujo. Los arquitectos deben identificar las condiciones dominantes o medias y diseñar el edificio en función de estos datos. Estas guías están destinadas a usarse en condiciones climáticas muy variadas y en circunstancias económicas diversas, así como en una variedad ilimitada de sitios con diferentes características topográficas y variables de todo tipo. Es importante que los diseñadores de edificios, los responsables de los establecimientos y las personas encargadas de controlar las entradas y salidas de aire en los recintos críticos que puedan contener agentes infecciosos tengan en cuenta estos parámetros.

Anexo H Ejemplo de ventilación natural III: Unidad de Control de la Tuberculosis, Hospital Tan Tock Seng, Singapur

Los servicios de consultas externas de la Unidad de Control de la Tuberculosis incluyen el consultorio de diagnóstico, donde se evalúa y trata a los pacientes con tuberculosis, y el consultorio de contactos, donde las personas que han estado en contacto con los tuberculosos se someten a tamizaje y seguimiento. El servicio de hospitalización de la Unidad tiene 20 camas (véase figura H.1) y acoge a los enfermos hospitalizados por períodos largos, que reciben poca ayuda social o familiar, y a aquellos con obligación legal de tratamiento en medio hospitalario. El personal del servicio se compone de dos a cuatro enfermeras y un auxiliar por turno (tres turnos en 24 horas). El personal médico y de enfermería normalmente no usa máscaras en el servicio.



Figura H.1 Dos vistas del servicio de hospitalización de los pacientes tuberculosos; el contorno del edificio de una sola planta está despejado para permitir una ventilación natural durante todo el año

El edificio tiene un tejado largo e inclinado que sobrepasa las ventanas de cada lado; las ventanas son de vidrio laminado y se mantienen abiertas. La ventilación natural por el viento puede seguir varios ejes de flujo de aire. Hay también numerosos ventiladores de techo para la refrigeración del aire. Los pacientes están separados por sexos en dos salas y en el centro se encuentra el recinto de trabajo del personal de salud (véase la figura H.2).

El servicio tiene generalmente una ocupación del orden del 80%. Las camas se separan aproximadamente 1,35 m, pero los pacientes pueden caminar por todo el servicio y sentarse afuera donde hay una zona de entrada grande y cubierta. La zona de las oficinas del personal (no mostrada) está situada al final del servicio, al otro

lado de la entrada principal y separada de la sala principal por mamparas en lugar de puertas. Puede abrirse la puerta posterior para favorecer el flujo de aire de un lado a otro del servicio, y las ventanas laminadas permiten un flujo cruzado transversal (véase la figura H.3).

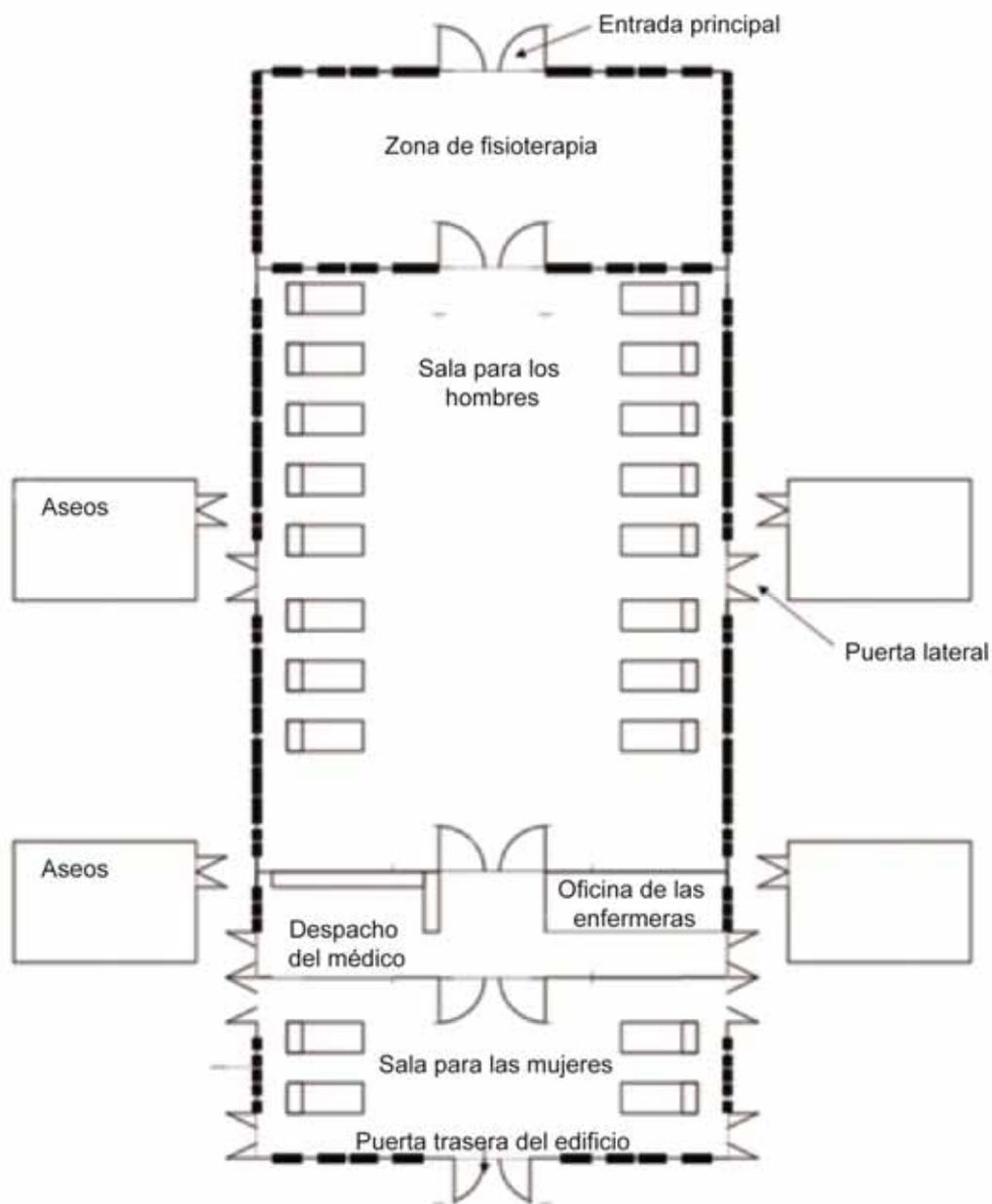


Figura H.2 Plano del servicio de hospitalización de los pacientes tuberculosos



A)

