

Repositorio Digital Institucional
"José María Rosa"

Universidad Nacional de Lanús
Secretaría Académica
Dirección de Biblioteca y Servicios de Información Documental

Gabriela Andrea Casabianca

Incorporación de variables subjetivas en el desarrollo de un procedimiento para optimizar el confort visual en relación con la luz natural en aulas de edificios destinados a uso educacional

Tesis presentada como requisito final para la obtención del Título de Magister en Metodología de la Investigación Científica de la Universidad Nacional de Lanús.

Director de Tesis

John Martin Evans

El presente documento integra el Repositorio Digital Institucional "José María Rosa" de la Biblioteca "Rodolfo Puiggrós" de la Universidad Nacional de Lanús (UNLa)

This document is part of the Institutional Digital Repository "José María Rosa" of the Library "Rodolfo Puiggrós" of the University National of Lanús (UNLa)

Cita sugerida

Casabianca, Gabriela Andrea. (2013). Incorporación de variables subjetivas en el desarrollo de un procedimiento para optimizar el confort visual en relación con la luz natural en aulas de edificios destinados a uso educacional [en Línea]. Universidad Nacional de Lanús. Departamento de Humanidades y Artes

Disponible en: http://www.repositoriojmr.unla.edu.ar/descarga/Tesis/MAMIC/034225_Casabianca.pdf

Condiciones de uso

www.repositoriojmr.unla.edu.ar/condicionesdeuso



www.unla.edu.ar
www.repositoriojmr.unla.edu.ar
repositoriojmr@unla.edu.ar



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LANUS

DEPARTAMENTO DE HUMANIDADES Y ARTES

*TESIS DE MAESTRIA EN METODOLOGIA DE LA
INVESTIGACION CIENTIFICA*

**Incorporación de variables subjetivas en el desarrollo de un
procedimiento para optimizar el confort visual en relación con la luz
natural en aulas de edificios destinados a uso educacional.**

Maestranda: Gabriela Andrea Casabianca

Director: Dr. Arq. John Martin Evans

2013

Nómina de siglas y abreviaturas

AADL: Asociación Argentina de Luminotecnia

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology

CIE: Commission Internationale de L'Éclairage (Comisión Internacional de Iluminación)

CIHE: Centro de Investigación Hábitat y Energía

FADU: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo

FLD: Factor de Luz Diurna (también Coeficiente de Luz Diurna)

IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

SNC: Sistema Nervioso Central

Introducción

El uso racional y sustentable de la energía es un tema fundamental en el mundo en que vivimos y el medio construido presenta una importante posibilidad de contribuir a mejorar las condiciones de uso de esos recursos. El aprovechamiento de luz natural es uno de ellos: la naturaleza lo ofrece sin costo alguno, el ser humano lo utiliza permanentemente para su propia regulación fisiológica y, desde el punto de vista de la calidad de la luz que provee, resulta óptima teniendo en cuenta que el sistema visual de los seres humanos responde evolutivamente a entornos con luz natural: la iluminación artificial es un recurso “nuevo” (poco más de 100 años desde el descubrimiento de la lámpara eléctrica) en la historia de la humanidad.

El poder contar con luz independientemente de las condiciones exteriores permitió desarrollar nuevas ideas y proyectos en el campo de la arquitectura: aislarse del exterior pareció en su momento un logro importante, que sólo requería de energía. Hoy se reconoce el alto precio que se debe pagar por esto: uso excesivo de energía proveniente de fuentes no renovables, necesidad de producir energía de otras fuentes no siempre limpias (energía térmica o nuclear) y emisiones de gases efecto invernadero que alteran el equilibrio natural a nivel planetario.

Hasta hoy, en muchos casos, para calcular la superficie de una abertura, el profesional de la arquitectura utiliza dos criterios: uno estético, en relación con la imagen arquitectónica que busca para su obra, y el otro, meramente “formal”, de cumplir con una indicación normativa que señala que la superficie de iluminación (natural) es una cierta proporción o porcentaje matemático respecto a la superficie total de un espacio. Esto está cambiando poco a poco, apareciendo y tomando fuerza nuevos criterios vinculados a la calidad de la iluminación interior y al bienestar de los ocupantes de los espacios.

En el marco de esta propuesta, esta tesis presenta el desarrollo de un procedimiento para optimizar el aprovechamiento de la luz natural en edificios educacionales, juntando la instancia de exposición de un diseño de metodología de investigación con la inquietud profesional de buscar nuevas alternativas en las herramientas para apoyar el diseño arquitectónico, incorporando temas relacionados con la sustentabilidad y el uso racional de la energía.

El trabajo de tesis comprende 6 capítulos y dos Anexos. El capítulo 1 se desarrolla la introducción general al tema y se presenta la problemática a investigar, la justificación del tema, los objetivos y el marco teórico, tomando en cuenta cuatro áreas temáticas: la iluminación natural en arquitectura, los factores humanos en relación con la iluminación, el

confort visual y la iluminación natural en edificios, y finalmente la relación entre iluminación natural, confort visual y el diseño de edificios educacionales.

El capítulo 2 expone los antecedentes, empezando por el Estado de la cuestión para luego describir brevemente los resultados de investigaciones sobre confort visual y factores humanos, desde el punto de vista fisiológico-psicológico, el confort visual y la calidad de iluminación y los antecedentes sobre iluminación natural en aulas de edificios educacionales.

A partir del capítulo 3 se introducen las variables vinculadas a la iluminación natural y al confort visual en arquitectura, partiendo de la revisión teórico-bibliográfica sobre el tema. Se describen las variables relacionadas con la calidad de la iluminación natural y el confort visual, y más específicamente, las variables vinculadas con el confort visual en espacios destinados a educación. También se analizan los aspectos de la envolvente arquitectónica que tienen influencia en el confort visual, finalizando con un resumen de los aspectos involucrados.

En el capítulo 4 se analiza la identificación de variables subjetivas de confort visual a partir de algunos casos de estudio, elaborada a partir de una serie de encuestas realizadas a los ocupantes de las aulas de edificios educacionales.

En el capítulo 5 se desarrolla y describe el método propuesto para optimizar condiciones de confort visual con luz natural en aulas de edificios educacionales, exponiendo en primer lugar el análisis de la influencia de las variables involucradas en el dimensionado de la superficie de aberturas para optimizar condiciones de iluminación natural para luego describir el procedimiento de pre-dimensionado de superficies de aberturas para optimizar iluminación natural.

El capítulo 6 describe el desarrollo metodológico del trabajo de tesis, comprendiendo la elaboración de hipótesis, la recopilación de los datos, comentarios sobre la muestra considerada en los casos de estudio, el plan de análisis y tratamiento de los datos, la estructura de las matrices de datos y los centramientos para direccionar el análisis.

Finalmente se presenta la conclusión final y se adjuntan en los Anexos el desarrollo completo de la encuesta utilizada en los casos de estudio y un glosario sobre términos vinculados al tema desarrollado.

Capítulo 1

Introducción al tema de la tesis

La luz natural es una fuente de iluminación de excelente calidad y amplia disponibilidad, que permite iluminar espacios interiores, ahorrando energía de origen fósil, reduciendo impactos ambientales negativos y contribuyendo al uso racional de recursos no renovables. En la arquitectura es utilizada para realzar la calidad de los espacios diseñados y, en general, responde a las preferencias de los usuarios, cuyo sistema visual responde fisiológicamente mejor al espectro físico de la luz natural.

Por otra parte, el confort térmico y luminoso de los espacios donde desarrolla sus actividades el ser humano es fundamental para su bienestar físico y mental, además de promover un adecuado rendimiento en las actividades que lleva a cabo, algo que resulta fundamental en edificios de uso no residencial como educacionales, de oficinas o industriales. Se ha investigado y demostrado una asociación entre la iluminación natural y el rendimiento de los estudiantes a través de los resultados de exámenes estandarizados para nivel primario en los Estados Unidos (Herschong, 1999). Las conclusiones obtenidas muestran que calidad ambiental de los espacios influye facilitando o no el desarrollo de las actividades que se realicen en ellos.

Muchos profesionales del campo de la arquitectura piensan que el diseño de la luz natural es simplemente cuestión de experiencia y sentido común; se considera que tiene que ver con cuestiones de composición de las fachadas de edificios y se recurre a ejemplos, antecedentes e inclusive modas o reglas de estilo como apoyo en el proceso de diseño. Y siempre se puede recurrir a la iluminación artificial para compensar deficiencias o errores (Baker / Steemers, 2002), más aún con la amplia variedad de luminarias eléctricas disponibles y las bajas tarifas de energía convencional vigentes en nuestro país.

Las nuevas tendencias globales relacionadas con la necesidad de solucionar problemas vinculados con las fuentes de energía no renovables y al calentamiento global, han impulsado la revisión crítica del diseño de la luz natural, con el fin de promover el ahorro de energía y, además, se han comenzado a investigar también diversos aspectos relacionados con el confort visual. Si bien se busca iluminar de manera eficiente y económica, basándose en mediciones físicas y fotométricas más que en respuestas emocionales a la luz, las nuevas investigaciones están orientadas a la valorizar aspectos subjetivos, incluyendo también aspectos psicológicos (Altomonte, 2009), es decir, aportar al diseño los factores humanos. J. Veitch (2000, 2001) ha señalado la necesidad de orientar las investigaciones al desarrollo de nuevas tecnologías en iluminación, incluyendo luz natural; al diseño y la

arquitectura, y al conocimiento sobre los factores humanos, incluyendo aspectos biológicos y psicológicos y sus efectos.

La luz natural es importante en los edificios por su calidad, contenido espectral y variabilidad, aspectos a los que el sistema visual humano está evolutivamente adaptado (la generalización del uso de la luz artificial es relativamente reciente, los últimos 100 años aproximadamente). Las reacciones de los ocupantes muestran que la luz natural es deseable porque cumple con los dos requerimientos humanos básicos: permite ver bien tanto el objeto de trabajo como el espacio circundante y agrega a la experiencia cierta estimulación ambiental, relacionada además con la percepción temporal (Boyce, 1998).

La luz natural tiene una alta iluminancia y permite una excelente discriminación y rendimiento de color; estas dos propiedades implican que la luz natural provee las condiciones óptimas para una buena visión. Sin embargo, también pueden aparecer problemas de brillo solar, iluminancias excesivas y reflejos que podrían interferir con una confortable visión.

Los requerimientos de luz natural en los edificios tienen relación con los niveles de iluminación recomendados para el desarrollo adecuado de diferentes tareas, según el uso del edificio y de los espacios, y el lapso del tiempo total de ocupación en que esos niveles pueden ser provistos por la luz natural, siempre teniendo como objetivo el logro del confort visual para los ocupantes. En algunos casos, los códigos edilicios agregan especificaciones sobre luz natural en espacios con largos períodos de ocupación; por ejemplo, el objetivo razonable en aulas escolares es que el nivel de iluminancia debe exceder los 200 lx en el 80% de los días de ocupación durante el año lectivo. Los sistemas de certificación de sustentabilidad edilicia como LEED otorgan créditos cuando el diseño favorece la obtención de buenos niveles de iluminación natural en una alta proporción de los puestos de trabajo en el edificio.

Es importante que los nuevos estudios sobre el tema aporten a los profesionales del diseño de las herramientas necesarias para lograr interiores bien iluminados, confortables para sus ocupantes y que además contribuyan al uso racional de la energía en los edificios.

El efecto de la luz natural en la performance para una cierta tarea depende de cómo la luz llega al espacio y al plano de trabajo. En un edificio, las aberturas (ventanas) constituyen las fuentes de luz natural y además aportan la conexión con el medio exterior. El diseño de las ventanas es importante para interceptar y redistribuir la luz exterior del sol, contribuyendo positivamente a la iluminación general, y para minimizar efectos negativos de reflejos y ganancias térmicas no deseadas. La luz natural disponible depende también de las

decisiones respecto a las propiedades de las superficies del local: texturas, reflectancias y colores.

Un aspecto importante del buen diseño de la iluminación natural es comprender cómo son sus efectos en los ocupantes; así, la evaluación subjetiva de los ocupantes es fundamental para verificar la aptitud del espacio o del edificio. Sin embargo, resulta muy complicado validar algunos resultados, sobre todo aquellos que tienen que ver con las acciones de esos ocupantes, en muchos casos realizadas por costumbre y con total desconocimiento de sus consecuencias sobre las condiciones de confort. En estos casos, la evaluación post-ocupacional de edificios existentes es una herramienta fundamental para poder mejorar las condiciones de confort, aportando soluciones de diseño, tecnológicas y operativas a problemas de disconfort que incidan negativamente en las condiciones de habitabilidad.

Las variables de análisis que dependen directamente del comportamiento no siempre lógico de los usuarios son las más difíciles de validar a través de métodos objetivos, es decir, no siempre el disconfort expresado por el usuario tiene su origen en un incorrecto aprovechamiento del recurso ambiental debido a causas relacionadas con el proyecto arquitectónico del edificio escolar. Las simulaciones mediante programas de computación y ensayos a escala en cielos artificiales o simuladores del movimiento solar permiten obtener una buena aproximación a las condiciones existentes; sin embargo, aparecen diferencias difíciles de sistematizar, sobre todo en el campo de la iluminación natural y sobre la influencia de la radiación solar, cuando se evalúan las condiciones bajo un cielo real parcialmente cubierto.

El confort lumínico es un factor muy importante para la salud y la productividad laboral de las personas y esto es de particular importancia en los edificios educativos, considerando que son edificios de uso predominantemente diurno, y en relación con las actividades se realizan en ellos. Un buen diseño de iluminación natural tiene un efecto positivo en la valoración del diseño de escuelas, mayor al de otras estrategias de diseño sostenible. Una adecuada iluminación se puede conseguir de dos maneras: a través de la iluminación natural, aprovechando el recurso solar, y por medio de la iluminación artificial, que puede ser utilizada durante el día como complemento de la luz natural, cuando ésta resulta insuficiente por razones climáticas.

En edificios destinados a educación, el logro de adecuadas condiciones de confort lumínico (y térmico) incide en la calidad de los espacios donde se lleva a cabo el proceso de enseñanza y aprendizaje, facilitándolo al evitar o disminuir situaciones de estrés inducidas por factores ambientales que producen disconfort en los usuarios de estos espacios (Leslie, 2010). Apropiadamente diseñada, la iluminación natural en las escuelas crea interiores dinámicos e interesantes, que contribuyen a un entorno saludable para las actividades, al

mismo tiempo que reduce la demanda de energía; la luz natural puede ayudar a mejorar la performance de los estudiantes, a crear un ambiente interior más saludable y a incrementar la atención.

La luz natural aporta beneficios psicológicos en la salud y el bienestar de los niños; permite un sentido de conexión a la naturaleza y además es de calidad superior a cualquier luz que económicamente puede ser generada por fuentes artificiales. Para contribuir al desarrollo de una actitud saludable hacia el estudio y hacia la vida en general, es importante diseñar espacios destinados al aprendizaje donde puedan percibir una sensación de bienestar (Pattini, 2005). Además, dados los niveles de iluminación requeridos, posibilita un interesante potencial de ahorro de la energía destinada a iluminación.

En la Argentina, el anteproyecto de Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar reconoce explícitamente la importancia de asegurar condiciones de confort en los espacios de edificios escolares y promueve entre sus objetivos la necesidad de lograr adecuadas condiciones de confort mediante técnicas de acondicionamiento natural y recomienda la aplicación de varias normas nacionales (IRAM 11.603, por ejemplo) con referencia a las condiciones de transmitancia térmica, iluminación natural, orientación y asoleamiento. Sin embargo, el capítulo referido a requerimientos para evaluación de proyectos no incluye verificaciones o evaluaciones de esas condiciones. Con respecto a las condiciones generales de iluminación, existe una normativa, la IRAM-AADL J 20-04, de Iluminación en escuelas, que hace una referencia de algunas características requeridas, desarrollando con mayor detalle las condiciones para iluminación artificial; sin embargo, la falta de actualización desde su fecha de aprobación (1974) demuestra el limitado interés en el tema.

Problema de investigación

Las normativas y métodos de cálculo de uso común en iluminación están basados en el análisis de los niveles de luminancia según cálculos y mediciones físicas y fotométricas asociadas a la iluminación artificial. Por otra parte, la respuesta fisiológica del ojo humano y su percepción de confort visual en un ambiente con luz natural difieren con respecto a la luz artificial.

Si bien existe un reconocimiento de la importancia de la percepción subjetiva de los ocupantes de los espacios arquitectónicos, no existen normativas, guías o métodos que contemplen como variables en el diseño de la iluminación interior a estas percepciones subjetivas que se relacionan con las condiciones de iluminación en la totalidad de los espacios arquitectónicos y no sólo con las áreas focales de desarrollo de actividades específicas dentro de los locales.

Los problemas de calidad de iluminación que surgen una vez que los edificios son habitados requieren de complejos estudios adicionales realizados por profesionales especializados y soluciones *ad-hoc* que no siempre satisfacen las necesidades de sus ocupantes; estas cuestiones, sin embargo, podrían haber sido previstas y solucionadas en el proceso de proyecto del edificio con un diseño que contemplara como una de sus pautas la obtención de adecuadas condiciones de confort visual.

El problema de investigación consiste en plantear un procedimiento o interfase de diseño, preferiblemente gráfica para facilitar su implementación, que permita al profesional arquitecto sin conocimientos especializados en temas de iluminación natural contemplar variables subjetivas de confort visual desde las etapas iniciales de diseño del anteproyecto. El resultado de la aplicación de este procedimiento sería plasmado en el diseño de las estrategias de iluminación natural implementadas en el proyecto arquitectónico.

Si bien los aspectos cualitativos de la iluminación natural involucran factores subjetivos que son difíciles de incorporar en el proceso convencional de diseño, es posible desarrollar un procedimiento complementario del diseño para asegurar la calidad de la iluminación natural resultante, y que además pueda ser aplicado por profesionales sin especialización en el tema. Así, en el desarrollo de este trabajo se identificarán variables subjetivas de confort visual con el fin de incorporarlas en el desarrollo de un procedimiento para optimizar el diseño de la iluminación natural en un espacio arquitectónico destinado al uso temporal habitual, como es el caso de aulas de escuelas.

La hipótesis propuesta plantea que si se identifican y definen las variables subjetivas de confort visual relacionadas con calidad de la iluminación natural, se podrán sistematizar junto con otras variables físicas y fotométricas, y obtener un procedimiento para predimensionar las superficies de aberturas, que facilitará mejorar la calidad de la iluminación natural y el confort visual de los ocupantes desde la etapa de proyecto, considerando las características de disponibilidad de luz solar de acuerdo a las condiciones climáticas, a diferencia de los procedimientos tradicionales de predimensionado basados en la indicación de una cierta proporción de aberturas con respecto a la superficie del local, que sugieren una proporción matemática independiente de las condiciones reales de disponibilidad de luz natural.

Justificación del tema

El diseño de las aberturas en un edificio es un aspecto que, en la práctica profesional del arquitecto, está vinculado a la imagen o estética de la envolvente edilicia, y la iluminación natural parece ser un aspecto asociado, donde el único requerimiento es cumplir con una

cierta proporción de abertura respecto a las superficies de los locales para asegurar un cierto nivel de luz natural. Evans (AAVV, 2001, Cap. 6) ha señalado claramente que *“...las aberturas son elementos con importante ponderación en un proyecto de arquitectura. Los elementos móviles de las aberturas son necesarios para controlar adecuadamente las condiciones lumínicas, acústicas y térmicas; entonces es importante lograr un adecuado diseño de los mismos en relación al grado de satisfacción de los usuarios”*.

Este cambio en el criterio del diseño de las aberturas de edificios, que incorpora a la iluminación natural como una variable importante en la etapa de proyecto, requiere, además de una revisión de los conocimientos sobre el tema que se imparten en la formación profesional y de nuevas herramientas de diseño que orienten al arquitecto en la etapa de génesis del proyecto de arquitectura. Y un aspecto importante es que esas herramientas resulten fáciles de comprender y aplicar y que posibiliten complementar el conocimiento adquirido en la práctica profesional, resultando un apoyo en la etapa de proyecto.

Por otra parte, la inquietud personal respecto a los problemas vinculados a la iluminación natural en aulas y los problemas de confort visual y percepción subjetiva de confort, surgió a partir del desarrollo del proyecto UBACyT “Evaluación post-ocupación de condiciones de confort térmico y visual en edificios escolares”. Como parte del trabajo, se realizaron evaluaciones post-ocupación encuestando a distintos grupos de alumnos ocupantes de las aulas estudiadas (Casabianca, Eguía 2005), mientras que, al mismo tiempo, se realizaron mediciones de temperatura mediante dataloggers y del nivel de iluminación natural utilizando luxómetros; en las encuestas realizadas se incluyeron preguntas destinadas a detectar de factores de disconfort que pudieran ser identificados por los usuarios tales como reflejos, contrastes, luminancias, sombras o reflexiones.

Los resultados obtenidos y su relación con el confort muestran diferencias entre los valores objetivos obtenidos en las mediciones y la percepción subjetiva de los usuarios. Esta situación es muy marcada con referencia a las condiciones de iluminación: los valores medidos pueden ser comparados con las tablas actualizadas de niveles de iluminación recomendados en distintos estudios o normativas de acuerdo a los usos y estos valores discrepan respecto a los niveles de iluminación percibidos como confortables por los ocupantes. En casi todos los casos, los valores medidos a nivel del plano de trabajo son notoriamente más bajos que los niveles sugeridos por las tablas de referencia; sin embargo los usuarios manifestaron su conformidad con los niveles de iluminación existentes, juzgando que no era prioritario realizar mejoras. En otros casos, los niveles de iluminación medidos coinciden o superan ligeramente los niveles indicados por las normativas y los ocupantes los perciben como altos, inclusive juzgándolos como no confortables, y mostrando su preferencia por niveles de iluminación menores.

A partir de estos resultados, aparece la necesidad de tratar de compatibilizar lo percibido por los ocupantes con los requerimientos de las normativas, con el fin de relacionar desde las etapas iniciales del diseño la percepción subjetiva con el diseño de la iluminación natural. Así, este trabajo apunta a una herramienta auxiliar de diseño que contemple este problema.

Objetivos

El objetivo principal del trabajo es elaborar un procedimiento sencillo, preferiblemente gráfico, para orientar el diseño de aberturas, que contemple las condiciones de confort visual vinculadas a la iluminación natural en espacios interiores de edificios destinados al uso educacional durante la etapa de proyecto, permitiendo así obtener un diseño edilicio que favorezca la satisfacción de las necesidades visuales de sus ocupantes.

Los objetivos secundarios contemplados son:

- Identificar variables subjetivas de confort visual relativas a la iluminación natural, diferenciándolas de variables asociadas a sistemas de iluminación artificial.
- Identificar los problemas comunes de confort visual en espacios interiores vinculados a la percepción del nivel de iluminación por parte de los usuarios del local.
- Analizar distintos métodos de evaluación de la iluminación natural que puedan ser adaptados para incorporar variables subjetivas y que se puedan aplicar en la etapa de proyecto.
- Estudiar la relación entre la iluminación natural y la percepción subjetiva de confort.

Marco teórico

Si bien las primeras investigaciones en el campo de la iluminación estuvieron enfocadas en iluminar adecuadamente los espacios de manera eficiente y económica, basando sus estudios y cálculos en mediciones físicas y fotométricas sin considerar las posibles respuestas subjetivas o emocionales a la luz, actualmente se le otorga mayor consideración a los factores humanos y a los efectos fisiológicos y psicológicos (Altomonte, 2009), junto a los tradicionales requerimientos de niveles de luminancia y su distribución sobre las áreas de interés. Las nuevas investigaciones en el campo de la iluminación focalizan crecientemente el interés de sus estudios en los aspectos subjetivos y los efectos no-visuales de la luz natural sobre procesos biológicos y el sistema circadiano humano (Altomonte, 2008), con el fin de lograr no sólo una mejor calidad de iluminación en el interior de los edificios sino también incluir en el proceso las necesidades biológicas, visuales,

expectativas y preferencias de los ocupantes para promover el diseño de espacios saludables para su bienestar.

Veitch (2000) ha realizado diversas investigaciones en las que ha establecido que la calidad de la iluminación es el resultado de componentes de desempeño humano (confort visual, rendimiento visual, fotobiología), arquitectura y economía (incluyendo aspectos energéticos y de instalaciones). A modo de síntesis, ha elaborado un diagrama que relaciona estos puntos:

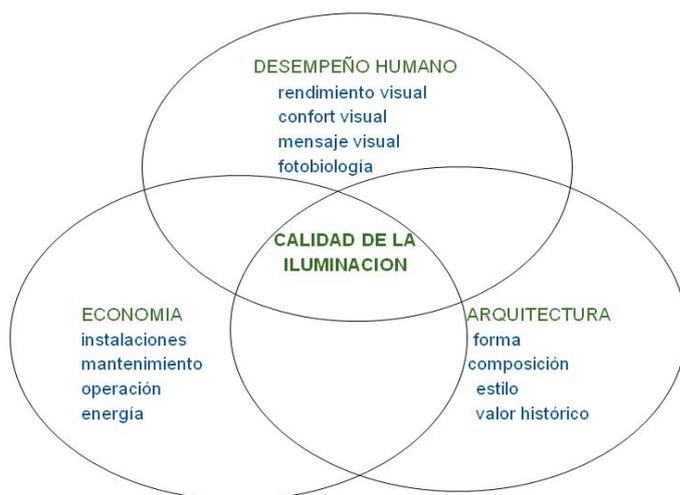


Diagrama de Veitch

La calidad de la iluminación se ha convertido en un objetivo fundamental del diseño y está determinada por el juicio relativo que depende del contexto de uso, el bienestar de las personas y su integración con condicionantes arquitectónicas y económicas. Los campos temáticos en desarrollo actualmente son: la investigación orientada al desarrollo de tecnologías en iluminación, incluyendo el aporte de la luz natural; investigación orientada al diseño y la arquitectura, y la investigación sobre los factores humanos, incluyendo procesos y efectos biológicos y psicológicos.

Los avances tecnológicos y de materiales, como por ejemplo nuevos tipos de vidrios, dispositivos de control de luz artificial y luminarias eficientes no han sido acompañados por avances en la calidad de diseño, aunque existen nuevas herramientas de simulación con computadoras o bien utilizando modelos a escala. Los aspectos vinculados al proceso de diseño a nivel del profesional arquitecto son todavía relativamente intuitivos, sin contar con herramientas que puedan ayudar al proyectista en las etapas iniciales de diseño; los métodos de simulación consisten en general en la verificación de diseños ya definidos, y en muchos casos los problemas son detectados en edificios ya construidos.

Las mejoras en la eficiencia energética de los edificios contemplan la aplicación de nuevas estrategias de acondicionamiento térmico, ventilación e iluminación; esto último implica optimizar el uso de la iluminación natural y recurrir a sistemas de iluminación artificial eficientes. Aparecen entonces ciertas condicionantes en la implantación y la forma edilicia, la orientación y en el diseño de las áreas vidriadas, además de la necesidad de contar con estrategias de control de la iluminación, tanto natural como artificial.

El diseño de la iluminación natural es un punto indispensable para iluminar no sólo eficientemente sino también confortablemente, satisfaciendo las necesidades de los ocupantes con economía, ahorro de energía y bajo mantenimiento (Boyce, 1998); la satisfacción de los ocupantes es indispensable para la aceptación de las soluciones técnicas propuestas que combinen iluminación natural y artificial con el fin de lograr la optimización energética (Galasiu & Veitch, 2006; Pattini, 2007).

Se puede considerar la satisfacción visual como la ausencia de disconfort visual más opiniones o sensaciones positivas respecto al medio ambiente luminoso. El problema es precisamente su evaluación, que hace necesaria su medición en forma cuantitativa y cualitativa, más la necesidad de validación de esas mediciones. Actualmente existen capacidades para el diagnóstico de la satisfacción visual, aunque no para su predicción (Rodríguez y Pattini, 2010); el estudio sistemático de los aspectos involucrados en relación a las características físicas y lumínicas de los espacios en relación con necesidades y preferencias de los ocupantes es un primer paso para desarrollar futuras modelizaciones que permitan contemplarla desde las etapas iniciales del proyecto.

En el caso de los distintos espacios de edificios destinados a educación, los requerimientos de iluminación varían notablemente según los usos: salones de arte y música, salas de computación, aulas tradicionales y gimnasios; también son distintos los requerimientos de iluminación sobre el plano de trabajo horizontal, sobre paredes y pizarrón, o bien sobre pantallas de computadoras. El problema de diseño es lograr buenos niveles de luz en todas las superficies de los locales, asegurando un buen nivel, calidad y distribución de la iluminación para todos los ocupantes. Si bien han aparecido nuevos requerimientos debido a problemas de iluminación en relación con el uso de pantallas de computadoras planas donde la calidad de luz y el control de reflejos es más importante que los niveles de luz sobre el plano horizontal, este criterio sigue siendo el más importante ya que la lectura y escritura sigue predominando en aulas de escuelas.

En este marco general, el problema planteado en esta tesis se centra en la posibilidad de desarrollar un procedimiento sencillo para incorporar las variables subjetivas de confort visual, complementando la tarea del proyectista con el fin de guiar algunos aspectos del diseño arquitectónico para obtener espacios más adecuados a las necesidades de

satisfacción visual del ocupante, reduciendo la necesidad de implementar soluciones correctivas luego de la materialización y ocupación del edificio.

A continuación se presentan los distintos aspectos que conforman el marco teórico de este trabajo de tesis. Abarcan cuatro aspectos: conceptos básicos sobre iluminación natural en la arquitectura, desarrollo de temas vinculados a los factores humanos relacionados con la iluminación que sustentan la importancia de la percepción subjetiva de los ocupantes, aspectos que relacionan a la iluminación natural con el confort visual y por último, los que vinculan la luz natural y el confort visual en el caso particular de los edificios educacionales.

Iluminación natural en arquitectura

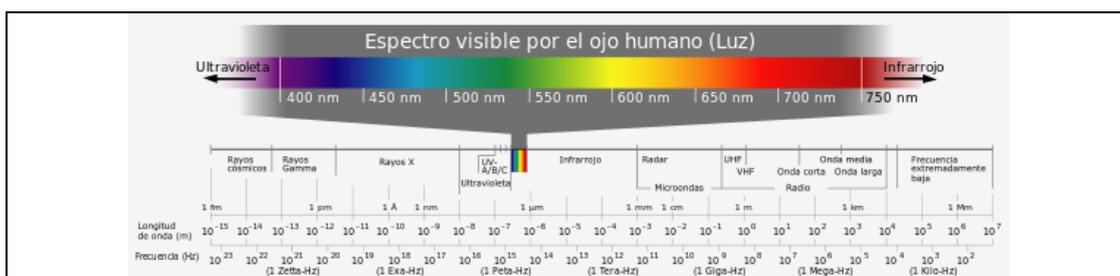
Desde épocas prehistóricas, la luz del sol fue la fuente primaria para la información para los seres humanos, a partir de los ciclos día – noche. Las aberturas en la arquitectura primitiva han evolucionado en modernas ventanas, que aún mantienen ese rol primario de proveer luz natural en los espacios interiores de los edificios. La luz natural fue la principal fuente de luz hasta el siglo XX, cuando el desarrollo de las lámparas y la disminución de costos, sumado a la disponibilidad de energía, permitieron generalizar el uso de la iluminación artificial.

La envolvente de un edificio constituye un verdadero filtro de las influencias exteriores, aprovechando las favorables o controlando aquellas que producen impactos negativos con el objetivo de optimizar las condiciones interiores con el fin de lograr confort para sus ocupantes. La luz natural se incluye entre los factores externos que modifican las condiciones interiores de un edificio; si bien depende de las condiciones exteriores, el proyectista puede controlar o aumentar su transmisión y mejorar su distribución mediante un adecuado diseño edilicio.

El aprovechamiento de la luz natural es una importante estrategia para mejorar la eficiencia energética de un edificio, minimizando el consumo de energía destinado a iluminación artificial. Entre sus ventajas se pueden mencionar: mejora la calidad de la iluminación, reduce el consumo de energía destinado a la iluminación artificial, disminuye también el costo económico que implica esa energía adicional, reduce del aporte de calor proveniente de las lámparas, mejora saludablemente las condiciones de vida y trabajo en los espacios interiores (considerando tanto el confort visual como aspectos psicológicos); permite vistas, conexión con el exterior y la referencia temporal durante el día.

Físicamente, la luz es una fuente de radiación electromagnética proveniente del sol, que se encuentra dentro de lo que se denomina rango visible, y no existe todavía ningún tipo de

iluminación artificial que pueda replicar su variación espectral en los distintos momentos del día o épocas del año. Fisiológicamente, la luz es un efectivo estimulante de los sistemas visual y circadiano humanos (Boyce *et al*, 2003). Entre los beneficios de la luz natural en arquitectura, además de la disminución del consumo de energía, se pueden mencionar las mejores condiciones de apariencia del espacio y los objetos en general, apariencia de color de personas y objetos, sumado a los aspectos positivos sobre los ocupantes, como menos problemas visuales, mayor productividad, mejor confort psicológico y salud en del sistema visual (Brennan 2007).



Composición de espectral de la luz natural. (Fuente: es.wikipedia.org)

La iluminación natural en interiores es tan buena como el arquitecto la haya diseñado. La luz en un espacio se puede caracterizar en función de tres aspectos: cantidad, espectro y distribución de la luz. Las estrategias para iluminación natural están directamente relacionadas con el diseño edilicio; sus características en un local dependen principalmente de su geometría y proporciones, de la localización y orientación de ventanas y aberturas, y de las características de las superficies internas.

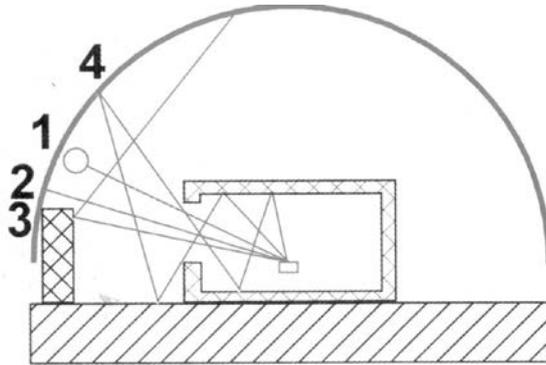
Los distintos aspectos que tienen influencia en el diseño para obtener un adecuado nivel de iluminación natural son:

- A escala del edificio: en relación con la disponibilidad de luz natural, la presencia de obstrucciones del entorno y características de diseño del edificio mismo en su totalidad (techos, patios, disposición de bloques)
- A escala del local: sus características, la ubicación de las aberturas (unilateral, bilateral, cenital), sus proporciones y geometría y la reflectancia de las superficies interiores.
- En aberturas: las ventanas; su diseño, dimensiones, divisiones, orientación, ubicación en el local y la presencia de sistemas de protección solar.
- El sistema de iluminación natural propiamente dicho: funcionamiento, cantidad y cantidad de luz provista, posible redireccionamiento de la luz, previsiones de protección solar en épocas cálidas, diseño para evitar deslumbramiento y contrastes dentro del campo visual.

La iluminación natural que llega al interior de los edificios se divide en cuatro componentes, que deben ser manejadas en el diseño:

- luz solar directa (los rayos que llegan directamente desde el sol)

- luz difusa (proveniente de la bóveda celeste)
- luz reflejada exterior (reflejada por el suelo, paredes y objetos exteriores)
- luz reflejada interior (reflejada por paredes, cielorrasos, objetos y superficies interiores)



Esquema de componentes de la luz natural: directa (1), difusa del cielo claro o nublado (2) y reflejada desde elementos exteriores (3) y superficies interiores (4). (Fuente: Luz, Visión, Comunicación. Tomo I. Cap. 6., AAVV.)

Para el diseñador es importante conocer los dos principales componentes de la luz natural: el rayo de sol (componente directa) y la luz difusa proveniente de la bóveda celeste, que serán las fuentes que proveen luz al edificio. La cantidad de luz que llega a un cierto punto en un espacio depende primariamente de la cantidad de cielo visible desde ese punto: cuanto mayor es el ángulo de visibilidad, mayor iluminancia, que también tiene relación con el ángulo de incidencia de la luz.

La performance del diseño para aprovechar la luz natural depende de:

- La disponibilidad de luz natural considerando la envolvente edilicia (determina el potencial de luz natural en el espacio)
- Las propiedades geométricas y físicas de la/s ventana/s y abertura/s (forma, materiales)
- Las propiedades geométricas y físicas del espacio iluminado.
- La función prevista para la ventana (sólo luz, vistas)

Las soluciones y ubicación de aberturas se pueden clasificar en tres grandes conjuntos:

- Cenital (aberturas ubicadas en los techos, la luz llega desde el cielorraso)
- Aberturas horizontales ubicadas por encima de la línea de visión de los ocupantes: cubiertas vidriadas, linternas superiores, aberturas verticales en cúpulas, linternas, atrios y aberturas inclinadas hasta 30 °.

- Aberturas verticales: Aberturas verticales en paramentos de cerramiento de locales, muros vidriados, pueden estar a la altura de la línea de visión de las personas o por encima o debajo de éste.



*Distintas ubicaciones de aberturas: cenital y laterales a distintas alturas.
(Fuente fotos: 1 y 2 archivo CIHE-FADU; 3 y 4 Designing the sustainable school, A. Ford)*

Con respecto a la ubicación de las aberturas, pueden localizarse:

- Elevadas contra el cielorraso: se maximiza la luz recibida y la luz llega a mayor profundidad; dificulta las vistas.
- Horizontales o verticales: cambia el sector del espacio que recibe luz; las verticales permiten que llegue luz a mayor profundidad.
- Ventanas continuas: tienden a uniformar la luz recibida en los sectores próximos.
- Aberturas ubicadas justo por encima del plano de trabajo: se abren hacia una buena proporción de cielo visible, maximizando la componente directa de la luz solar.
- Aberturas cenitales: la luz llega desde arriba, iluminando el espacio; la fuente de luz queda fuera del control directo de los ocupantes.

El objetivo del diseñador es identificar los sistemas para iluminación natural que provean adecuados niveles de luz y contribuyan al confort visual. Con este fin, se deben manejar integralmente factores físicos como iluminancia, luminancia, rendimiento de color y factor de luz diurna. Estas variables también tienen relación con factores cualitativos y de comportamiento como direccionalidad de la luz, composición espectral de la radiación, tiempo o duración de la exposición, ritmos metabólicos, estimulación psicológica y preferencias personales de los ocupantes.

Para controlar la cantidad y distribución de la luz natural que ingresa a un espacio y garantizar un ambiente confortable y saludablemente luminoso, una buena estrategia de diseño de luz natural deberá estar compuesta de algo más que una simple abertura en una fachada (ventana) o el techo (cenital); dependiendo del clima, la orientación, las actividades y necesidades, podrán inclusive implementarse soluciones que combinen varios sistemas.

El rango de sistemas para iluminación natural abarca desde sistemas simples y fijos (estantes de luz, aleros, elementos redireccionadores de la luz) hasta sistemas dinámicos y adaptables (persianas, elementos móviles, elementos ópticos holográficos) y/o la combinación de varios sistemas. La variedad disponible es amplia y continuamente aparecen nuevas técnicas en la práctica del diseño para incrementar la penetración de luz natural en los espacios interiores, mejorando la distribución y uniformidad, controlando la radiación solar directa y reduciendo problemas de deslumbramiento o contrastes. Las estrategias para optimizar la luz natural comienzan con la exploración de soluciones simples (ubicación y dimensiones de las ventanas, aleros existentes) para luego incorporar elementos más avanzados si es necesario.

La luz natural presenta propiedades únicas para la salud, y en general está disponible en abundancia, asegurando un buen rendimiento de color y, simultáneamente, garantizando una variación en su contenido espectral que actúa como una efectiva estimulación del sistema metabólico. Además, las ventanas son deseables en los espacios cerrados porque proveen vistas, favoreciendo la necesidad psicológica de los ocupantes de contacto con el contexto circundante, ofreciendo un estímulo ambiental que beneficia la sensación de bienestar, la motivación e inclusive la concentración, y que también incrementa la tolerancia del sistema visual al discomfort producido por deslumbramiento o adaptación a contrastes.

En síntesis, la luz natural recibida a través de las ventanas satisface requerimientos visuales, no visuales y perceptuales de las personas que viven y trabajan en entornos construidos, iluminando claramente los focos de tarea y los espacios internos, y brindando las condiciones necesarias para su salud y bienestar.

Factores humanos en iluminación

Las personas pasan gran parte de su día en espacios interiores realizando distintas actividades y en todos los casos las estrategias de iluminación están basadas en el objetivo de asegurar un adecuado nivel de iluminación para realizarlas eficientemente y bajo buenas condiciones de confort visual. Los estudios realizados y la disponibilidad de lámparas y luminarias más eficientes han sido acompañados por un aumento continuo de los niveles de iluminación. Por ejemplo, en los Estados Unidos, la cantidad de luz necesaria para realizar

una tarea como la de lectura en oficinas ha variado entre 1910 y 1959 en valores de entre 20 y 759 lux (Collins *et al*, 1989, citado por Colombo *et al*).

La luz puede describirse en términos de ciertos factores o aspectos que tienen que ver con el sistema visual y funciones fotobiológicas: cantidad, espectro, distribución espacial, tiempo o duración. De acuerdo a los estándares, la iluminación interior debe mantenerse a niveles constantes día y noche, y con una intensidad que puede ser entre 40 y 200 veces menor que en el exterior durante el día.

Las investigaciones en el campo de la fotobiología parten de la hipótesis de que una iluminación "saludable" tiene relación con los factores que están indicados en la mayoría de las normativas, más otros criterios de bienestar en confort visual, que involucran aspectos "no-visuales" que tienen influencia en el bienestar psico-fisiológico de los ocupantes.

Durante el día, la presencia de luz natural en los espacios contribuye a la actividad y motivación psicofísica en concordancia con el ritmo circadiano humano. La luz natural está relacionada con lo que las vistas informan sobre la hora del día, la época del año, el clima e inclusive un cierto sentido de orientación y sensación de ubicación espacial. Adicionalmente, las vistas son beneficiosas para reducir el estrés de los músculos oculares al cambiar el foco desde el objeto de atención al ambiente circundante o hacia objetos más lejanos (Altomonte, 2009).

Investigaciones recientes han demostrado que la luz natural, además de posibilitar una buena performance visual para actividades habituales, tiene un importante efecto no-visual en procesos biológicos: sincroniza el sistema circadiano, estimula la circulación y control del nivel hormonal, entre otros. Además, algunos estudios sugieren que la performance y el confort también están influenciados por aspectos perceptivos, como por ejemplo, visuales agradables, que por parámetros meramente físicos.

Boyce (2003) ha reconocido tres rutas de interacción entre la luz y el desempeño humano:

- el sistema visual (construye la imagen del mundo exterior)
- el sistema perceptual (en relación con el confort visual y el "mensaje" que procesa el cerebro, más allá del mero estímulo visual)
- el sistema circadiano (la iluminación regula el ritmo de la fisiología del ser humano y casi todos los seres vivos; implica la variación de ritmos hormonales a través del núcleo supraquísmico (del Sistema Nervioso Central, SNC, vinculado a la retina).

La capacidad del sistema visual está determinada por las condiciones de iluminación. El sistema circadiano está influenciado por los ciclos diarios de luz y oscuridad, que induce los ciclos humanos de alerta y sueño; el ritmo circadiano está sincronizado con los períodos del

día y la noche por una respuesta a los altos niveles de luz en la mañana y la tarde, y la ausencia de este estímulo puede causar problemas de sueño y dificultades de concentración durante el día.

Cuando la luz a través del ojo, las señales no llegan solamente a las áreas relacionadas con la visión, sino también a las partes del cerebro encargadas de la regulación hormonal. Así, el estímulo de la luz comprende funciones físicas (aspecto energético), fisiológicas (transformación del flujo de energía en estímulos nerviosos) y psicológicas (interpretaciones a nivel neuronal de ese estímulo), que informan sobre el medio ambiente y contribuyen al funcionamiento del organismo humano (Altomonte, 2009). La variación espectral de la luz natural envía “señales” al organismo en todas las partes del espectro visible, determinando la regulación del reloj biológico; la vida humana siempre ha estado regulada en función del ritmo de la luz natural: actividad durante el día, descanso por la noche. La dinámica de estos cambios de intensidad y variación espectral durante el día tiene fuerte influencia en los ritmos del cuerpo humano y en el metabolismo de la producción de hormonas.

Un estímulo que llega al sistema visual se puede describir mediante cinco parámetros: tamaño, contraste de luminancia, color, calidad de imagen en la retina, e iluminación en la retina. Estos parámetros son importantes para que el sistema visual pueda detectar e identificar claramente el estímulo (Pattini, 2005). La forma de la performance visual es una función de comprensión, en la cual para un amplio rango de medidas, contrastes e iluminancias hay pequeños cambios en la performance.

Los aspectos involucrados en la relación entre luz natural, confort y salud son:

- *Performance visual*: la visión es capaz de trabajar eficazmente como canal de comunicación, ya que el 80 % de la información se recibe desde el entorno, (incluyendo comunicación no verbal). Necesita llevarse a cabo con claridad, seguridad y relativa rapidez. Implica varios niveles de iluminancia y contraste, especialmente en la parte central del campo visual, que focaliza la tarea visual.
- *Condiciones fisiológicas*: el campo visual no debe provocar estrés por continua adaptación del sistema visual (cansancio visual) a distintos niveles de iluminancia, contrastes o reflejos.
- *Calidad visual*: tiene relación con el grado de interés en la tarea visual y también con aspectos estético-perceptuales.

Fisiológicamente, el sistema visual lleva a cabo simultáneamente una serie de procesos: adaptación a la luz y la oscuridad (3 fases: rápida -proceso neuronal-, intermedia -ajuste del tamaño de la pupila- y lenta -procesos fotoquímicos); acomodación (nitidez para ver objetos cercanos y lejanos); reconocimiento del campo visual (extensión angular del campo de visión) y movimiento ocular (muestreo de la imagen y mejora de su calidad en la retina).

El espectro de luz y la iluminación que alcanza la retina, que dependen del espectro de luz de la fuente de iluminación, de la distribución de la luz, de las reflectancias de las superficies del espacio y de la transmitancia del medio óptico y de la dirección donde el observador está mirando, tienen relación con la información que recibe el SNC. El tratamiento del denominado Síndrome de Desorden Afectivo o depresión estacional se basa en terapias de exposición a la luz, y se ha comprobado también que el aumento de la iluminación mejora el estado de alerta.

El mensaje en el sistema perceptual tiene relación con muchos factores, entre ellos la iluminación. El sistema perceptual actúa una vez que la imagen retinal ha sido procesada por el sistema visual; tiene que ver con la sensación de discomfort visual, que puede cambiar el humor y la motivación, particularmente si el trabajo en estas condiciones es prolongado. Si las condiciones de iluminación dificultan un adecuado funcionamiento del sistema visual, se producirá incomodidad y distracción de la tarea, como por ejemplo cuando hay brillo o deslumbramiento, o parpadeo de tubos fluorescentes. Iluminar con luz natural genera confort y bienestar en los ocupantes de los espacios cuando ha sido cuidadosamente diseñada teniendo en cuenta sus efectos en los tres sistemas: visual, circadiano y perceptual.

Psicológicamente, la luz natural y las vistas son deseables. La performance de la tarea visual está directamente relacionada con la claridad del estímulo sobre el sistema visual; la luz natural mejora esa performance debido a su composición espectral y rendimiento de color (Boyce, 2003). Si bien en ciertos casos la luz natural puede causar discomfort visual por presencia de reflejos, esto también es posible cuando se utiliza luz artificial.

En general, los ocupantes tienden a reducir las superficies de iluminación natural si se percibe discomfort, aunque resultados de evaluaciones post-ocupación muestran que, aún con estos inconvenientes, prefieren trabajar con luz natural. Las ventanas que permiten las vistas, pueden reducir el estrés y los problemas de salud derivados de la percepción en lugares cerrados, aislados visualmente del exterior. Normalmente se asocia a las ventanas con ambientes más saludablemente iluminados y ventilados; las ventanas dan información sobre el mundo exterior: clima, hora del día, sonidos, variación de la luz, y enriquecen el entorno del espacio.

Los aspectos psico-fisiológicos pueden incrementar la tolerancia a niveles extremos de luz natural, por encima o debajo de los niveles establecidos en estándares internacionales, reduciendo inclusive la necesidad de operar sistemas de oscurecimiento o protección solar que podrían reducir la disponibilidad de luz natural en los espacios, y además tener una influencia negativa en la percepción de bienestar (Altomonte, 2008).

En la actualidad, la fotobiología es un nuevo campo en desarrollo dentro de las investigaciones sobre iluminación, estudiándose las relaciones entre el ojo y el cerebro, adicionales al proceso de visión, ya que existe una compleja interacción entre las funciones biológicas y el estímulo externo vinculado a la luz natural (CIE, 2004). Recientes investigaciones médicas y biológicas ha comprobado estos efectos de la luz natural en muchos procesos biológicos del cuerpo humano (Veitch, 2005); estos procesos se encuentran en las primeras etapas de estudio y comprensión.

En función de estos nuevos estudios, las recomendaciones para una "iluminación saludable" deben considerar más factores que aquellos que se encuentran incluidos en los estándares o normativas (que hacen referencia a aspectos físicos como cantidad y distribución de la luz), incorporando criterios de confort y bienestar visual, que conducirán al bienestar psíquico y biológico de los ocupantes.

La mayoría de los estándares internacionales en iluminación establecen recomendaciones para una amplia variedad de actividades de acuerdo a criterios de confort visual que se limitan a iluminancias sobre el objeto, uniformidad, distribución espacial, factor de luz diurna, deslumbramiento y rendimiento de color, según la actividad prevista.

Colombo *et al* (s/d) señalan que no existe una clara definición de "calidad de iluminación", existiendo una gran cantidad de aproximaciones para definirla, desde la búsqueda de índices fotométricos simples calibrados a través de respuestas subjetivas hasta parámetros físicos asociados al sistema visual. El sistema visual tiene un alto nivel de rendimiento visual en un amplio rango de tamaños visuales, contrastes de luminancias e iluminancias retinales, pero para ciertas condiciones, el tamaño visual, el contraste de luminancia o la iluminancia retinal se vuelven insuficientes y el rendimiento visual colapsa rápidamente. Más luz no significa necesariamente mayor rendimiento; una tarea se puede realizar correctamente mejorando las condiciones del estímulo.

La definición de calidad de iluminación tiene relación con el grado de excelencia a obtener en relación con las necesidades humanas, la conservación de energía y la calidad arquitectónica resultante. La iluminación en relación sólo con la visibilidad es entonces un criterio limitado, ya que la visibilidad es un aspecto (aunque central) de una serie de procesos con respecto a los cuales se obtendrá una buena calidad de iluminación.

Confort visual e iluminación natural en edificios

La percepción del espacio y cómo se lleva a cabo la tarea visual dependen no solamente de la iluminación y su interacción con el espacio mismo y sus límites físicos, incluyendo patrones, colores y texturas de las superficies. Como se ha explicado en el punto precedente, es fundamental para el diseño de la iluminación considerar cómo la luz afecta la percepción de los ocupantes. El propósito inicial de la iluminación es dar información sobre lo que nos rodea.

La iluminación debe ser diseñada no sólo para asegurar un buen rendimiento visual sino también para favorecer el confort visual. Los aspectos vinculados al rendimiento visual están restringidos a la tarea (foco) y su entorno cercano, mientras que los aspectos relacionados con el confort visual tienen que ver con la totalidad del espacio iluminado. El confort visual es más sensible a los cambios en la iluminación que el rendimiento visual (Colombo, en AAVV, 2001, cap 5)

El estímulo visual es procesado por un sistema de receptores y codificadores que componen el sistema visual; este sistema involucra fisiológicamente tanto al ojo como al cerebro y, psicológicamente, involucra tanto la estimulación como las suposiciones sobre el mundo exterior.

El procesamiento de la información visual tiene que ver con la percepción de claridad, la percepción de formas (proximidad, semejanza, continuidad) y la percepción de profundidad. La respuesta visual en relación con la iluminación interviene en la caracterización del estímulo (tamaño visual y contraste de luminancias) y los posibles problemas que aparecen son los denominados *deslumbramiento fisiológico* (efecto de enmascaramiento de la visión debido a la dispersión de la luz, proveniente de cualquier parte del campo visual), que reduce el contraste de luminancias de la imagen, y el *deslumbramiento psicológico*, que produce molestia o incomodidad, provoca distracción sobre la tarea en el campo central-foveal debido a fuentes luminosas en campo periférico; no implica en general cambios en el rendimiento aunque causa disminución del confort visual.

El confort visual en los espacios interiores es un factor de fundamental importancia para el bienestar físico y psíquico de sus ocupantes, además de promover un adecuado rendimiento en las actividades que se llevan a cabo en ellos. En los edificios, la iluminación proviene de dos fuentes: la iluminación natural aportada por el cielo diurno, y la iluminación artificial utilizada en horario nocturno y como complemento de la natural cuando su disponibilidad es reducida. Entonces, en función de la importancia de las condiciones lumínicas de un ambiente, es importante asegurar ciertos niveles de iluminancia sobre el

plano de trabajo y una distribución homogénea de la luz en el espacio útil (Pattini y Kirschbaum, 2006) para garantizar mínimamente el confort visual de los ocupantes.

Para favorecer el confort visual es necesario eliminar en el diseño los aspectos de la iluminación que pudieran causar molestias visuales y que tienen que ver con el espacio iluminado en su totalidad.

Las normativas o estándares establecen recomendaciones de valores de iluminancias en puestos de trabajo, considerando dos grados de confort: un máximo cuando el sistema visual trabaja confortablemente y mínimo si el sistema visual opera en su límite. El confort visual presenta una zona de respuesta óptima respecto del nivel de iluminancia; más luz no es necesariamente equivalente a mayor confort. Además, una variación del 10 % en la iluminancia no tiene mayor influencia en la performance de una tarea.

Algunos niveles de iluminación recomendados según estándares y normativas son:

Áreas de circulación, corredores	100 lux
Escaleras	150 lux
Talleres	300 a 750 lux según tarea
Tareas de precisión	1000 a 1500 lux
Oficinas	300 a 750 lux
Escuelas	300 a 500 lux
Comercios	300 a 750 lux
Viviendas	100 a 500 lux según tarea

Treguenza y Loe (1998) señalan que los niveles de iluminación requeridos para una tarea según códigos y estándares están directamente relacionados con el contexto económico y valores sociales; en los últimos 50 años del siglo XX, a medida de que el costo real de la iluminación ha ido decreciendo, los valores mínimos de iluminancia han ido aumentando.

Con respecto a la luz natural, debido a su variabilidad y a la capacidad de adaptación del ojo, es común que los ocupantes acepten niveles menores a los establecidos para iluminación artificial durante períodos reducidos. Las normas no establecen valores máximos ya que el ojo humano puede adaptarse a valores muy superiores a los mínimos sin problemas, excepto en el caso de luz solar directa muy intensa y superficies muy claras (Evans, en AAVV, 2001, Cap. 6).

Las causas de disminución del confort visual en los espacios interiores son:

- Problemas asociados a la iluminación (distribución, relación de luminancias, rendimiento de color)

- Variación temporal de la iluminación
- Deslumbramiento
- Sombras (proyección sobre áreas de interés)
- Problemas asociados a la tarea visual (por ejemplo el tamaño de letra; implica mecanismos de acomodación que generan cansancio visual)
- Información insuficiente o excesiva (por ejemplo, lo que sucede en un vehículo en la niebla –sub estimulación- o con texto sobre fondo con información similar –sobre estimulación)
- Causas de distracción (por ejemplo objetos con altos valores de luminancia en movimiento dentro del campo visual, ya que ignorarlos puede ser estresante)
- Elementos de confusión perceptual: aparecen dentro del entorno visual patrones de luminancia que entran en conflicto con el del campo visual asociado a la tarea, provocando confusión.
- Reflexiones de velo: reflejo especular sobre una superficie que cambia el contraste de luminancias (una reducción de hasta un 20 % no afecta el confort visual); puede generar posturas incómodas para evitar los reflejos molestos. Los factores que tienen que ver con este problema son el índice de reflexión del material, y la geometría entre el observador, el objeto y la fuente de luminancia. Se puede evitar o disminuir reduciendo la componente especular de la reflectancia de la superficie, realizando cambios en la geometría del objeto, la superficie observada y la zona afectada o bien aumentando las interreflexiones de luz en el ambiente

Los diez factores que contribuyen a la calidad de la iluminación son:

- Brillo, comparación de luminancia de las superficies del local
- Contraste en la tarea visual
- Contraste de iluminancias
- Fuente de luminancia (reflejos)
- Espectro de la luz y rendimiento de color
- Luz natural y vistas
- Claridad espacial y visual
- Interés visual
- Orientación psicológica
- Control del ocupante y flexibilidad del sistema

El grado de confort visual presenta una zona de respuesta óptima respecto al nivel de iluminancia, a partir de la cual, como se ha mencionado, más luz no necesariamente implica mayor confort. Las preferencias dependen de la demanda visual de la tarea, los individuos y su edad.

En general se acepta que una distribución no uniforme de iluminancia contribuye a la creación de un ambiente más confortable visualmente; a menores luminancias, en general

se prefiere mayor uniformidad. Un buen predictor del confort es el promedio de luminancias entre el techo y las paredes del ambiente, de modo tal que cuanto mayor es este valor, mayor es el confort (Miller, 1995, citado por E. Colombo, AAVV, 2001).

La distribución espacial de luminancias en relación con las reflectancias de las paredes es clave para el confort, y las relaciones de luminancia entre tarea y entorno inmediato también dependen de la iluminancia sobre la tarea; entonces para una iluminancia de 500 lux el cociente de luminancias preferido es de 3:1 mientras que para una iluminancia de 50 lux este cociente es de 2:1. La relación de luminancia recomendada entre tarea y entorno ambiente más lejano, como paredes, techo, o superficies dentro del campo visual del observador, es 10:1. En particular, paredes claras frente a la tarea se consideran más confortables que las oscuras.

En general se aceptan como más confortables los ambientes con aporte de luz natural. Las preferencias sobre el tamaño de las ventanas dependen de la vista que ofrecen, del nivel de iluminancia mínimo que provee, y del tamaño y forma del espacio.

Iluminación natural, confort visual y diseño de edificios educacionales

Se ha mencionado ya que la luz natural es un recurso muy importante para el bienestar de los ocupantes de los edificios. En el caso de edificios educacionales, es fundamental que el diseño de la iluminación natural permita que estudiantes y también docentes puedan realizar sus tareas visuales de la manera más efectiva y confortable, en un contexto psicológico y físico adecuado. La luz natural tiene influencia en el rendimiento intelectual, aprendizaje, actitudes y también impactos psicológicos.

En las aulas, la luz cumple tres funciones básicas: en primer lugar, permite a los ocupantes percibir el entorno en general; segundo, posibilita que alumnos y profesores la utilicen para focalizar el interés en determinados materiales con propósitos de aprendizaje, y en tercer lugar, permite que alumnos y profesor o maestro puedan verse entre sí, con propósitos de comunicación, que es verbal y no-verbal (Wall *et al*, 2008).

Los edificios destinados al uso educacional implican un importante desafío para el diseño de la iluminación; sus ocupantes permanecen en estado de concentración por períodos de tiempo relativamente prolongados y las condiciones de confort son un elemento clave para facilitar el normal desarrollo de las actividades. Varias investigaciones han confirmado que el bienestar y el rendimiento de los alumnos dependen significativamente de la calidad de iluminación del entorno, que puede obtenerse a través del aprovechamiento de la luz natural

(Axarli y Tsikaloudaki, 2007). Un estudio realizado por Heschong *et al* (2002) demostró la relación existente entre la iluminación y la performance de los alumnos en escuelas de los Estados Unidos; las comparaciones que realizaron entre aulas con y sin luz natural llevan a la conclusión que la iluminación natural promueve un mejor entorno ambiental para el aprendizaje, favoreciendo una sensación de confort físico y mental. Similares conclusiones fueron obtenidas en estudios llevados a cabo en Nueva Zelanda (Branz, 2007).

Estos efectos positivos detectados son muy importantes en el caso de las escuelas, donde los niveles de luz natural están directamente relacionados con el rendimiento de los alumnos, asociado a la posibilidad de diseñar un entorno placentero para las actividades de aprendizaje. Se encontró que los alumnos que desarrollan sus actividades en aulas con altos niveles de luz natural resultan un 26% más rápidos en pruebas de lectura y un 20 % más rápidos en matemáticas (Herschong, 2002); los mismos resultados fueron encontrados en aulas con iluminación cenital adecuadamente diseñada y con sistemas de control del nivel de iluminación.

Un adecuado acceso a la luz natural es esencial para una saludable interacción entre los ocupantes y su entorno. Una iluminación inadecuada puede causar dolores de cabeza o cansancio visual e inclusive se ha detectado cierta relación entre iluminación inadecuada y problemas de miopía (Brennan, 2007). Si el entorno iluminado es el adecuado, resulta estimulante para la mente, la performance del sistema visual y el estado de alerta, la concentración, la memoria y la creatividad.

Si se considera además que un 93 % de la comunicación entre seres humanos es no-verbal, es muy importante que los maestros reciban adecuada iluminación mientras dan clase para maximizar la comunicación en el aula; si la iluminación es inadecuada, el nivel de concentración disminuye, por ejemplo temprano a la mañana o al atardecer, o durante días muy nublados.

Llevar a cabo tareas predominantemente visuales es central en el proceso de aprendizaje, tanto para estudiantes como para maestros. El entorno iluminado en el espacio del aula debe facilitar el reconocimiento del entorno visual, en general integrando cuidadosamente luz natural y artificial, balanceando cantidad y calidad de iluminación y controlando o eliminando reflejos.

Los estudiantes pasan gran parte del tiempo escolar ocupados con tareas visuales, escritura y lectura de material impreso, pizarrones o inclusive pantallas de ordenadores, y deben ajustar constantemente la visión moviéndola hacia abajo y hacia el frente. Es estrés provocado por iluminación inadecuada o reflejos afecta la habilidad para el aprendizaje; un entorno visualmente confortable, por el contrario, facilitará el proceso. Adicionalmente, la

vista a través de las ventanas contribuye a la salud ocular posibilitando cambios frecuentes en la distancia focal, además de proveer la conexión con el entorno exterior.

Diseñar la iluminación natural implica controlar el ingreso de luz natural al espacio mediante ventanas o aberturas cenitales. Una escuela sustentable debería utilizar la mayor cantidad de luz natural posible, especialmente en aulas; es la fuente de iluminación de mejor calidad para tareas visuales, que además realza el color y la apariencia de los objetos.

Las ventanas proveen de elementos muy importantes para un entorno saludable de aprendizaje: luz natural, vistas y aire fresco. Las vistas aportan una cierta distracción o relajación deseables para la concentración y estado de alerta; esto tiene además ciertas implicancias psicológicas. Desde el punto de vista del diseño, se deben considerar también características como superficies, transmisión de luz, forma, dimensiones, relación proporcional con el espacio del local, reflectancias, orientación de la ventana, aleros, obstrucciones e inclusive posibles condiciones microclimáticas.

El confort visual es el resultado de la combinación de luz natural y artificial bien diseñada y bien integrada. Cualquier estrategia relacionada con el entorno visual afectará las características de ambos sistemas; en el caso de la luz natural, condicionará la cantidad, la superficie, el tipo y la forma de las ventanas. La optimización del recurso proveerá un adecuado entorno luminoso aprovechando la luz del sol para reducir la necesidad de luz artificial y, consecuentemente, la demanda de energía eléctrica asociada. La luz natural debería ser siempre la principal fuente de luz, especialmente en escuelas de nivel primario y secundario, siendo suplementada con iluminación artificial sólo cuando sea necesario.

En resumen, entre los beneficios del aprovechamiento de la luz natural en escuelas se pueden mencionar:

- Favorece el rendimiento académico: diversos estudios (*op cit*) han asociado un buen diseño de la iluminación natural con el rendimiento de los alumnos medido mediante exámenes estandarizados, mientras que los alumnos ubicados en aulas con menor calidad de iluminación natural obtuvieron peores resultados. Estos estudios sugieren entonces una mejor performance en ambientes bien iluminados; apuntan a la mejor calidad de la luz provista, sumado a las vistas y a la comunicación con el entorno como elementos altamente estimulantes.
- Ahorro de energía: la luz natural permite reducir la demanda de energía eléctrica destinada a iluminación, que corresponde al mayor consumo en este tipo de edificios. Un adecuado diseño debe también contemplar la adecuada integración y compensación entre luz natural y artificial.

- Luz de mejor calidad: la luz del día es de óptima calidad para las tareas visuales; mejora el color y la apariencia de los objetos, favoreciendo la percepción clara de los detalles.
- Conexión con el medio natural exterior: permite obtener información sobre el transcurrir del día y las condiciones climáticas. La variación constante en la cantidad y calidad de la luz favorece la situación de “alerta perceptual” de los ocupantes.
- Es saludable: las vistas a través de las ventanas contribuyen a la salud ocular favoreciendo frecuentes cambios en las distancias focales, que contribuyen a relajar los músculos oculares. También puede reducir el estrés en los ocupantes. Además la luz natural está relacionada con la puesta a punto de patrones hormonales que tienen influencia en la capacidad de concentración de los alumnos y que se relacionan con el crecimiento y el dolor.

El diseño de la iluminación de aulas debe proveer adecuados niveles de iluminancia sobre el plano de trabajo de los estudiantes y sobre el profesor (iluminancia en plano vertical); también es importante generar un entorno estimulante para todos los ocupantes, optimizando el aprovechamiento de la luz natural.

Las aulas y lugares para lectura deben tener colores que resulten confortables para los estudiantes que cambian su foco de atención desde el plano de trabajo a distintas partes del salón. Los colores suaves en paredes y pisos minimizan reflejos y contrastes entre las zonas de trabajo y el entorno. Los colores podrán ser más cálidos o fríos según la orientación y el clima; no son convenientes los tonos fuertes.

En general, resulta difícil definir la calidad de “agradable” o “placentero” de un espacio, aunque está claro que la luz y los colores, y cómo son percibidos por los ocupantes, tienen mucho que ver con esta sensación. Una buena iluminación natural tiene relación con la calidad del espacio de aprendizaje, y también tiene influencia en la salud y la capacidad de atención de los alumnos.

Estado de la cuestión

El uso de sistemas de iluminación y acondicionamiento natural para mejorar las condiciones de confort en edificios tiene amplio desarrollo desde fines del siglo XIX, sobre todo en países de la Comunidad Económica Europea y los EEUU, y hoy son parte de las mejoras implementadas con el fin de optimizar la eficiencia energética de edificios (Bell & Burt, 1995). En Brasil se han desarrollado numerosos estudios sobre confort térmico y lumínico principalmente en espacios destinados a educación (Chebel Labaki, 2001).

En la mayoría de los estudios realizados, la evaluación post-ocupacional, una herramienta importante para el conocimiento de variables subjetivas de confort, ha sido fundamental para promover la mejora y la revisión de pautas de diseño para nuevos proyectos (Galasiu & Veitch, 2006). En el marco de estos estudios de evaluación post-ocupación de condiciones de confort visual en edificios, se han realizado encuestas que incluyen preguntas destinadas a detectar de factores de disconfort que puedan ser identificados por los usuarios, tales como reflejos, contrastes, luminancias, sombras o reflexiones de velo (Pattini & Kirschbaum, 1998). Los resultados obtenidos y su relación con el confort muestran diferencias entre los valores objetivos obtenidos en mediciones *in-situ*, los valores estipulados en las normativas de luminotecnia y la percepción subjetiva de los usuarios (Herschong *et al*, 2002, Casabianca, 2007, Casabianca, *et al* 2009).

Con respecto a la importancia de las variables subjetivas, las agendas sobre desarrollo sustentable enfatizan la importancia de la participación de los ocupantes en temas que afectan la calidad de vida y que puedan ser incorporados en el proyecto arquitectónico y urbano (Allen, 2002). Además existe en los proyectistas una mayor conciencia de que estas evaluaciones realizadas por los usuarios son indispensables para un mejor diseño de los edificios (Pattini, 1999).

En la Argentina, diversos grupos de investigación han trabajado sobre la temática de arquitectura bioambiental e iluminación natural, con énfasis en nuevos proyectos acondicionados naturalmente y energéticamente eficientes. Además de las investigaciones sobre confort y eficiencia energética en edificios educacionales realizadas en el Centro de investigación Habitat y Energía de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Buenos Aires, en el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda del Centro Regional de Investigaciones en Ciencia y Técnica (CRICYT) de Mendoza se han desarrollado, construido

y evaluado proyectos de edificios para esa provincia de acuerdo a pautas de ahorro energético y acondicionamiento lumínico natural (Pattini, *op. cit.*).

Desde el año 1969 existen diversas normas desarrolladas por IRAM y la Asociación Argentina de Luminotecnia tendientes a orientar el diseño y aprovechamiento de la iluminación natural en edificios, entre ellas la Norma IRAM-AADL J 20-04 (1974) que trata específicamente las condiciones de iluminación en escuelas, aunque cabe aclarar que estas normas no han sido actualizadas desde entonces.

A continuación se presentan los antecedentes del tema estudiado, sintetizando la información en relación con tres ejes temáticos: el confort visual y los factores humanos, confort visual y calidad de iluminación y, finalmente, la iluminación natural en aulas de edificios educacionales.

Confort visual y factores humanos

Los efectos benéficos de la luz natural desde el punto de vista biológico son conocidos desde tiempos remotos, como por ejemplo en el uso de la helioterapia para tratamiento de ciertas afecciones por exposición a los rayos de sol. En los últimos 20 a 30 años, investigaciones biológicas y médicas han validado a la luz natural como un factor muy importante para la salud y el bienestar (van Bommel, 2004). Los descubrimientos más importantes están relacionados con el control del reloj biológico y la regulación hormonal asociada a los ciclos de luz y oscuridad; esto implica que la luz natural tiene influencia directa en la salud, el bienestar y los estados de alerta.

En este campo de investigación, los trabajos de J. Veitch (2001) sobre entornos de trabajo e iluminación han demostrado que trabajar con luz natural resulta menos estresante y que aparecen menos problemas de discomfort que trabajando con luz artificial. Esta autora también realizó en sus trabajos una importante recopilación de otras investigaciones relacionadas con el tema, que complementan y corroboran la información obtenida.

Evaluó las respuestas de los ocupantes bajo ambas condiciones de iluminación, encontrando que los sujetos consideran que se encuentran confortablemente bajo adecuados niveles de iluminancia, aún cuando la iluminación es relativamente baja. Entre sus conclusiones, indica que lo que piensan los ocupantes en términos de luz natural y vistas es relativamente independiente del entorno físico y la presencia de luz diurna como fuente real de iluminación; en su percepción, entran en juego componentes psicológicos vinculados a las vistas exteriores, que superan a las condiciones de respuesta del sistema

visual a la distribución del brillo aparente y contrastes. Con respecto a la forma y proporciones de las ventanas, indica la preferencia de los encuestados por grandes ventanas horizontales que ocupen una proporción del 25% o más del muro, mientras que las ventanas dimensionadas con una proporción por debajo del 10 % del muro son percibidas como no satisfactorias.

En relación con los niveles de iluminación, los resultados muestran que los ocupantes que utilizan computadoras prefieren niveles entre 100 y 300 lux, mientras que aquellos que pasan menos tiempo ante las pantallas prefieren niveles mayores, entre 300 y 600 lux. Si se reduce o elimina la luz artificial durante el día, es porque prefieren aprovechar la luz natural por motivos vinculados al ahorro de energía o porque tienen molestias visuales debido a altos niveles de iluminancia; algunos directamente argumentan que se sienten mejor trabajando con luz natural.

Se encontraron 3 niveles de iluminancia en las preferencias de los sujetos: menos de 250 lux, alrededor de 300 lux y más de 500 lux. Estas preferencias difieren en función de la sensibilidad individual a la luz, la calidad del sueño, el reloj biológico y el grado de bienestar y confort; la preferencia por la iluminación artificial se relaciona directamente con el nivel general de iluminación disponible según las condiciones climáticas.

Esas preferencias dependen también de la posición del ocupante en relación con la ventana, sugiriendo que se aceptan diferentes condiciones de iluminación según su posición; son más apreciadas las ubicaciones próximas a las ventanas, aún cuando muchos de los niveles medidos fueron muy altos (1200 lux) comparados con los 500 lux indicados en normativas. Además, un nivel de iluminancia de 300 lux se percibe como agradable si proviene de luz natural, mientras que este mismo nivel se juzga no placentero si proviene de luz artificial, en cuyo caso se considera confortable un nivel de 500 lux.

En general, en el caso de la iluminación natural, altos niveles de iluminancia se consideran menos confortables que niveles menores, sugiriendo para algunos investigadores que existe un vínculo psicológico entre brillo solar y percepción de sobrecalentamiento desde el punto de vista térmico. De todos modos, se encontró que se toleran destellos provenientes de la luz del sol mejor que los provenientes de otro tipo de fuentes de luz. Algunos expertos especulan acerca de las causas de esto, argumentando que los ocupantes no lo consideran estresante porque valoran las vistas al exterior más que los problemas de posibles reflejos; concluye que ante una vista agradable a través de las ventanas, la tolerancia a los reflejos aumenta.

A partir de los resultados obtenidos en sus investigaciones, Velds (2002) menciona las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- hay una fuerte preferencia por los sitios de trabajo con luz natural, asociado a la idea de que la luz del sol es saludable.
- el deslumbramiento es menos aceptado por los sujetos que trabajan en pantallas de computadoras que por aquellos que trabajan con tareas horizontales de lecto-escritura.
- el grado de percepción de los reflejos es inversamente proporcional a la distancia del sitio de trabajo a la ventana.
- cuando se utiliza una fuente de iluminación combinada (natural + artificial), los ocupantes tienden a sobre-estimar la contribución de la luz natural a la iluminación general.
- la preferencia por determinadas dimensiones de ventanas es variable, aunque en general se prefieren ventanas grandes.
- las preferencias en los niveles de iluminancia varían de una persona a otra; la cantidad de iluminación deseable varía según la tarea y la distancia a las ventanas.
- el deslumbramiento proveniente de ventanas también varía de un sujeto a otro. El grado de discomfort declarado depende parcialmente de las características de las vistas exteriores y de la distancia entre la ventana y el plano de trabajo.

Confort visual y calidad de iluminación

Las investigaciones sobre el confort visual y la calidad de iluminación se han desarrollado ampliamente en los últimos años, como parte de una cierta reacción a la etapa de auge de la iluminación artificial como la forma de iluminación predominante que permitía aislarse totalmente de las condiciones exteriores, proporcionando un nivel de iluminación constante en cualquier sector del edificio, con independencia de la presencia de ventanas. Esta situación de predominio de la luz artificial ha comenzado a ser cuestionada, en parte por la necesidad de reducir el consumo de energía y en parte por el aumento de problemas de salud de los ocupantes, que en muchos casos afectan directamente la productividad.

Los distintos factores que influyen en el confort visual tienen relación con la iluminación del ambiente en su totalidad. El confort visual es más sensible a los cambios en la iluminación que el rendimiento visual; si una condición luminotécnica general es considerada no confortable puede disminuir el rendimiento visual. El entorno visual consiste en un patrón de luminancias determinado por las reflectancias de las superficies presentes en el campo visual y la distribución de luminancias sobre esas superficies; si un patrón de luminancias entra en conflicto con el que corresponde al campo visual asociado a la tarea, se produce confusión perceptual, y consecuentemente la pérdida del confort visual (Colombo *et al*, s/d).

Los requisitos que cualquier sistema de iluminación debe cumplir para proporcionar las condiciones necesarias para el confort visual son:

- iluminación uniforme

- luminancia óptima
- ausencia de brillos deslumbrantes
- condiciones de contraste adecuadas
- colores correctos

La luz natural que se utiliza como fuente de iluminación debe incluir las componentes de radiación difusa y directa; la combinación de ambas producirá sombras de mayor o menor intensidad, que permitirán al observador percibir la forma y posición de los objetos; se deben eliminar reflejos que dificulten la percepción, los brillos excesivos o zonas de sombras muy oscuras que pudieran general problemas de contraste.

El sistema visual humano responde a la distribución de las luminancias dentro del campo de visión. La escena existente dentro de un campo visual se interpreta diferenciando entre el color superficial, la reflectancia y la iluminación. La luminancia y la iluminancia son cantidades objetivas medibles; la respuesta al brillo es subjetiva. Para diseñar un ambiente que proporcione satisfacción, confort y rendimiento visual, es necesario equilibrar las luminancias existentes dentro del campo visual; idealmente, las luminancias existentes alrededor de una tarea deberían disminuir gradualmente, evitando así fuertes contrastes.



Relación entre fuente de luz, luminancia, iluminancia y el ojo humano. Fuente: material didáctico curso Iluminación Eficiente, Univ. Tecnológica Nacional, Curso 2005.

Los factores esenciales que afectan a la visión son la distribución de la luz y el contraste de luminancias; cuando hay una fuente de luz brillante dentro del campo visual se pueden producir brillos deslumbrantes y el resultado es una disminución en la capacidad de distinguir objetos. Este deslumbramiento puede ser directo (fuentes de luz brillante situadas directamente en la línea de visión) o reflejado (la luz se refleja en superficies de alta reflectancia). El deslumbramiento tiene entonces relación con:

- La *luminancia de la fuente de luz*: la máxima tolerable por observación directa es de 7.500 cd/m².
- La *posición de la fuente de luz*: el deslumbramiento se produce cuando la fuente de luz se encuentra en un ángulo de 45 grados con respecto a la línea de visión del observador.

- La *distribución de luminancias entre diferentes objetos y superficies*: a mayores diferencia de luminancia entre los objetos en el campo visual, habrá más brillos y empeorará la capacidad de visión por los efectos ocasionados en los procesos de adaptación del sistema ocular. Los valores máximos recomendados de diferencias de luminancias son: tarea visual/ superficie de trabajo = 3:1, y tarea visual/ alrededores = 10:1.

Con respecto a las condiciones óptimas de iluminación para el confort y el rendimiento visual, los aspectos involucrados tienen que ver con las características del observador y las características de la tarea. Entre las primeras se pueden mencionar la sensibilidad del sistema visual al tamaño, el contraste y el tiempo de exposición; las características de su adaptación transitoria; la susceptibilidad al deslumbramiento; la edad y las características psicológicas y de motivación. Entre las características de la tarea se incluyen la configuración de los detalles, el contraste del detalle con el fondo, la luminancia del fondo y el grado de especularidad del detalle.

Cuando se producen brillos por exceso de luminancia en el campo de visión, sus efectos pueden dividirse en dos grupos, denominados *deslumbramiento incapacitante* y *deslumbramiento molesto*. En el deslumbramiento incapacitante la alta luminancia de las fuentes de luz produce un efecto de imposibilidad de ver debido a la dispersión de la luz en el medio óptico, por ejemplo en el caso del deslumbramiento provocado por los faros de un vehículo que se aproxima en la oscuridad; los ojos no pueden adaptarse al mismo tiempo a los faros del vehículo y al brillo del pavimento que es mucho menor. El deslumbramiento molesto, que es el más común en espacios interiores, se puede reducir o incluso eliminar completamente reduciendo el contraste entre la tarea y su entorno.

Cada actividad requiere un determinado nivel de iluminación en el área donde se lleva a cabo la tarea; a mayor dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación. Las normativas generalmente indican los niveles mínimos de iluminación asociados a diferentes tareas.

Iluminación natural en aulas de edificios educacionales

La iluminación insume el mayor consumo de energía en los edificios destinados a uso educacional (Veitch, 2001), y por lo tanto un buen diseño que optimice el aprovechamiento de la luz natural implicará un importante ahorro en ese consumo.

La performance de las estrategias de iluminación natural en un espacio depende de tres factores:

- la disponibilidad de luz natural que llega a la envolvente edilicia, que determina el potencial de luz natural del espacio.
- las propiedades físicas y geométricas de las ventanas o aberturas, y cómo son utilizadas para aprovechar y responder a esa disponibilidad de luz natural.
- las propiedades físicas y geométricas del espacio.

Entonces, el proceso de diseño de la luz natural en edificios tiene relación con:

- La implantación y el diseño del edificio: disponibilidad de luz natural en el sitio (latitud, brillo solar, clima); presencia de obstrucciones (esquema del diseño edilicio, techos, patios, atrios, bloques).
- Ubicación y diseño de los locales: relación con espacios adyacentes, exteriores e interiores
- Diseño de aberturas y ventanas: proporción (relación alto – profundidad), orientación, tipo, dimensiones
- Diseño para la iluminación natural: redistribución de la luz, filtros, presencia de protección solar

En el diseño del ambiente del aula se debe tener en cuenta la relación entre espacios y criterios de iluminación que tienen implicancias para el diseño de las plantas y los espacios mismos. Las transiciones entre corredores y aulas tienen también un impacto importante en la percepción visual de todo el espacio; si las aulas están bien iluminadas, los corredores pueden inclusive tener una buena iluminación cenital, siempre y cuando no aparezca excesivo deslumbramiento por ingreso luz solar directa. Es importante que el diseño permita lograr un nivel de iluminación adecuado bajo condiciones de cielo claro o cubierto y la uniformidad en la distribución de la luz.

En nuestro país, entre los antecedentes relacionados con el aprovechamiento de la luz natural, se pueden mencionar varios ejemplos de arquitectura educacional bioclimática desarrollados principalmente en el Noroeste, y en las provincias de Mendoza, La Pampa y Buenos Aires, cuyo diseño ha sido gestado y evaluado por diversos grupos de investigación vinculados a universidades locales y al CONICET. Todos estos ejemplos, la iluminación natural forma parte del conjunto de estrategias de diseño que han orientado la elaboración del proyecto arquitectónico; en todos los casos se ha enfatizado el aprovechamiento de las condiciones del cielo local, en relación con las condiciones climáticas.

Estos grupos de investigación también han realizado evaluaciones de las condiciones de iluminación natural en aulas de edificios existentes o proyectos en etapa previa a construcción; con este fin se realizaron mediciones con instrumental (luxómetros) y se utilizaron de programas de simulación o mediciones a escala en cielos artificiales. En estos

casos, lo buscado es la verificación, posterior a la etapa de diseño, con el fin de detectar problemas que pudieran ser solucionados.

Otros estudios han sido más específicos, como por ejemplo evaluaciones del comportamiento lumínico de aulas con diferentes soluciones de envolvente edilicia (San Juan, Evans, *et al* 1998) en escuelas bonaerenses con distintas tipologías edilicias. Se realizaron mediciones en cielo artificial y cielo real, evaluándose aulas con dos tipos de características de reflexión interna, claras y oscuras, con distinta orientación de ventanas y distinto tipo de cubiertas.

En la provincia de Mendoza, algunas investigaciones dirigidas por los Dres. A. Pattini y C. Kirschbaum se han enfocado en las valoraciones subjetivas de aulas con iluminación natural, asociadas a mediciones *in situ*, con el fin de obtener información sobre el ambiente interior y su efecto sobre los ocupantes. Estas evaluaciones post-ocupación se realizaron mediante encuestas que incluyen valoraciones de los ocupantes sobre posibles deslumbramientos y preferencias de niveles de iluminación. Los resultados obtenidos relacionan las condiciones de iluminación y las conductas de los usuarios, y también se vinculan con el ahorro de energía. Cabe aclarar que la provincia de Mendoza presenta cielos predominantemente claros con condiciones muy favorables para la iluminación natural, con valores interiores de iluminancia que superan los 800 lux.

Entre los antecedentes directamente vinculados al tema de diseño de la iluminación natural en el diseño escuelas se pueden mencionar dos muy importantes: los Criterios y Normativa Básica de Arquitectura Escolar, elaborado por el Ministerio de Educación, y la Norma IRAM AADL J 20-04 de Iluminación en Escuelas.

El primero tiene como fin *“ofrecer elementos técnicos básicos para introducir el tema del espacio y su equipamiento en el proceso de instrumentación de la Ley Federal de Educación”*.

La Normativa plantea ciertas exigencias de confort y habitabilidad que resulten alcanzables efectivamente optimizando los recursos disponibles; se busca *“asegurar las condiciones mínimas adecuadas y necesarias”* que deben cumplir los distintos locales y el edificio escolar. En el capítulo 4 se plantean requerimientos de acondicionamiento térmico e higrotérmico, asoleamiento, ventilación, iluminación, acondicionamiento acústico y seguridad.

Con respecto a las condiciones de habitabilidad, estipula que el edificio escolar debe adecuarse a características y requerimientos regionales, desde el punto de vista social,

cultural, económico, geográfico y climático. Entre los objetivos constructivos y de diseño básicos incluye la necesidad de lograr condiciones de confort térmico utilizando técnicas de acondicionamiento natural y *“asegurar condiciones de iluminación y ventilación natural como solución principal y prever iluminación y ventilación artificial acorde a los usos requeridos”*.

En referencia al diseño de la iluminación específica como requisitos técnicos básicos la necesidad de obtener un *“suficiente nivel de iluminancia, en su valor medio, para la tarea a desarrollar”*, *“buena distribución, que asegure uniformidad dentro del local”* y *“adecuado contraste de luminancias”*, además de contemplar los factores estéticos y sociológicos *“que ejerce sobre los destinatarios”*.

Como fuentes de luz, diferencia la iluminación natural, de fuente difusa, sin incluir luz solar directa y la iluminación artificial proveniente de lámparas y luminarias. Entre los factores a considerar en el proyecto, menciona el destino del local (uso), el tipo de tarea visual a desarrollar, las dimensiones y forma del local, el factor de reflexión de las superficies internas y las características del equipamiento interno y su disposición.

Indica que para obtener una buena calidad de la iluminación natural se deben tener en cuenta:

- La ubicación, medidas, forma y orientación de las aberturas en relación con la planta de los locales que permitan la penetración de luz diurna.
- El tipo y nivel de obstrucciones externas.
- La reflexión e interreflexión de la luz entre paredes, techos, pisos y mobiliario.
- Los factores de sombra de las aberturas.
- Elementos de protección y regulación de la luz.

Con respecto a los requisitos, estipula que el dimensionamiento de los aventanamientos *“se debe realizar considerando el Factor o Coeficiente de Luz Diurna (en adelante FLD) correspondiente a la dificultad de la tarea a desarrollar en el lugar útil más desfavorable”*, de acuerdo a la siguiente tabla:

Factores de luz diurna (FLD) según local:

Aulas comunes	2%
Aulas de enseñanza especial, dibujo,	5%
Gimnasio, SUM	2%
Circulaciones, Escaleras	1%
Locales sanitarios	no es exigible

Para el cálculo de los aventanamientos y la determinación del FLD indica la aplicación de las normas IRAM - AADL J 20-02 y J 20-03, considerando además factores de corrección debido a pérdidas por tipo de vidriado, obstrucciones y suciedad en vidrios.

Estipula además que:

- El cociente entre valores máximos y mínimos de FLD en un local no debe ser mayor de 3.
- Se debe evitar la incidencia de luz solar directa, sin proyecciones de sombras y sin producir reflejos o deslumbramientos.
- Los elementos de regulación y control para regular la incidencia directa de la luz solar no deben afectar la calidad de la iluminación.
- Si la iluminación de un local es predominantemente en base a la luz diurna, es conveniente que, desde el punto de vista lumínico, la relación máxima entre área vidriada (considerada a partir de 1m de altura) y área del piso no sea excesiva, recomendándose como máximo 18% en locales con orientación al Este u Oeste y 25% en locales con orientación al Norte o Sur, aunque estos valores pueden ser incrementados según las condiciones externas, obstrucciones, factor de reflexión de superficies, ubicación, etc.
- En aulas no recomienda el uso de iluminación cenital o sistemas mixtos (iluminación lateral y cenital), debido a posibles problemas de deslumbramiento.

Cuando no sea posible lograr en forma natural los valores FLD mínimos indicados se deberá complementar la luz diurna con luz artificial, y el proyecto de las ventanas y de la luz realizará en forma conjunta, debiendo ser considerado el sistema de iluminación independiente del requerido por la iluminación artificial.

Indica además que durante el horario diurno se debe asegurar que la luz natural provenga desde la izquierda considerando la ubicación de los alumnos, que la luz artificial complementaria debe tener preferentemente igual dirección que la luz diurna y que el color de la luz artificial complementaria se debe aproximarse lo más posible al color de la luz diurna en el horario de uso preponderante. Otra indicación adicional es que, como excepción en casos particulares *“el ancho del aventanamiento será como mínimo un 75% del lado mayor del aula y la altura de 1,20m, considerada a partir de 1m del nivel del piso”*.

La Norma IRAM AADL J 20-04 de Iluminación en escuelas establece las condiciones mínimas que debe cumplir la iluminación en edificios educacionales, para brindar una adecuada provisión y control de la luz con el objetivo de obtener una visión confortable. Establece como requisitos básicos (punto 3): correcto nivel de iluminancia, buena distribución de la luz y adecuado contraste de luminancias, para lograr el máximo confort visual.

Como aspectos vinculados a la iluminación natural menciona ubicación y orientación de las aberturas para la penetración de la luz y el factor de sombra de las aberturas (elementos de regulación y protección de la luz); también da indicaciones sobre factores de reflexión de superficies interiores de locales.

Recomienda mantener la luz directa y la visión de la bóveda celeste fuera del campo visual de los ocupantes y establece como requisitos ciertos valores del FLD % sobre el plano de trabajo, con un mínimo del 2 % a cumplir en la situación más desfavorable del local:

Locales	Coefficiente de luz diurna (%)	Observaciones
Aulas de enseñanza general	2	La relación entre los valores máximos y mínimos no excederá de 3 a 1. Las ventanas estarán colocadas de manera que los alumnos no estén enfrentados a ellas y reciban la luz del lado izquierdo *
Aulas de enseñanza especial	5	
Educación física	2	

*Comentario de la tesista: * Esto excluye posibles variaciones en la ubicación del equipamiento que generalmente suceden en función de las actividades en el aula*

Las sugerencias de relación entre área de piso y área vidriada son las mismas que establece la Normativa de Arquitectura Escolar: área de vidriado máxima igual al 18 % del área de piso para locales orientados al Este y al Oeste y al 25 % para locales orientados al Norte y al Sur, en ambos casos para vidrios colocados a 1 m sobre el nivel del piso. Si hay obstrucciones externas, se incrementa este valor en relación directa con el grado de obstrucción y los factores de reflexión de las superficies de obstrucción.

Los niveles de iluminancia establecidos, considerados como valor medio en servicio de la iluminancia, vinculado a la iluminación artificial (punto 4.2 de la Norma) son:

Niveles de iluminancia:

Tipo de local	Valor medio de servicio de iluminancia (lx)
Aulas comunes (lectura y escritura)	500
Sobre pizarrón: iluminación suplementaria	1000
Sala de lectura	400
Biblioteca	400
Aulas especiales	750
laboratorios	400 a 600
Gimnasios	300
Circulaciones	200

Los límites de la relación de luminancias entre las distintas superficies son:

Relación de luminancias

Superficie del aula	Relación máxima de luminancia
Entre objeto de trabajo y fondo inmediato	3 a 1
Entre el objeto de trabajo y la superficie más oscura del campo visual	10 a 1
Entre el objeto de trabajo y la superficie más clara del campo visual	10 a 1
Entre las ventanas y las superficies adyacentes	20 a 1
Entre la tarea visual y cualquier punto del local	40 a 1

No se admite deslumbramiento dentro del campo visual de los alumnos. Con respecto a la uniformidad de la iluminación, establece que la iluminancia general tendrá una relación no menor de 0.5 entre los puntos de nivel máximo y mínimo.

Adicionalmente, da algunas consideraciones muy generales sobre la ubicación y diseño de las ventanas, con preferencia por iluminación unilateral; iluminación complementaria (para uniformar el nivel de iluminación general); iluminación cenital no recomendada; diseño general de ventanas, presencia de otros elementos vidriados en muros (por ejemplo bloques de vidrio), y elementos exteriores e interiores de regulación y control de la luz natural.

Ambas normativas hacen referencia al Factor de Luz Diurna (FLD %) como el parámetro más adecuado para indicar la cantidad de luz diurna dentro de los espacios y, consecuentemente, la eficiencia del diseño de la iluminación natural; el FLD puede ser utilizado como para estimar la superficie de aberturas necesaria para obtener un buen nivel de iluminación.

Normalmente, los niveles de luz natural varían dentro de un amplio rango de iluminancias, inclusive en días nublados. El sistema ocular se acomoda rápidamente a estos cambios, y lo que percibe es el contraste entre los niveles externos e internos de luz; por esta razón, se mide la luz natural interior como una cierta proporción del nivel de la luz exterior. Así, la cantidad de luz disponible para iluminar un espacio interior se expresa como razón matemática respecto a la iluminancia exterior; esta proporción se denomina entonces Factor de Luz Diurna.

El FLD se utiliza como unidad de medida (coeficiente) para comparar niveles de iluminación en el interior de los edificios (métodos de cálculo, verificación, normas internacionales).

Matemáticamente, es igual a:

FACTOR (o COEFICIENTE) DE LUZ DIURNA - FLD (%)

FLD % = luz necesaria x 100 / luz disponible

FLD % = $\frac{\text{Illum. interior s/sup. horizontal (lux)} \times 100}{\text{Illum. exterior s/obstáculos (lux)}}$

Por ejemplo:

Luz necesaria: 100 lux

Luz disponible: 5000 lux

FLD = $100 \times 100 / 5000 = 2 \%$

La mencionada Norma IRAM AADL J20-04 indica como niveles mínimos según usos:

Aulas generales: 2% (mínimo)

Aulas especiales: 5%

Escaleras: 1%

Los valores mínimos requeridos de iluminancia en lux son:

Aulas: 500 lux

Bibliotecas: 500 lux

Aulas especiales: 600 lux

En la bibliografía disponible sobre el tema, se considera que un valor del FLD entre el 2% y el 5% es óptimo. Un FLD del 2% es el valor típico en escuelas y oficinas. Con respecto a los límites del FLD, valores por debajo del 1% indican que el lugar está oscuro, poco iluminado; con valores por encima del 5% aparece el riesgo de sobrecalentamiento por exceso de ganancia de radiación solar.

Factor de luz diurna (FLD) %

5 % o más	El local tiene apariencia de claramente iluminado. No es necesaria luz artificial. Puede haber problemas térmicos asociados a los altos niveles de luz natural
2 – 5 %	Local bien iluminado aunque se puede utilizar iluminación artificial en las zonas de trabajo para mejorar la iluminancia en las zonas más alejadas de las ventanas y reducir contrastes con las vistas al exterior.
Menos del 2 %	Es necesaria la iluminación artificial. Las ventanas aportan vistas pero no suficiente luz.

El método de cálculo basado en el FLD permite estimar la cantidad de luz sobre una superficie horizontal en un punto del plano de trabajo, posibilitando evaluar la superficie mínima de aberturas para iluminación en situaciones críticas (por ejemplo en días nublados en invierno). No indica confort y aspecto visual, distribución de luz ni contrastes y en una situación de diseño es necesario contemplar también la influencia de la vegetación exterior, la presencia de cortinas, persianas, muebles, cuadros y otros obstáculos interiores.

Un buen nivel de iluminación permite ver mejor y leer más rápidamente con mejores condiciones de confort visual. Las normativas indican los niveles mínimos de iluminancia que deben lograrse para obtener una buena visión. Se indica además que estos niveles deben obtenerse aún en las peores condiciones; en el diseño de la iluminación natural esto significa que deberían lograrse bajo condiciones de cielo cubierto, aunque siempre queda la posibilidad de complementar con iluminación artificial. En las aulas, siempre deben ser bien iluminados los sectores del espacio donde es fundamental la visión: pupitres y escritorios, más iluminación vertical sobre pizarrones y la necesaria para poder ver claramente a las personas y las expresiones de sus rostros.

Un antecedente sobre el tema de la influencia positiva de la luz natural en escuelas es un estudio realizado en Suecia en 1992 (citado por Herschong, 2002), que dio los primeros pasos al vincular el impacto de la luz natural en el comportamiento de alumnos de escuelas de nivel primario. Los investigadores hicieron foco en temas de salud, estudiando los niveles de hormonas de 88 niños de 8 años durante un ciclo lectivo completo, encontrando una correlación significativa entre los patrones de niveles de luz natural, niveles hormonales y comportamiento de los estudiantes, concluyendo que deberían evitarse las aulas sin ventanas.

Con respecto a la relación entre iluminación natural y rendimiento escolar, se llevó a cabo un interesante estudio en los Estados Unidos (Heschong *et al*, 2002), en el cual los investigadores compararon los resultados de los exámenes de alumnos que ocupaban aulas con y sin luz natural, encontrando que los resultados eran mejores en los casos correspondientes a aulas con luz natural. Las conclusiones señalan que en estas últimas son mejores las condiciones visuales en relación con uno o la combinación de varios factores como altos niveles de iluminancia, mejor contenido espectral de la luz, mejor rendimiento de color y reconocimiento tridimensional de formas y objetos por contrastes de luces y sombras bien marcadas, reducción de problemas visuales causados por el parpadeo de la luz de tubos fluorescentes, efecto tranquilizante del contacto con el exterior mediante las vistas, que implican una mejor estimulación a nivel cerebral y mayor alerta mental debido a la respuesta bioquímica del sistema circadiano al estímulo de la luz diurna a nivel de los neurotransmisores.

En el estudio se separaron los efectos de la iluminación de otras cualidades asociadas a la luz natural proveniente de ventanas, estableciendo una conexión estadística entre la iluminación natural y los resultados de pruebas estandarizadas en tres distritos escolares de nivel primario, y relacionándolos con la cantidad de luz provista para cada estudiante dentro del ambiente del aula.

Las conclusiones indican que los estudiantes ubicados en las aulas más iluminadas avanzan más rápidamente estando los resultados de sus exámenes anuales ligeramente por encima del promedio. Los investigadores encontraron una correlación positiva significativa entre la presencia de luz natural y el rendimiento escolar en los tres distritos estudiados, aún en casos de iluminación cenital.

Si bien algunos aspectos puntuales del estudio han sido discutidos por expertos, específicamente en relación a cómo los investigadores han ponderado la influencia de algunas variables, como por ejemplo la habilidad del maestro para transmitir los conocimientos, los resultados coinciden con estudios similares que se llevaron a cabo en Canadá y Gran Bretaña para oficinas, y que también dan cuenta de los aspectos positivos de la luz natural en la productividad y la reducción de problemas de salud en los ocupantes de los edificios.

“Las ventanas tienen impactos positivos y negativos en el confort y la performance de los estudiantes. Aspectos positivos son el acceso a la luz natural y vistas agradables, pero la performance de los estudiantes puede ser afectada negativamente por factores como reflejos, temperaturas extremas no confortables, aire sofocante o polución acústica. Un apropiado diseño de la ventana y su operación pueden ayudar a mitigar estos problemas, creando ambientes más confortables y productivos para el aprendizaje” (traducción propia de Heschong 2002)

A partir de la difusión de las nuevas investigaciones sobre los temas precedentes, sumado a la necesidad de promover el diseño de una arquitectura sustentable, considerando pautas vinculadas a la eficiencia energética en edificios y generando a la vez espacios saludables, se desarrollaron algunas iniciativas y normativas en distintos países que sirven como antecedentes orientativos. Se consideran especialmente interesantes la guía K 12 elaborada por el ASHRAE (2008), el National Best Practices Manual for High Performance Schools (2008), publicado por el Departamento de Energía del gobierno de los Estados Unidos y las guías de diseño desarrolladas para el Ministerio de Educación de Nueva Zelanda, a nivel gubernamental y, más específicamente en el tema iluminación natural, la publicación Patterns to Daylight Schools for People and Sustainability, del Lighting Research Center del Rensselaer Polytechnic Institute (2004).

Los dos primeros presentan una serie de recomendaciones donde se analizan exhaustivamente todos los aspectos que afectan el comportamiento energético de los edificios escolares, desde el planteo del proyecto y la elección del sitio hasta cuestiones vinculadas a su funcionamiento, incluyendo el mantenimiento y uso final del edificio. La guía K 12 parte de una introducción exponiendo criterios generales sobre el uso de los recursos disponibles, estableciendo metas de ahorro de energía de alrededor del 30 % respecto a la situación actual; presenta una visión integral del proceso de diseño orientado al ahorro energético, dando una serie de recomendaciones de diseño para 8 zonas climáticas de los Estados Unidos y presentando casos de estudio representativos para cada región como ejemplo a seguir. A continuación expone cómo pueden implementarse las recomendaciones y presenta una serie de apéndices que incluyen puntos específicos relacionados con el aprovechamiento de la luz natural, como el diseño de las ventanas como fuente de iluminación y las estrategias de diseño de la iluminación natural en relación con el clima, con indicaciones de orientaciones, valores de transmitancia de luz según tipos de vidrio y presencia de elementos de protección solar, posibilidad de incorporar aberturas cenitales y relación con la iluminación artificial.

Contempla la posibilidad de lograr la iluminación necesaria a través de ventanas laterales, cenitales y la combinación de ambas, considerando que la iluminación natural forma parte de las prácticas del buen diseño. Subraya que la aplicación de las estrategias de diseño de iluminación debe tener en cuenta las condiciones de disponibilidad de luz natural según zona climática y recomienda cierto porcentaje de superficie vidriada respecto a la superficie del local, según orientación y zona climática. Las consideraciones comprenden el diseño del edificio, las orientaciones, los colores de superficies, las estrategias de control y las configuraciones de aberturas.

El National Best Practices Manual for High Performance Schools desarrolla con mayor profundidad las recomendaciones de la guía K 12 para cada región climática. Propone metas o objetivos para un proceso de diseño integral que incluye, además de iluminación natural, calidad de aire interior, confort térmico, visual y acústico, seguridad, eficiencia energética, materiales, protección del ecosistema, uso eficiente del agua y la concepción del edificio mismo como una herramienta para educar al ocupante. Las recomendaciones van desde pautas iniciales a considerar en el planteo del proyecto hasta el desarrollo detallado de aspectos técnicos específicos para los sistemas de soporte tecnológicos.

Con respecto al tema específico de la iluminación natural, lo relaciona con el confort visual, el confort térmico, la seguridad y la eficiencia energética; entre los beneficios del aprovechamiento de la luz natural incluye la performance académica, el ahorro de energía (un 40 % del gasto de energía en este tipo de edificios es atribuible a luz artificial), la luz de

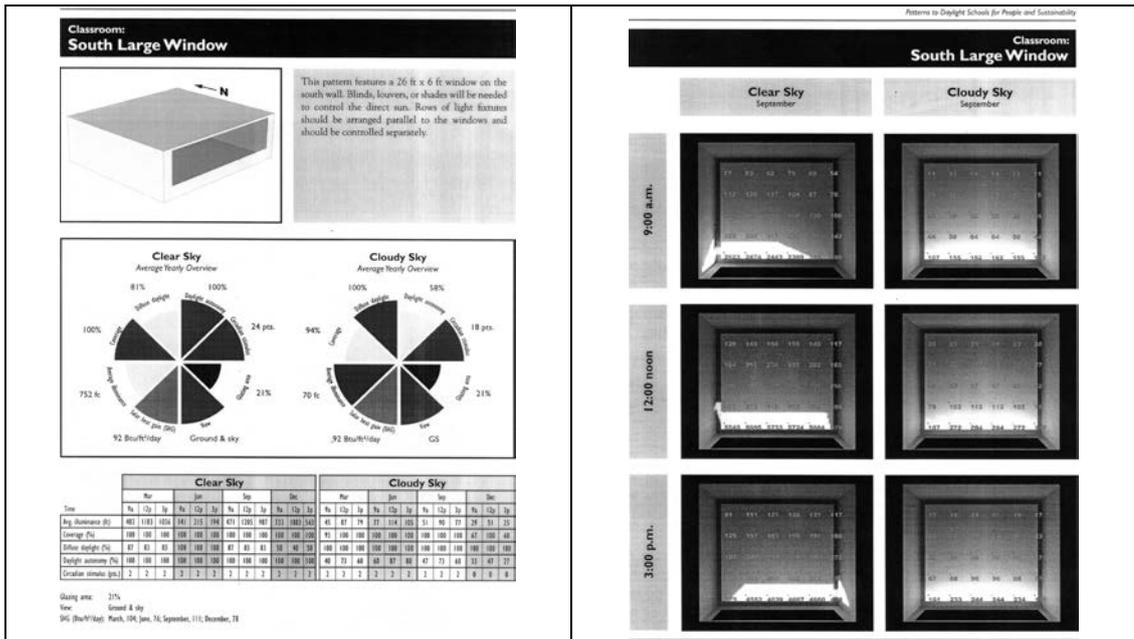
mejor calidad, la conexión con el medio natural, los aspectos positivos relacionados con la salud y la contribución del edificio mismo a la educación ambiental de los estudiantes.

Las guías de diseño desarrolladas para el Ministerio de Educación de Nueva Zelanda resultan interesantes por proponer un esquema sencillo, sin el detalle técnico de otras. Son simplemente una guía de recomendaciones de diseño de fácil aplicación para los proyectistas, dejando aspectos técnicos específicos en manos de especialistas en la materia. Los temas de las cuatro guías son: calefacción y aislación, iluminación, ventilación y calidad de aire interior y diseño interior y de equipamiento; su objetivo es la mejora en la calidad de los espacios educativos. Estas guías proporcionan información para el diseño de la iluminación de los distintos espacios según las demandas de iluminación para distintos tipos de actividades en el edificio escolar, dedicando las primeras secciones a la luz natural, con explicaciones sencillas de aspectos técnicos, tipos de aberturas y el patrón de luz diurna resultante, indicando estrategias para optimizar el aprovechamiento de la luz del sol.

La publicación *Patterns to Daylight Schools for People and Sustainability* tiene como objetivo ser útil como medio para facilitar la implementación de prácticas sustentables en la iluminación de edificios educacionales. Expone conceptos relacionados con la iluminación natural y desarrolla un patrón básico de referencia circular, aplicable a distintos tipos de aberturas, con 8 partes (en forma de gajos), que hacen referencia a las metas a lograr:

- Luz difusa (minimizar luz directa para evitar posibles problemas de confort visual)
- Autonomía mediante luz natural (en relación con luz artificial)
- Efecto en el estímulo del sistema circadiano (cantidad de luz suficiente para esa función)
- Área de vidrio (optimizar la superficie de abertura en relación con costos constructivos)
- Vistas al exterior
- Cobertura de iluminación (distribución de luz en el ambiente)
- Iluminancia promedio (suficiente iluminancia para la tarea visual)
- Ganancias solares en forma de calor (reducir demanda de calefacción)

El patrón es un modelo gráfico cuyo esquema incluye un gráfico tridimensional del espacio propuesto, con orientación y aberturas; para cada patrón correspondiente a un tipo y orientación de abertura se desarrollan dos esquemas circulares que indican las metas resultantes bajo condiciones de cielo claro y cubierto, una tabla con los valores resultantes y esquemas de resultados de simulaciones en distintas horas del día.



Ejemplo del patrón esquemático para iluminación natural en aulas.
Fuente: *Patterns to Daylight Schools for People and Sustainability.*

A partir del análisis de antecedentes realizado, se juzga que las primeras son una interesante guía a seguir en cuanto a propuesta de metas en el tema y desarrollo de pautas de diseño para iluminación adaptadas a las características y necesidades de cada región climática. Las guías neocelandesas son, en cuanto a su contenido, muy apropiadas como modelo para el diseño ya que se relacionan mejor con el tipo de indicaciones incluidas en los Criterios y Normativa Básica de la Argentina, resultando útil una herramienta de diseño para proyectistas y dejando el desarrollo de aspectos técnicos específicos en manos de expertos en el tema (investigadores o tecnólogos). Finalmente, los patrones elaborados en la última publicación son ejemplos interesantes de la vinculación entre estrategia de diseño de iluminación y visualización de los posibles resultados a obtener a partir de su implementación.

Capítulo 3

Variables vinculadas a la iluminación natural y el confort visual.

En este capítulo se exploran algunas de las variables establecidas en el cuerpo teórico de la luminotecnia con respecto a la iluminación y el confort visual, con el fin de determinar cuáles pueden ser vinculadas, directa o indirectamente, con la percepción subjetiva de confort de los ocupantes.

El desarrollo del contenido comprende tres partes: las variables vinculadas al confort visual; las que tienen influencia en los espacios destinados a actividades educativas y las que tienen que ver con la envolvente arquitectónica y que están directamente relacionadas con la iluminación natural.

Variables relacionadas con la calidad de la iluminación natural y el confort visual.

El concepto de calidad respecto a la luz natural tiene que ver en principio con la distribución de la luz, medida en un punto de referencia, que generalmente se ubica sobre un plano de trabajo horizontal. Tiene relación también con la distribución de la reflexión y el brillo de las superficies; las características del entorno en su totalidad tienen que ver con la percepción del espacio y la sensación de satisfacción o confort visual.

Los códigos y estándares sobre iluminación hacen referencia al nivel de iluminación sobre el plano de trabajo, como guía para asegurar ciertos niveles desde el diseño. Hay otros aspectos que son importantes para lograr el confort visual: nivel y distribución de la luz sobre el plano de trabajo, contraste dentro del sector focal de la tarea, contraste entre el sector focal y su entorno, y ausencia de reflejos que pudieran causar discomfort dentro del campo visual.

Los parámetros que definen la calidad de una iluminación (Colombo en AAVV, 2001, Cap. 5) dependen de las actividades que se lleva a cabo, aunque responden a ciertas exigencias comunes. Estas son:

- Nivel de iluminación
- Distribución de luminancias en el campo visual
- Deslumbramiento
- Modelado
- Color

Los factores que intervienen en el umbral diferencial de la visión son:

- Contraste
- Tamaño
- Tiempo de observación
- Luminancia del fondo y color

Estos cuatro factores son independientes si sobrepasan un cierto valor y dependientes entre así en el caso contrario. Además hay otros aspectos que tienen que ver con la comodidad visual: las vistas al exterior, apariencia, brillo aparente, color, privacidad, comportamiento social.

Los parámetros de función visual se usan para determinar dentro de qué condiciones de iluminación hay visibilidad y tienen que ver directamente con la fisiología del ojo. Normalmente, una buena visibilidad se define por la presencia de una adecuada cantidad de luz para la tarea visual, con una distribución uniforme de iluminancias y luminancias, suficientemente direccionada para modelar objetos tridimensionales y superficies, la ausencia de reflejos y con un contenido espectral suficiente para lograr una adecuada definición de colores. Con respecto a este último aspecto, la luz natural presenta condiciones óptimas.

Iluminancia: es la cantidad de luz necesaria para la tarea visual. En el caso de la luz natural se indica un cierto FLD% con una base (por ejemplo 200 lx). En general, las ventanas pueden proveer adecuada iluminación natural en un local hasta una profundidad de 1.5 ó 2 veces la altura de la ventana desde el piso.

Distribución: la distribución de iluminancia y luminancia es una medida de cómo la luz varía punto por punto sobre una superficie; para una buena visibilidad, es deseable cierto grado de uniformidad sobre el plano de trabajo. Una visibilidad pobre lleva al discomfort visual, como resultado de forzar el ojo a una continua y rápida adaptación a un amplio rango de niveles de luz.

En general, se acepta que una distribución no uniforme de altas luminancias contribuye a la creación de un ambiente más confortable visualmente; a menores luminancias se prefiere mayor uniformidad. Un buen predictor del confort es el promedio de luminancias entre el techo y las paredes del ambiente, de modo tal que cuanto mayor es este valor, mayor es el confort (Miller, 1995, citado por E. Colombo, *op cit*).

La distribución espacial de luminancias en relación con las reflectancias de las paredes es un aspecto clave para el confort; las relaciones de luminancia entre tarea y entorno inmediato también dependen de la iluminancia sobre la tarea: por ejemplo, para una

iluminancia de 500 lx el cociente de luminancias favorable es de 3:1 mientras que para una iluminancia de 50 lx este cociente es de 2:1. Estos valores están basados en resultados de investigaciones y combinan óptima performance visual y confort; sin embargo, y aunque estos límites son flexibles, cuando el entorno es más claro que el sector focal de la tarea, la performance visual decae rápidamente.

La relación de luminancia recomendada entre tarea y entorno ambiente más lejano, como paredes, techo, o superficies dentro del campo visual del observador, es 10:1. En particular, las paredes claras frente a la tarea se consideran más confortables que las oscuras.

Los parámetros establecidos son:

- La variación de luminancia dentro del campo inmediato de la tarea visual debe mantenerse hasta un máximo de 2.5: a 3:1
- El valor típico para la variación de luminancia entre el sector de la tarea visual y el entorno, es 3:1.
- Se permiten variaciones mayores entre el sector de tarea y las superficies más alejadas, hasta 10:1; con precauciones adicionales por contrastes o posibles reflejos, puede variar entre 20:1 a 40:1
- La luminancia de obstrucciones exteriores varía según su posición y las condiciones de incidencia de la luz solar y deben ser estudiadas de manera detallada.
- En general, los ocupantes aceptan variaciones de luminancia mayores cuando los espacios están iluminados con luz natural.

Las soluciones ante problemas de discomfort por excesiva luminosidad son:

- Aumentar la luminancia de la pared de la ventana para disminuir el contraste
- Reducir la luminancia de la ventana
- Considerar la ubicación de la ventana en relación con la dirección de las visuales de los ocupantes del espacio.
- Incorporar áreas de claridad intermedia.

Deslumbramiento (definición CIE): es una condición de la visión que produce molestias, reducción o ambas, en la habilidad para ver objetos significantes debido a una inconveniente distribución o nivel de iluminancias o a variaciones extremas de las mismas en el espacio o el tiempo. Puede ser *directo*, debido a fuentes luminosas sobre el ojo del observador, o *indirecto*, cuando el flujo de una fuente luminosa es reflejada en una superficie especular, mixta o semi-especular hacia los ojos del observador produciendo sensaciones que van desde leve distracción hasta incomodidad. Si la reflexión ocurre en el área de la tarea visual se la llama "reflexión por velo" mientras que si sucede fuera del área se emplea el término general de "deslumbramiento reflejado".

En el caso de las ventanas, el valor de luminancia del cielo a partir del cual se comienza a experimentar deslumbramiento es del orden de 2000 cd/m² que corresponde a una iluminación horizontal aproximada de 10000 lux, con cielo nublado (iluminación difusa). Se puede reducir con cortinas, vidrios tonalizados, dejar las ventanas fuera del campo visual de los ocupantes, o mediante acabados claros en las superficies contiguas a las ventanas.

Reflejos: el brillo de las superficies es un producto de la iluminancia y la reflectancia de la superficie, implicando un nuevo nivel de complejidad. Las superficies especulares brillantes pueden causar problemas visuales y discomfort por la posible presencia de reflexiones especulares. Las ventanas mismas pueden convertirse en amplias superficies fuentes de brillos dentro del campo visual si reciben luz solar directa.

Con respecto a las reflectancias, la principal influencia es del cielorraso, en relación con la reflectancia del suelo circundante o de las reflexiones de luz desde las paredes u obstáculos interiores.

Los valores normales de reflectancias son:

Cielorraso claro: 0.7

Paredes pálidas: 0.5

Pisos y mobiliario: 0.3

Obstrucciones externas: se asume el 20% (0.2) como valor promedio.

Los reflejos que afectan la visibilidad se dividen en dos tipos:

Reflejo inhabilitante: impide la visión total o parcialmente por la incidencia directa del rayo de luz en el ojo. No hay modelos para predecir satisfactoriamente este problema, que puede aparecer en algunos casos con ventanas o sistemas para redireccionar luz natural.

Reflejo no comfortable: es la sensación de discomfort causada por altas iluminancias o distribución no uniforme de brillo dentro el campo visual. Tiene relación con las luminancias, sus proporciones, el tamaño de la fuente de luz, la geometría en relación con la línea de visión y las reflexiones de velo producidas por superficies altamente reflejantes. Se pueden evitar con un cuidadoso diseño del sistema de iluminación natural.

Dirección: en general, existe la necesidad de una cierta direccionalidad de la luz para identificar o modelar objetos tridimensionales y superficies. El predominio de luz difusa implica menos sombras reduciendo la capacidad del ocupante para evaluar profundidad, forma, y textura de superficies. Un adecuado balance entre luz direccionada y difusa permite evaluar adecuadamente las propiedades de los objetos y las superficies. No hay parámetros estándar para evaluar la dirección y difusión de la luz. Normalmente, la luz solar directa es

direccionada con suficiente luz difusa proveniente del cielo para balancear adecuadamente el contraste de un objeto tridimensional.

Vistas exteriores: hay una alta valoración de las ventanas por las vistas al entorno natural y conexión con los espacios exteriores. Los cambios y movimientos en la luz natural durante el día pueden ser estimulantes o relajantes mentales. Determinadas vistas pueden brindar una cierta sensación de bienestar. La hora del día, las condiciones climáticas y algunas condiciones personales de seguridad con respecto al ambiente están relacionadas con el exterior visible desde las ventanas. La tolerancia a niveles moderados de reflejos tiene relación con la calidad de las vistas.

Apariencia: los patrones de luz natural afectan el juicio estético del ocupante sobre la coherencia del entorno, legibilidad y complejidad espacial. La luz natural raramente crea patrones extraños o aleatorios que sí pueden ser creados por la luz artificial.

Claridad aparente: la impresión de apariencia de luminosidad es un importante aspecto psicológico asociado a la luz natural, por ejemplo, cuando un espacio parece oscuro independientemente del valor físico de la iluminancia o luminancia. Dos espacios con los mismos niveles de iluminación y diferentes medidas de ventanas dan distintas impresiones de claridad; los espacios con ventanas más grandes dan impresión de mayor claridad. En general, los gradientes de luminancia afectan la percepción de claridad.

Color: una clara definición de los colores para la tarea visual implica mejor calidad visual y percepción del color. La distribución espectral de la luz después de ingresada al edificio determina el rendimiento de color, y la luz natural define el espectro completo en iluminación.

Comodidad o facilidades visuales: acompañan la respuesta humana al entorno iluminado más allá de los criterios puramente asociados al sistema visual, incluyendo elementos psicológicos. La luz afecta el comportamiento de los ocupantes y sus impresiones sobre el entorno; un entorno naturalmente iluminado puede evocar una respuesta emocional que afecta el modo y comportamiento social del ocupante.

Salud: como se ha mencionado en el marco teórico, la luz natural tiene efectos en la piel, los ojos, las hormonas, los neurotransmisores y el comportamiento.

Variables relacionadas con el confort visual en espacios destinados a educación

A partir del análisis de la bibliografía especializada en el tema de la iluminación natural en espacios educativos, se pueden mencionar algunos principios que tienen que ver específicamente con las consideraciones de diseño:

- Proveer una iluminación suave y uniforme en todo el espacio
- Evitar fuentes de reflejos y deslumbramiento
- Evitar la penetración de los rayos del sol en los sectores del espacio sensibles desde el punto de vista visual (pupitres, pizarrones, pantallas)
- Permitir a los ocupantes (adultos) el control del acceso de luz natural mediante persianas u otros dispositivos de oscurecimiento.
- Diseñar el uso del espacio (y ubicación del equipamiento) de manera de optimizar las ventajas de las condiciones de iluminación natural.

- Proporcionar una iluminación suave y uniforme.

La luz natural se considera óptima cuando provee una iluminación suave y uniforme en todo el espacio. Aún la luz difusa permite una buena calidad visual en los espacios. El objetivo del buen diseño de la iluminación natural es lograr, precisamente, una distribución equilibrada de luz en el ambiente.

Es más fácil conseguir una iluminación uniforme utilizando iluminación cenital como estrategia, ya que las aberturas cenitales distribuyen la luz uniformemente en áreas más extensas. Otra estrategia es proporcionar luz diurna desde dos lados de un espacio, combinando de ventanas a nivel de vista y ventanas altas.

Las combinaciones de iluminación lateral y cenital también pueden ser favorables para lograr niveles de iluminación uniformes. La condición más restrictiva es precisamente un local con ventanas en un solo lado, ya que los niveles de luz natural son muy altos junto a la ventana y decrecen rápidamente. Existen estrategias para mejorar la distribución de luz en el espacio, pero requieren mayor diseño y pueden implicar mayores costos de construcción.

Se puede utilizar la luz natural para proporcionar un nivel básico de iluminación a lo largo de un espacio y compensar con luz artificial; sin embargo, si el área de la abertura se incrementa para proporcionar un mayor nivel de iluminación, aumenta el ahorro de energía eléctrica pero a la vez puede ser necesario gastar más energía en el acondicionamiento térmico. Un buen diseño de iluminación natural trata de equilibrar los costos de la energía con la calidad de la iluminación deseada.

El diseño de las superficies reflectantes que ayudan a re-distribuir la luz es tan importante como el diseño de las aberturas para proporcionar iluminación; paredes y techos son parte del diseño de iluminación natural. Para obtener la máxima eficiencia y confort visual, deben ser pintados de blanco o de un color muy claro; incluso los colores pastel absorben un 50% de la luz que incidente, produciendo una reducción proporcional en los niveles de luz disponible.

Los diseños avanzados de iluminación natural aprovechan superficies reflectantes exteriores e interiores para mejorar la distribución de luz en el espacio. Las salientes o aleros de color claro pueden ayudar a reflejar la luz; se pueden utilizar estantes de luz para re-direccionar la luz más profundamente en el espacio, o bien una serie de superficies reflectantes o de refracción integradas en el propio acristalamiento que pueden redirigir la luz solar hacia el techo del espacio. Estos elementos son parte integral de la arquitectura del edificio y están diseñados de manera diferente para cada orientación.

Los factores de reflexión recomendados en la Norma IRAM-AADL para las superficies interiores de los locales son:

Superficies interiores	Factores de reflexión %
Cielorraso	70 - 90
Muros	40 - 60
Solados	10 - 30
Puertas	20 - 60
Pizarrón	10 - 20
Pupitres y mesas	25 - 50

- Evitar la penetración de luz solar directa.

La luz diurna es que cambia sus características y calidad durante todo el día y en cada época del año. La trayectoria diaria y estacional del sol es el principal determinante de la disponibilidad de luz solar, mientras que la presencia de nubes y la humedad en el aire afectan a la calidad y la intensidad de la luz del cielo. Es esencial para diseñadores comprender los principios básicos de la orientación solar, las condiciones climáticas y sistemas de protección solar para un buen diseño de la iluminación natural.

La luz directa del sol es una fuente de luz muy intensa; es tan brillante, y de alta temperatura, que puede crear gran incomodidad visual y térmica. Luz diurna de origen difuso, por otra parte, que viene del cielo azul, las nubes, o de la luz solar difusa o reflejada, es mucho más suave y eficiente, y puede proporcionar una iluminación excelente sin los efectos negativos de la radiación solar directa. Un buen diseño de la iluminación natural se basa en maximizar el uso de la luz natural suave y difusa, y reducir al mínimo la penetración del rayo de luz solar directa.

Los mejores diseños para aprovechar la luz natural plantean su aprovechamiento como estrategia desde las etapas iniciales del proceso de diseño de nuevos edificios; el primer paso es la correcta orientación de los edificios en el sitio y la orientación de las aberturas. Un diseño cuidadosamente orientado permitirá optimizar la luz del día y reducir al mínimo las ganancias solares no favorables.

Las ventanas orientadas al norte son una buena opción debido a que el ángulo de altitud del sol puede ser fácilmente interceptado por un alero horizontal que proporcione sombra. Las ventanas orientadas al Este-Oeste son más problemáticas porque los rayos inciden cuando el sol está bajo en el cielo, y las salientes u otros dispositivos de protección solar fijos son de utilidad limitada. Cualquier orientación de ventanas a más de 15° respecto al norte o al sur requiere una evaluación cuidadosa para evitar la penetración solar no deseada.

En el caso de las ventanas, las protecciones solares cuidadosamente diseñadas pueden limitar la penetración directa del sol al mismo tiempo que dejan entrar la luz diurna difusa. En los casos de iluminación mediante aberturas cenitales, se debe evitar el ingreso de los rayos del sol mediante el uso de cristales especiales, o bien redireccionarlos con deflectores hacia las paredes.

- Evitar deslumbramiento.

El contraste excesivamente alto causa deslumbramiento. El deslumbramiento directo es producto de la presencia de una superficie brillante en relación al entorno (por ejemplo la visión directa del sol) en el campo de visión, y produce malestar o pérdida del rendimiento visual, implicando efectos negativos sobre el rendimiento de los estudiantes. Es conveniente evitarlo oscureciendo u ocultando la vista de las fuentes luminosas y las superficies altamente reflejantes mediante persianas, reflectores y dispositivos similares.

La colocación de las aberturas cercanas a las superficies reflectantes reduce el deslumbramiento y distribuye la luz de manera más uniforme; además se iluminan las superficies interiores reduciendo el contraste con las superficies de las ventanas. En algunos casos se puede conseguir una reducción del deslumbramiento mediante iluminación cenital. Las persianas o cortinas también pueden reducir el contraste controlando el brillo de las ventanas, y la difusión de la luz.

El deslumbramiento también puede ocurrir cuando el rayo de luz del día incide sobre una superficie reflectante, como una pantalla de ordenador o una pizarra blanca, y produce reflejos brillantes que hacen que sea difícil o imposible la visión. Se pueden prevenir este tipo de reflexiones cambiando la orientación de la pantalla / pizarra o bien rediseñando las aberturas para eliminar el reflejo.

Con respecto a los niveles de iluminación en aulas, una luminancia de 200 lux se considera como el mínimo aceptable para locales donde la gente permanece durante mucho tiempo, y para todos los locales de trabajo. En el caso de espacios educacionales, los valores indicativos según el tipo de tarea son:

Escuelas

Lectura de textos impresos	300 lx
Lectura de textos en lápiz	700 lx
Lectura de textos en copia buena	300 lx
Lectura de textos en copia mala	1000 lx
Salas de dibujo y bancos de trabajo	1000 lx
Pizarrones	1000 lx

Características de la envolvente arquitectónica y confort visual.

Las siguientes variables tienen relación directa con las características de la envolvente arquitectónica del espacio. La primera es la que se refiere al diseño de la abertura para iluminación natural: orientación, localización, configuración, dimensiones y tipo de vidrio. La otra tiene que ver con las características de las superficies interiores para redistribuir la luz; la más importante es el color y el índice de reflectancia que le corresponde, y las posibles texturas superficiales que afecten la reflexión de la luz.

Ventanas y aberturas:

La posición, forma y tamaño de las ventanas en un local tienen fuerte influencia en la distribución y nivel de luz natural, y potencian o no su utilidad. La forma más común de proveer luz son las ventanas verticales en paredes; la distribución de la luz no es uniforme, y decrece rápidamente al alejarse de la ventana. El objetivo base de un buen aventanamiento es evitar fuertes variaciones en los valores de iluminancia.

Como regla general, la profundidad de los niveles útiles de luz natural es aproximadamente 2 veces la distancia desde el piso al dintel de la abertura, a menos que se utilicen sistemas especiales para redireccionar la luz. La forma de la ventana depende de cómo se requiere la iluminación y de aspectos vinculados a la imagen arquitectónica. La orientación afecta la calidad y la cantidad de luz natural que llega a un local.

Con respecto a las medidas de las ventanas, se dimensionan en relación con los requerimientos del nivel de iluminación, según actividad del local, y condiciones típicas del cielo del lugar. Matemáticamente expresado:

$$D = [FLD * A * (1 - R^2)] / [\alpha * T * M]$$

D = sup vidrio (m²)

FLD = factor de luz diurna promedio (%)

A = área de todas las superficies interiores (m²)

R = reflectancia interior promedio

α = ángulo vertical de la vista del cielo sin obstrucciones desde el centro de la abertura (en °)

T = transmitancia del vidrio

M = factor de mantenimiento del vidrio (es un valor que se encuentra tabulado)

Transmitancia de vidrios:

Tipo de vidrio	Transmitancia	Área necesaria
Simple	0.8	100 %
Doble	0.65	125 %
Triple	0.55	140 %
Tonalizado	0.39 – 0.66	120 – 210 %
Reflectivo	0.15 – 0.26	310 – 530 %

Factores de corrección por mantenimiento:

Tipo de uso / localización	Angulo de inclinación del vidrio		
	Vertical I	Inclinado /	Horizontal --
Limpio	0.9	0.8	0.7
Mant. regular	0.7	0.6	0.5
Muy sucio	0.6	0.5	0.4

A modo indicativo, las superficies mínimas de ventanas en una sola pared del local para locales rectangulares (Treguenza y Loe, 1998) deben ser:

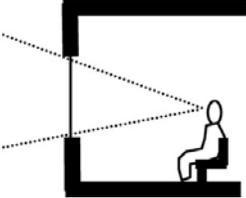
Profundidad del local desde la pared con la ventana (m)	Porcentaje de vidrio en la pared de la ventana, visto desde el interior
Menos de 8	20
8 - 11	25
11 - 14	30
Más de 14	35

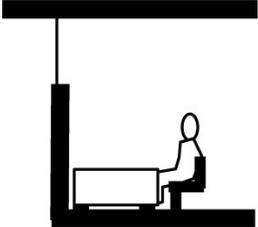
Los tipos básicos de diseño de aberturas se presentan a continuación en forma de cuadro para facilitar su comprensión. Dentro de estos tipos generales, aparecen en el diseño variantes definidas en función de su orientación, dimensiones y combinación de sistemas. Por ejemplo:

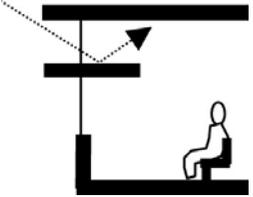
- ventanas para vistas: grandes, medianas o pequeñas, orientadas al Norte, Sur, Este u Oeste, con o sin aleros o estantes de luz
- ventanas altas + ventanas de vista, en distintas orientaciones
- ventanas bilaterales
- cenital, con una o varias aberturas, con monitores verticales al Norte ó Sur, con o sin protección solar y /o deflectores
- ventanas laterales + iluminación cenital

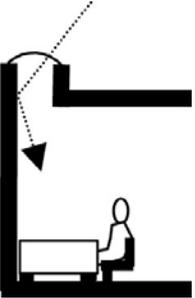
Se eliminan en estas descripciones las menciones específicas sobre temas de ventilación, transmisión de calor, aspectos técnicos o vinculados a la iluminación artificial y al ahorro de energía, que son importantes aunque no relevantes al recorte específico del tema de la tesis.

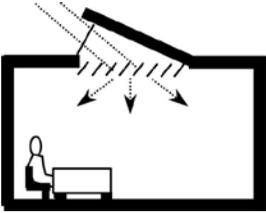
Síntesis de tipos de aberturas para proporcionar iluminación natural en aulas:

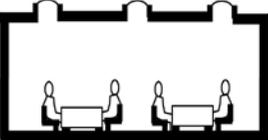
Tipo y esquema	Descripción	Orientación	Características
<p>Ventanas para vistas</p> 	<p>Ventanas de acristalamiento vertical al nivel del ojo.</p> <p>Proporcionan vistas hacia el exterior desde los espacios interiores, donde los estudiantes permanecen durante largos períodos de tiempo.</p> <p>Esenciales en todos los espacios de la escuela (con excepción de los espacios que requieran aislamiento visual) para proporcionar vistas relajantes e información acerca de las condiciones exteriores naturales.</p> <p>Debe tenerse en cuenta el contraste entre la vista de la ventana (más luminosa) y otras superficies interiores para evitar deslumbramiento.</p> <p>Son aplicables en todas las regiones climáticas.</p>	<p><i>Orientación:</i> hacia el norte o sur para evitar el sol de bajo ángulo de incidencia de las orientaciones este / oeste. Una variación de hasta 15° desde norte o sur es aceptable.</p> <p>En orientaciones norte, este y oeste incorporar protección interior (persianas, cortinas) para que el ocupante pueda ajustar la luminosidad y la penetración de sol cuando sea necesario.</p> <p>Si se utilizan vidrios coloreados, se debe evaluar el efecto en la distorsión de colores, tanto bajo condiciones de cielos nublados como claros.</p>	<p><i>Dispositivos de protección solar.</i> Utilizar elementos de protección solar exteriores (salientes, aleros) o vegetación para eliminar la luz directa del sol y reducir el brillo. Si esto no es posible, se puede utilizar un vidrio de baja transmisión según la orientación.</p> <p><i>Reflectancia:</i> Umbrales y laterales de ventanas profundos ayudan a reducir la luminosidad y el contraste. El color de todas las superficies cerca de las ventanas debe ser color blanco o casi blanco para reducir el contraste entre el brillo de la ventana y el muro circundante. Se pueden agregar elementos de transición actúen como separación física entre la zona de la ventana luminosa y las superficies interiores; el ojo considera cómodo este efecto. Colocar las ventanas adyacentes a las paredes que reflejen la luz.</p> <p><i>Superficies reflectivas exteriores.</i> Las superficies exteriores altamente reflectantes pueden producir reflejos cuando están expuestas a la luz solar. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, las superficies del terreno de colores claros se pueden utilizar para reflejar la luz a través de las ventanas hacia el cielorraso. Las paredes claras o muros de vidrio también pueden ser fuentes de deslumbramiento cuando están expuestas al sol directo. Se pueden utilizar plantas o árboles para reducir el deslumbramiento potencial de estas fuentes.</p> <p><i>Vistas.</i> Si es posible, conviene orientar las vistas hacia escenas naturales, para potenciar el efecto relajante de las vistas al exterior.</p> <p><i>Sector de pizarrones:</i> la pared donde se ubican los pizarrones debe ser perpendicular a la pared de la ventana para una mejor iluminación.</p>

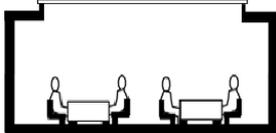
Tipo y esquema	Descripción	Orientación	Características
<p data-bbox="259 296 499 352">Ventanas laterales altas.</p> 	<p data-bbox="573 288 887 564">Aberturas acristaladas verticales altas, ubicadas encima del nivel visual. La penetración de luz de una abertura vertical es aproximadamente dos veces la altura de la ventana; una ventana más alta aumenta la penetración de luz en el espacio.</p> <p data-bbox="573 596 887 815">Requiere techos y muros perimetrales altos. Cuanto mayor sea la altura del techo, la respuesta como fuente de iluminación es mejor. Presentan mejor rendimiento en espacios amplios y profundos.</p> <p data-bbox="573 847 887 954">La calidad de la iluminación mejora por una distribución más uniforme de la luz en el espacio.</p> <p data-bbox="573 986 887 1066">Pueden ubicarse en combinación con ventanas para vistas.</p> <p data-bbox="573 1098 887 1177">Para una mejor distribución de luz, el acristalamiento alto debería ser continuo.</p>	<p data-bbox="931 288 1234 592">Son más eficaces en las orientaciones norte y sur, y se debe evaluar cuidadosamente el este y el oeste, para evitar la penetración de los rayos solares de bajo ángulo de incidencia y reducir la ganancia solar directa. Agregar protección solar de ser necesaria.</p>	<p data-bbox="1272 288 2024 480"><i>Dispositivos de protección solar.</i> Este tipo de aberturas deben contar con protección solar, vidrios traslúcidos, persianas o estantes de luz para eliminar la penetración directa del sol. Las persianas horizontales son buenas para redirigir la luz más profundamente en el espacio, especialmente la orientación Norte. En el Este / Oeste son más apropiadas las persianas verticales para redirigir la luz de bajo ángulo de incidencia.</p> <p data-bbox="1272 512 2024 592"><i>Transmisión del espectro visible.</i> Utilizar, acristalamiento transparente, de alta transmisión (transmisión visible del 60% al 90%) en la ventana superior para optimizar la luz del día en el espacio.</p> <p data-bbox="1272 624 2024 783"><i>Reflectancia.</i> Las superficies cercanas a las aberturas deben ser de color blanco o casi blanco para reducir el contraste entre la luminosidad de la ventana y la pared circundante. El techo adyacente también debe tener una terminación altamente reflectiva (> 70%), una superficie de color blanco o similar para ayudar a difundir la máxima cantidad de luz en el espacio.</p> <p data-bbox="1272 815 2024 927"><i>Sector de pizarrones.</i> Los pizarrones deben ubicarse perpendiculares a la pared de la ventana para mejor iluminación. Se deben evitar orientaciones que pudieran dejar en sombras a los estudiantes o profesores o causar reflejos en las pizarras o pantallas.</p>

Tipo y esquema	Descripción	Orientación	Características
<p>Ventanas laterales altas con estantes de luz.</p> 	<p>Un estante de luz es un panel horizontal colocado debajo de la abertura alta (con una ventana debajo) para redirigir la luz hacia el cielorraso, para que la componente reflejada llegue más profundamente en el espacio, mejorando la distribución de luz.</p> <p>Pueden estar en el exterior, el interior, o en ambos. En la posición exterior proyectan sombra sobre la ventana inferior, permitiendo las ganancias solares en invierno y evitando que los rayos solares de mayor altitud en verano lleguen al espacio. Los estantes interiores reflejan el sol de menor ángulo de altitud en invierno, bloquean la penetración de la luz directa y reducen el deslumbramiento del vidrio superior.</p> <p>La calidad de la iluminación mejora debido a la luz llega a mayor profundidad en el espacio, logrando una distribución más uniforme.</p>	<p><i>Orientación:</i> son más eficaces en la orientación Norte (+ / - 15 °) y ocasionalmente en el sur (para reducir el deslumbramiento de las aberturas superiores). Se deben evitar en las orientaciones este y oeste.</p> <p>Es necesario calcular los ángulos de incidencia de la luz para dimensionar el estante; se debe diseñar el ángulo de la superficie del estante para eliminar la penetración directa del sol durante las horas de actividad escolar.</p>	<p><i>Dispositivos de protección solar.</i> El sistema abertura-estante conforma el sistema de iluminación y protección solar.</p> <p><i>Transmisión del espectro visible:</i> Utilizar cristales transparentes, de alta transmisión (transmisión de luz visible del 60% al 90%) en la abertura superior para maximizar la captación de luz.</p> <p><i>Reflectancia.</i> La superficie superior del estante de luz debe ser altamente reflectante (reflectancia mayor que 80% y superficie mate o semi-mate, difusa, no especular). Las superficies próximas a la abertura deben ser de color blanco o casi blanco para reducir el contraste entre la luminosidad de la abertura y la pared circundante. El techo adyacente también debe ser altamente reflectante (> 70%), color blanco o similar, para ayudar a reflejar la luz en el espacio.</p> <p><i>Materiales.</i> Los estantes y persianas pueden ser opacos o translúcidos, de madera, metal, fibra de vidrio, plástico, o inclusive tela, o materiales para techos acústicos. La elección debe tener en cuenta reflectividad, resistencia estructural, costo, facilidad de mantenimiento y durabilidad. Un estante opaco genera espacio oscuro a lo largo de la pared debajo si no se acompaña con ventanas para vistas; los estantes translúcidos proporcionan una luz suave debajo de ellos, y deben ser evaluados para evitar reflejos o deslumbramiento.</p> <p>Para reducir la acumulación de polvo, los estantes exteriores deben tener una cierta inclinación para que la lluvia puede ayudar a mantenerlos limpios; los interiores deben ser limpiados con cierta frecuencia.</p> <p><i>Sector de pizarrones:</i> Los pizarrones deben ubicarse perpendiculares a la pared de la abertura para mejor iluminación.</p>

Tipo y esquema	Descripción	Orientación	Características
<p data-bbox="259 300 551 384">Abertura cenital, con entrada de luz rasante a la pared.</p> 	<p data-bbox="573 292 909 675">Las aberturas cenitales con entrada de luz rasante a la pared proporcionan luz desde arriba a través de un lucernario lineal o monitor para iluminar la pared interior. Se pueden utilizar cristales difusores, deflectores, o reflejos sobre superficies mates o reflectantes; las paredes redirigen la luz. Se utilizan para equilibrar la luz del día de las ventanas, iluminar las aulas interiores</p> <p data-bbox="573 707 909 1090">La pared recibe la luz y la refleja de forma difusa al resto del espacio, haciendo que el espacio parezca más grande y luminoso. La luz uniforme de este dispositivo puede iluminar el interior de las dos terceras partes de un aula; se optimiza el efecto cuando se combina con iluminación lateral para aumentar el nivel de luz en el lado opuesto del espacio, equilibrando la iluminación en todo el ambiente.</p>	<p data-bbox="931 292 1223 515"><i>Orientación.</i> Optimizar el diseño según el clima y la orientación. Este tipo de apertura cenital funciona mejor bajo condiciones de cielo nublado, y para las orientaciones distintas a Norte y Sur.</p>	<p data-bbox="1267 292 2040 451">Son usados para equilibrar la luz natural en el espacio. Debe ser balanceado con aberturas en la pared opuesta para proporcionar una iluminación uniforme en todo el ambiente. El área de apertura total para iluminación natural puede repartirse entre los dos tipos de aberturas. Los vidrios pueden ser horizontales o verticales (hacia el norte, sur, este u oeste).</p> <p data-bbox="1267 483 2040 643"><i>Difusión de la luz.</i> Es conveniente utilizar un cristal difusor para eliminar posibles "parches de luz". En tragaluces cenitales, se puede utilizar un material de difusión de alto rendimiento, como acrílico prismático, para maximizar la transmisión de luz. En el caso de vidrios traslúcidos, se pueden agregar deflectores fijos para evitar el ingreso de los rayos solares de determinados ángulos.</p> <p data-bbox="1267 675 2040 754"><i>Transmitancia de luz visible.</i> Utilizar vidrios con la mayor proporción de transmitancia visible respecto a la resistencia térmica para reducir al mínimo las pérdidas de energía.</p> <p data-bbox="1267 786 2040 898"><i>Huecos de luz:</i> se denomina "hueco de luz" al espacio entre la apertura en el ambiente y el plano del techo donde se encuentra el cristal. Las paredes de ese hueco deben ser altamente reflectivas (reflectancia > 80%).</p> <p data-bbox="1267 930 2040 1010"><i>Colores de superficies:</i> la parte superior de la pared que recibe la luz debe ser de color claro (> 70% de reflectancia) para reflejarla hacia el espacio. No debe tener salientes que proyecten sombras.</p>

Tipo y esquema	Descripción	Orientación	Características
<p>Abertura cenital central</p> 	<p>Se utiliza un monitor central o claraboya (o conjunto de lucernarios) para distribuir uniformemente la luz del día a través del local. La luz natural se puede hacer más difusa según el tipo de cristal o mediante deflectores que pueden ser fijos o móviles.</p> <p>Los niveles de luz son mayores directamente debajo de la abertura y se reducen gradualmente hacia el perímetro del espacio. Se usan para proporcionar altos niveles luz del día equilibrada en todo el ambiente.</p> <p>Se pueden utilizar en edificios de una planta o en el piso superior, en aulas, espacios de usos múltiples, y oficinas, y en cualquier región climática, con precauciones de diseño para evitar el ingreso de sol directo.</p>	<p><i>Orientación.</i> Se debe optimizar el diseño en relación con el clima y las condiciones del entorno. La claraboya funciona muy bien bajo condiciones de cielo cubierto en su mayor parte, o en orientaciones no tan favorables para otro tipo de ventanas. Un monitor de dos caras con vidriadas aún en orientaciones desfavorables puede brindar buenos niveles de luz durante todo el día.</p> <p>El acristalamiento puede ser horizontal o vertical, hacia el norte, sur, este u oeste. Se puede combinar con ventanas en las paredes perimetrales; la abertura cenital proporciona la mayor parte de la luz ambiente y las ventanas pueden ubicarse para optimizar las vistas. El área de abertura total se repartirá entre los dos tipos de abertura.</p>	<p><i>Transmitancia de luz visible:</i> usar materiales de alta transmisión (mayor que 60%) para maximizar la luz natural. Es necesario estudiar el equilibrio entre los niveles de transmitancia visible y las pérdidas de energía en forma de calor, como así también la protección solar.</p> <p><i>Reflectividad de materiales:</i> las paredes del hueco que conecta la abertura superior con el plano del techo de la sala de clase deben ser altamente reflectivas (reflectancia > 80%). Un color blanco brillante funciona muy bien.</p> <p><i>Difusión de la luz.</i> Se pueden utilizar cristales difusores o deflectores para distribuir la luz. Los deflectores pueden ser necesarios para interceptar los rayos de sol directos. Se debe evitar colocar vidrios difusores de luz dentro del campo normal de visión porque podrían generar problemas de deslumbramiento.</p> <p><i>Reflectores de la luz.</i> Se puede colocar un dispositivo reflector para redirigir la luz del día hacia el techo o las paredes del espacio. Esto hará que el espacio parezca más grande y más luminoso. El reflector puede consistir en superficies espejadas o mate, planas o curvas; también puede ser parcialmente translúcido (tela, plástico, o metal perforado). Este tipo de dispositivo requerirá diseño adicional y debe ser estudiado con un modelo físico a escala para evaluar la distribución de la luz del día.</p> <p><i>Dimensiones:</i> se puede prever una superficie acristalada de aproximadamente el 3% al 12% de la superficie del piso. La menor proporción corresponde a espacios con alta carga de aire acondicionado y calefacción, y la mayor para climas templados con cielos predominantemente cubiertos. En climas fríos, es conveniente utilizar iluminación cenital con superficies de captación verticales orientadas al Norte.</p>

Tipo y esquema	Descripción	Orientación	Características
<p data-bbox="259 296 524 384">Aberturas cenitales dispuestas en forma de grilla o patrón.</p> 	<p data-bbox="573 288 887 512">El sistema consiste en una grilla o patrón geométrico de distribución de aberturas cenitales, en general no muy amplias, o en filas de monitores lineales para proporcionar luz en áreas grandes.</p> <p data-bbox="573 544 904 791">El espaciado del patrón se establece en función de la altura del techo. Este patrón de iluminación natural es útil para cualquier área grande que necesita niveles elevados de luz natural, como gimnasios, bibliotecas, o salas de usos múltiples.</p> <p data-bbox="573 815 904 1062">Este sistema funciona muy bien para proveer luz natural bajo condiciones de cielo cubierto. Una ventaja es que se pueden utilizar las aberturas cenitales con accionamiento móvil para favorecer la ventilación natural del ambiente.</p>	<p data-bbox="931 288 1245 488">En estos sistemas, el acristalamiento puede ser horizontal o vertical, preferentemente orientados al Norte o Sur para evitar los rayos de sol directo de bajo ángulo de incidencia.</p> <p data-bbox="931 512 1245 791">Se puede combinar con ventanas en paredes perimetrales; la abertura cenital proporciona la mayor parte de la luz ambiente, y las ventanas permiten las vistas al exterior. El área de acristalamiento total se reparte entre ambos sistemas.</p>	<p data-bbox="1272 288 2040 400"><i>Transmitancia de luz visible:</i> usar materiales de alta transmisión (mayor que 60%) para maximizar la luz natural. Estudiar detalladamente el equilibrio entre los niveles de transmitancia visible y las pérdidas de energía en forma de calor.</p> <p data-bbox="1272 424 2029 568"><i>Difusión de la luz.</i> Se pueden utilizar cristales difusores o deflectores para distribuir la luz. Los deflectores pueden ser necesarios para interceptar los rayos de sol directos. Evitar colocar vidrios difusores de luz dentro del campo de visión para prevenir problemas de deslumbramiento.</p> <p data-bbox="1272 592 2029 679"><i>Reflectividad de materiales:</i> las paredes del hueco que conecta la abertura superior con el plano del techo de la sala deben ser altamente reflectivas (reflectancia > 80%). Un color blanco funciona muy bien.</p> <p data-bbox="1272 703 2029 815"><i>Grilla o cuadrícula de aberturas:</i> como regla empírica, los tragaluz deben estar espaciados alrededor de una vez y media la altura del suelo al techo. El acristalamiento debe ser de aproximadamente 3% a 12% de la superficie del piso a iluminar.</p>

Tipo y esquema	Descripción	Orientación	Características
<p data-bbox="259 296 506 384">Abertura cenital dispuesta de forma lineal</p> 	<p data-bbox="580 288 904 536">El sistema de iluminación consiste en una única abertura cenital lineal que proporciona una línea de luz de alta intensidad directamente debajo de ella, y que disminuye a medida que una persona se aleja perpendicularmente</p> <p data-bbox="580 568 904 815">Establece una orientación longitudinal en el espacio y es mejor ubicarla junto con un patrón de circulación correspondiente o señal visual lineal. Usado bilateralmente (en dos lados del espacio), se puede enmarcar un espacio más grande.</p> <p data-bbox="580 847 904 983">Es recomendable utilizarlo en un espacio largo y lineal, como un corredor, para dirigir el movimiento o establecer una orientación visual.</p> <p data-bbox="580 1015 904 1150">Dado que el área acristalamiento es limitada, debe equilibrarse con ventanas de vista u otras aperturas en el ambiente.</p>	<p data-bbox="938 288 1243 536">Se puede combinar con ventanas en paredes perimetrales; la abertura cenital luz ambiente, y las ventanas permiten las vistas al exterior. El área de acristalamiento total se reparte entre ambos sistemas.</p>	<p data-bbox="1276 288 2029 400"><i>Transmitancia de luz visible:</i> usar materiales de alta transmisión (mayor que 60%) para maximizar la luz natural. Estudiar detalladamente el equilibrio entre los niveles de transmitancia visible y las pérdidas de energía en forma de calor.</p> <p data-bbox="1276 432 2029 568"><i>Difusión de la luz.</i> Se pueden utilizar cristales difusores o deflectores para distribuir la luz. Los deflectores pueden ser necesarios para interceptar los rayos de sol directos. Evitar colocar vidrios difusores de luz dentro del campo de visión para prevenir problemas de deslumbramiento.</p> <p data-bbox="1276 600 2029 679"><i>Reflectividad de materiales:</i> las paredes del hueco que conecta la abertura superior con el plano del techo de la sala deben ser altamente reflectivas (reflectancia > 80%).</p> <p data-bbox="1276 711 2029 815"><i>Dimensiones:</i> la superficie acristalada puede variar entre el 3% y el 12% de la superficie del piso. La menor proporción corresponde a espacios con alta carga de aire acondicionado y calefacción, y la mayor para climas templados con cielos predominantemente cubiertos.</p>

Resumen

En síntesis, los parámetros que influyen en el rendimiento de un ocupante en su ambiente visual son:

a- Parámetros relacionados con el diseño del espacio edilicio:

Luz disponible	Ambiente
Iluminancia (nivel de luz) Distribución Deslumbramiento Reflejos Dirección de la luz Color	Diseño de la envolvente arquitectónica (aberturas, orientación) Distribución de la iluminación natural Nivel de iluminación Colores entorno – índices de reflexión Colores mobiliario - índices de reflexión Contrastes Reflejos internos Vistas exteriores Claridad aparente Iluminación artificial complementaria

Estos parámetros son los que tendrán incidencia directa en el desarrollo del procedimiento o interfase para el diseño de iluminación natural propuesto en el objetivo principal de este trabajo de tesis. Debido a que la propuesta está focalizada en la luz natural, la iluminación artificial complementaria queda fuera del método a desarrollar.

También tienen influencia una serie de parámetros individuales que se dependen del ocupante, relacionados con su propia fisiología y con el tipo específico de tarea que lleva a cabo. Estos parámetros individuales se encuentran fuera del control directo del diseñador, que trabaja considerando un ocupante con características físicas promedio, y por lo tanto no serán incluidos en la propuesta del método auxiliar de diseño.

b- Parámetros individuales (del ocupante):

Personales	Relacionados con la tarea específica
Edad Adaptación visual Percepción del color Percepción de profundidad Habilidades visuales Malas posturas / Restricciones posturales Movimientos Ayudas ópticas (anteojos)	Espacio de trabajo Tamaño Distancia Forma Color Ángulo Contrastes Deslumbramiento Dificultad Precisión Velocidad de ejecución Tiempo

Entonces, en función al objetivo de diseño del procedimiento auxiliar para el diseño de la iluminación natural que incorpore en variables subjetivas de confort visual, las variables

descriptas en este capítulo y que serán consideradas en el procedimiento son las siguientes:

- *Variables del espacio arquitectónico a diseñar (aula).*

Teniendo en cuenta que la disponibilidad de luz y el confort visual tienen relación directa con el diseño del espacio y sus límites, las variables involucradas son:

I	Nivel general de iluminación	<i>Depende de:</i> Disponibilidad de luz exterior Ubicación, forma y dimensiones de la abertura Orientación Presencia de elementos de protección solar
II	Distribución de la luz en el espacio (uniformidad)	<i>Depende de:</i> Forma y dimensiones del espacio Ubicación, forma y dimensiones de la abertura Tipo de abertura Color y textura de superficies interiores reflectantes Elementos para redireccionar la luz (estante de luz, por ejemplo)

A su vez, cada una de estas variables presenta sub-variables que serán presentadas con mayor detalle en el capítulo correspondiente al desarrollo del procedimiento de predimensionado.

- *Variables de Confort Visual que dependen de la posición de trabajo del ocupante en el espacio:*

1	Nivel de iluminación sobre el plano de trabajo (valor en lux)
2	Dirección de la luz
3	Contraste en sector focal de tarea (plano de trabajo)
4	Contraste sector focal / entorno
5	Deslumbramiento
6	Reflejos
7	Vistas al exterior

En este caso se juzga que resolviendo adecuadamente las variables de iluminación general del aula (nivel de iluminación y distribución de la luz en el espacio), quedarán satisfactoriamente incluidas estas variables, relacionadas con la posición específica del ocupante.

Las vistas al exterior están directamente involucradas en el diseño de las aberturas y, en una escala mayor, con el diseño del edificio (orientaciones, imagen arquitectónica, espacios exteriores, patios).

- *Variables asumidas como constantes:*

- *aspectos psicológicos y de salud* (sistema circadiano): su importancia ha sido expuesta en el marco teórico de este trabajo, pero estos aspectos relacionados con la fotobiología son difíciles de medir y controlar en las instancias del proyecto arquitectónico; se asume que un adecuado diseño que optimice el recurso de iluminación natural y vistas los toma en cuenta y cumplimenta satisfactoriamente.
- *color*: se asume que la luz natural presenta un óptimo rendimiento de color para el sistema visual humano. Esto cambia cuando se utiliza una fuente de luz artificial, ya que depende del tipo de lámpara y luminaria utilizada, y la temperatura de color de la fuente de luz.

- Las *variables individuales* de los ocupantes, tales como edad, problemas visuales, posturas y otras que dependen de cada sujeto y que están fuera de control del proyectista quedan fuera de la propuesta del procedimiento de optimización de la luz natural en el proyecto.

El espacio escolar es más que simplemente una parte de un edificio. Las condiciones de uso y mantenimiento de ese espacio por docentes y alumnos son un aspecto activo en la conformación del espacio. Si los alumnos sienten frío, calor, falta de aire, distraen su atención e inclusive contribuyen a la dispersión de la atención de sus compañeros. Un ambiente adecuadamente acondicionado, más aún si ellos mismos contribuyen a la obtención de esas condiciones de confort, puede resultar estimulante considerando las condiciones de aprendizaje.

La opinión de los ocupantes en la evaluación de las condiciones de confort de los espacios interiores es muy importante para diagnosticar las condiciones de habitabilidad, conjuntamente con los parámetros objetivos aportados por las mediciones realizadas con instrumental específico; esto ha dado lugar al desarrollo de las "evaluaciones post-ocupación", utilizadas como instrumento para mejorar las condiciones de confort de los edificios a partir de la detección de los problemas por parte de las personas que habitan en ellos.

En el marco del proyecto UBACyT "Evaluación post-ocupación de condiciones de confort térmico y visual en edificios escolares", desarrollado entre los años 2004 y 2007, se realizaron evaluaciones post-ocupación en las que se encuestaron grupos de alumnos ocupantes de las aulas (Casabianca, Eguía, 2005) en distintos edificios educacionales de nivel primario y secundario, mientras que, al mismo tiempo, se realizaron mediciones de temperatura y del nivel de iluminación natural utilizando luxómetros. En las encuestas se incluyeron preguntas destinadas a detectar de factores de disconfort visual que pudieran ser identificados por los usuarios tales como reflejos, contrastes, luminancias, sombras o reflexiones de velo.

Los datos relevados son:

- descripción general del edificio escolar: ubicación, características constructivas, entorno, tipo de ocupación (un turno, doble turno), cantidad de aulas, fecha de construcción, ampliaciones.
- descripción de las características físicas de las aulas: dimensiones, aberturas, ubicación, orientación, materiales, colores, equipamiento.
- condiciones de confort: nivel de iluminación natural, asoleamiento, protección solar, temperatura, humedad, ventilación natural, infiltraciones, confort acústico.

- tipo de acondicionamiento artificial: sistemas de calefacción, ventilación, iluminación artificial.

Posteriormente se realizó el mismo tipo de evaluación en las aulas-taller de la Facultad de Arquitectura y las aulas teóricas de la Dirección de Deportes de la UBA con el fin de complementar y validar la información obtenida en el marco del mencionado proyecto.

Los resultados obtenidos en relación con el confort visual muestran diferencias entre los valores objetivos obtenidos en las mediciones y la percepción subjetiva de los usuarios. Esta situación es muy marcada con referencia a las condiciones de iluminación: los valores medidos pueden ser comparados con las tablas de niveles de iluminación recomendados en distintos estudios o normativas de acuerdo a los usos y estos valores discrepan respecto a los niveles de iluminación bajo condiciones de iluminación natural percibidos como confortables por los ocupantes. En casi todos los casos, los valores medidos a nivel del plano de trabajo son más bajos que los niveles sugeridos por las tablas de referencia; sin embargo los usuarios manifestaron su conformidad con los niveles de iluminación existentes (aún con valores de alrededor de 250 lux), juzgando que no era prioritario realizar mejoras. En otros casos, los niveles de iluminación medidos coinciden o superan ligeramente los niveles indicados por las normativas (550 a 600 lux) y los ocupantes los perciben como altos, inclusive juzgándolos como no confortables, y mostrando su preferencia por niveles de iluminación menores.

En la mayoría de los casos estudiados, los problemas detectados tienen relación con la distribución de iluminancias interiores poco uniforme y el deslumbramiento, sobre todo en las aberturas orientadas al Norte que reciben sol directo. Los ocupantes solucionan esto cerrando persianas y cortinas, con la consecuente necesidad de uso de iluminación artificial aún durante las horas diurnas, lo que resulta contradictorio y poco racional desde el punto de vista energético teniendo en cuenta la disponibilidad de iluminación exterior.

A partir de estos resultados, surge la inquietud de tratar de incorporar esta percepción de los ocupantes ya no como componente del diagnóstico de los problemas a solucionar sino como parte del proceso mismo de diseño para evitar que estos problemas aparezcan, y la primera etapa de este proceso es identificar las variables que se vinculen directamente con esa percepción subjetiva de confort visual.

Encuestas para evaluación subjetiva de confort visual

Las evaluaciones post-ocupación comprenden mediciones objetivas del entorno físico realizadas mediante el uso de instrumental y observaciones sobre el comportamiento de los ocupantes que realiza de manera directa el investigador. Además se incorpora la respuesta

subjetiva del ocupante, es decir, el juicio de los propios usuarios sobre las condiciones confortables o aceptables para sus actividades.

Los ocupantes proveen información en relación con sus propios intereses; las respuestas verbales pueden evidenciar aspectos positivos o negativos de la performance ambiental del edificio. Las formas de obtención de esta información son las encuestas o cuestionarios y las entrevistas personales; ambas dan información de cómo usa el ocupante el espacio y de cómo lo percibe. En los relevamientos realizados, y en función de los tiempos y cantidad de ocupantes, se utilizaron exclusivamente encuestas.

El objetivo de la encuesta es relevar las condiciones de confort visual de las aulas, talleres y otros espacios del edificio, considerando el punto de vista de sus ocupantes; como se mencionó, este relevamiento se complementa con mediciones del nivel de iluminación con instrumental específico (luxómetros). Las partes de la encuesta, que se desarrollarán en detalle en el capítulo correspondiente a la descripción metodológica, comprenden: identificación del espacio, reconocimiento y evaluación subjetiva de condiciones de iluminación predominante, incluyendo información individual sobre posibles problemas visuales, más aspectos vinculados directamente a la iluminación natural, las ventanas y al asoleamiento directo; adicionalmente se hicieron preguntas sobre aspectos relacionados con la ubicación espacial del mobiliario. El objetivo es obtener información sobre el ambiente interior en aulas y su efecto sobre los usuarios, especialmente bajo condiciones de iluminación natural, para luego comparar con las mediciones fotométricas de las mismas.

Antes desarrollar la encuesta, el análisis bibliográfico de evaluaciones post-ocupación y encuestas desarrolladas para otros estudios mostró que, en la mayoría de los casos, se encuestaron ocupantes mayores de 15 años, es decir, con un nivel de comprensión correspondiente a un adulto formado. En el estudio llevado a cabo, una parte de los ocupantes eran niños pequeños, que comienzan su formación escolar y, si bien las respuestas de los adultos pueden coincidir con pautas generales en relación con las condiciones de confort, los adultos responsables (docentes) no utilizan ni juzgan el espacio de la misma forma que los niños. Por esta razón, se desarrollaron variantes de encuestas acorde a las diferencias etáreas de los usuarios entrevistados, alumnos entre 6 y 15 años, y adultos (maestros, directivos), según su nivel de formación y comprensión. El relevamiento se desarrolló de la siguiente forma:

**Encuestas individuales a adultos*, que tienen mayor comprensión de lo que se solicita responder:

- Auto-encuesta, desarrollada por el encuestador/investigador, que actúa como referente para validar las encuestas en el lugar.
- Encuestas individuales a docentes y personal directivo.

**Encuestas a alumnos menores de 14 años:* en este caso, intervinieron el encuestador y el docente para orientar a los niños sobre las preguntas que se requieren, a fin de guiar hacia una respuesta útil para los investigadores:

EGB 1- 1º a 3º año (6 a 8 años). La encuesta se realizó con la asistencia directa del docente e implicó para el encuestador la necesidad de explicar con un lenguaje muy sencillo lo que se necesita responder. Posteriormente fue necesario “traducir” del lenguaje infantil la respuesta del niño sobre su percepción de confort.

EGB 2- 4º a 6º año (9 a 11 años). En este grupo, los encuestados comprendieron fácilmente las preguntas y respondieron con atención y entusiasmo. Es el grupo que aportó mejores y más completas observaciones sobre problemas puntuales o específicos detectados en las aulas tales como reflejos o problemas de deslumbramiento.

EGB 3- 7º a 9º año (12 a 15 años, pre-adolescentes): el grupo tiene un nivel de comprensión similar al del adulto pero manifiestan falta de interés en brindar una respuesta responsable. En este caso el encuestador debió validar lo que los encuestados respondieron de acuerdo a la actitud personal del encuestado evidenciada al momento de realizar la encuesta.

** encuestas a alumnos de nivel secundario mayores de 15 años:* respondieron al mismo cuestionario realizado para adultos sin inconvenientes.

Con un promedio de 30 alumnos por aula en escuelas con 11 a 13 aulas ocupadas por turnos simples (mañana o tarde), la cantidad de encuestas a procesar resulta muy alta; por esta razón, y para simplificar la evaluación, se optó por una sola encuesta “colectiva” por cada aula, siendo la evaluación de forma porcentual; así, del total de alumnos encuestado en cada aula, se determinó de forma directa qué proporción respecto al total responde a cada opción de las preguntas planteadas (por ejemplo, cuántos del total consideran que el nivel de iluminación en bueno, cuántos que es regular, etc.)

** encuestas a ocupantes de nivel universitario:* en este caso, las encuestas fueron respondidas de individualmente y procesadas por técnicas de estadística descriptiva y de análisis categorial.

Los datos subjetivos relevados corresponden a la percepción de las condiciones de confort por parte de los ocupantes: nivel de iluminación natural, asoleamiento, protección solar, temperatura, humedad, ventilación natural, infiltraciones de aire y confort acústico. Entre las preguntas orientadas a evaluar la satisfacción visual, se indagó sobre la percepción de la iluminación ambiente (agradable, luminoso, oscuro, etc.), y sobre el plano de trabajo, además de la recepción en relación con el exterior y qué elementos preferirían cambiar dentro del espacio del características del aula.

El relevamiento se llevó a cabo realizando la encuesta a los ocupantes de las aulas con el fin de relevar su percepción de confort visual; se realizó bajo condiciones de iluminación natural, con algunas observaciones adicionales respecto a las condiciones de iluminación artificial. Al mismo tiempo se realizaron mediciones del nivel de iluminación utilizando luxómetros calibrados, midiéndose de forma simultánea los niveles de iluminación en las aulas y en el exterior para poder calcular el Factor de Luz Diurna (FLD) correspondiente. Se midió el nivel de iluminación a nivel del plano de trabajo (0.80 m) bajo tres condiciones: luz natural, luz natural + iluminación artificial y referencia de luz natural con condiciones de cierre de los elementos de protección solar (persianas o cortinas), graficándose los resultados.

Con respecto a la iluminación natural, los ocupantes evaluaron el nivel general de iluminación como bueno, regular o insuficiente, y se les solicitó también opinar sobre la distribución de la luz natural en el aula, la iluminación sobre pupitres y pizarrones y la percepción de problemas de exceso de luz, contrastes o reflejos en sectores del espacio durante algún lapso de tiempo durante la permanencia en el turno correspondiente.

En los casos en que se evaluó la totalidad de aulas del edificio escolar, para poder visualizar el conjunto de datos recabados en las encuestas y los problemas señalados por los ocupantes en relación con el espacio físico del edificio, se sintetizó la información obtenida en tablas que muestran el aula, el nivel educativo correspondiente y la evaluación de los usuarios.

Como resultado de las encuestas se evidenciaron claramente dos situaciones: la primera define las condiciones de confort visual como buenas, regulares o malas (disconfort); la segunda permite identificar problemas que inciden sobre cierta proporción de los usuarios y que están relacionados con su posición relativa en el espacio del aula, y en su relación con factores externos que forman parte del entorno, de carácter discontinuo, que plantean dificultades para ser validados por los investigadores al realizar la encuesta.

Con respecto a los problemas expuestos por los usuarios como observaciones adicionales a la encuesta, se pueden dividir en dos tipos: uno, aquellos que responden a las características físicas del edificio (arquitectura), y que por lo tanto son incumbencia del proyectista, y otros que surgen a partir de acciones de los mismos usuarios y que sólo pueden ser solucionados a través del reconocimiento del problema y la información para solucionarlos o evitarlos.

Los resultados de las encuestas muestran cómo percibe el ocupante en entorno y la iluminación, siendo afectado por parámetros cuantificables y no cuantificables; hacen

referencia de forma intuitiva a los niveles de iluminancia en planos horizontales y verticales, o bien expresan preferencias generales sobre reflectancias del entorno.

Casos de estudio: relevamiento de la percepción subjetiva de confort visual en aulas

Los objetivos del relevamiento fueron analizar las condiciones de iluminación, natural y artificial, en las aulas; analizar los problemas de discomfort, sobre todo aquellos derivados de la orientación como el ingreso de radiación solar directa, y proponer soluciones a los problemas detectados. En el marco de esta tesis se hace hincapié en los aspectos directamente relacionados con la evaluación subjetiva y la identificación de las variables relacionadas con la luz natural.

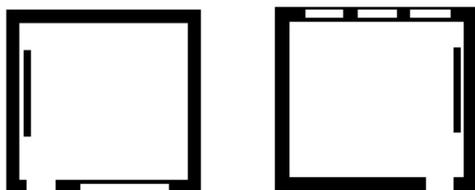
Los cuatro casos que se presentan fueron seleccionados debido a que presentan los datos más completos para el análisis, uno por cada nivel educativo. Los dos primeros se desarrollaron en el marco del proyecto UBACyT sobre confort en escuelas (Proyecto UBACyT A050- Programación Científica UBA 2004-2007); los dos restantes, realizados en edificios de la UBA, fueron tomados como referencias complementarias a los casos analizados en el proyecto, y desarrollados con la colaboración de alumnos de grado de la materia Energía en Edificios, Carrera de Arquitectura, de la FADU – UBA.

Con respecto a la muestra considerada en el proyecto base, se seleccionaron escuelas estatales, correspondientes a un sector nivel económico medio, con alumnos en buenas condiciones de desarrollo físico y social, es decir, con buena salud, correcta nutrición y necesidades específicas cubiertas (por ejemplo, adecuados controles de problemas visuales), con el fin de eliminar en la evaluación de confort aspectos individuales que pudieran distorsionar los resultados buscados por incidencia de variables personales, es decir, que no tuvieran relación con los aspectos físicos y arquitectónicos del confort. Además, otro aspecto muy importante fue la posibilidad de acceso al aula y al diálogo con los ocupantes, porque debido al tipo de actividades no siempre es posible interrumpir el dictado de clases para realizar el relevamiento.

Los casos paradigmáticos que se presentan aquí corresponden a un edificio escolar del Distrito Escolar de Lomas de Zamora, y a tres edificios pertenecientes a la Universidad de Buenos Aires: el Colegio Nacional de Buenos Aires, la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo y las aulas de la Dirección de Deportes en Ciudad de Buenos Aires.

Edificio escolar de nivel primario – Escuela nº 37 