B)

A) Los tabiques laterales son incompletos y dejan un espacio libre entre la parte superior y el techo.
B) La ventilación se mejora por el techo alto y los múltiples ventiladores que cuelgan.

Figura H.3 Interior de la sala de hospitalización de los pacientes tuberculosos

La ventilación natural se ha usado en la Unidad de Control de la Tuberculosis de Singapur desde hace más de 50 años. A pesar de estar situada cerca de la zona céntrica de una ciudad insular, moderna y sobrepoblada, es un espacio abierto, amplio y agradable para los pacientes. La ventilación ayudada por el viento, tanto en el servicio de consultas externas como en la sala de hospitalización, permite la renovación del aire en todas las zonas con pacientes potencialmente infecciosos y mantiene un ambiente más saludable tanto para el personal de salud como para los pacientes.

No existen datos medidos sobre la ventilación de este establecimiento.

Anexo I Ejemplo de ventilación natural IV: Centro de Aislamiento de la OIM, Damak, Nepal

El Centro de retención de la Organización Internacional para las Migraciones (OIM) de Damak acoge a los migrantes mientras la OIM trata su expediente y se les realiza un examen médico. Las unidades de aislamiento próximas al centro permiten aislar a las personas con signos o síntomas de una enfermedad infecciosa.

Tanto el complejo (figura I.1) como los edificios individuales (figura I.2) están diseñados para proporcionar un ambiente seguro y sin riesgos para las personas aisladas y para las que por necesidad, cuidados de salud u otro tipo, deben estar en contacto con las personas infectadas. Se espera que el diseño de las unidades de aislamiento proporcione condiciones de seguridad a los ocupantes en cuanto al riesgo de transmisión de la infección por vía aérea, en particular en el caso de los migrantes a los que se les ha diagnosticado una enfermedad infecciosa.



Figura I.1 Centro de retención de la OIM en Damak



Figura 1.2 Unidad de aislamiento individual (izquierda). Espacio libre entre la pared y el tejado para permitir la ventilación natural (derecha)

Las unidades tienen tres ventanas y un gran espacio libre de 0,8 m entre la parte superior de la pared y los aleros. En la parte superior del tejado se ha instalado un extractor eólico rotatorio para aumentar la tasa de ventilación y garantizar el ascenso del aire. Sin embargo, no ha resultado eficaz.

Las unidades están diseñadas para estar ocupadas por una sola persona y disponen de una ducha. Hay letrinas comunes en el complejo.

El diseño general tiene por objeto potenciar al máximo la ventilación natural proporcionando un tiro constante, el aire nuevo debe entrar por las ventanas y salir por debajo de los aleros y por el extractor eólico.

Estas unidades son fáciles de construir y pueden hacerse en cualquier sitio con los materiales que haya en el lugar. Aunque el espacio libre debajo del tejado garantiza una ventilación eficaz durante todo el año, también puede dejar entrar la lluvia en la unidad cuando es muy intensa.

El alero del tejado debe aumentarse hasta 100 cm (desde 45 cm) para que los pacientes puedan dejar las ventanas abiertas durante la estación de las lluvias sin que el agua entre en la unidad, en caso de que estas sean intensas.

El responsable del diseño de estas unidades de la OIM tiene la intención de fijar un faldón de polipropileno de aproximadamente un metro de largo alrededor del borde del tejado. Esto protegerá cuando la lluvia venga de lado sin afectar enormemente a la ventilación del edificio.

Teniendo en cuenta la ventilación natural que podrían proporcionar unas ventanas grandes (las ventanas existentes parecen ser demasiado pequeñas), el extractor eólico y la abertura de la parte superior del tejado tal vez no fueran necesarios.

La superficie limitada del complejo implica que las nueve unidades construidas están relativamente cerca unas de otras. Una separación mayor entre las unidades (que se lograría mediante un complejo algo más grande) ayudaría a crear más movimiento del aire y por consiguiente mayor intercambio de aire entre las unidades, lo que podría reducir el riesgo de transmisión de las infecciones por vía aérea de una unidad a otra.

La ventilación adecuada puede reducir la transmisión de infección en los entornos de atención de la salud. La ventilación natural puede ser una de las medidas eficaces ambientales para reducir el riesgo de propagación de infecciones en la atención de la salud. En el ambiente apropiado, la ventilación natural puede ser el método más usado para reducir la propagación de infecciones.

Esta guía define primero la ventilación y después la ventilación natural. Explora los requisitos de diseño para la ventilación natural en el contexto del control de infecciones, describiendo los principios básicos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de un sistema eficaz de ventilación natural para controlar la infección en entornos de atención a la salud.

Esta norma ha sido formulada para los profesionales del control de infecciones y los trabajadores de salud, así como para los profesionales de medicina, ingeniería y arquitectura involucrados en las actividades relacionadas con la reducción del riesgo de peligros biológicos en los entornos de atención de la salud.

Para mayor información, vea: <http://www.paho.org/saludocupacional/ventilacionnatural>

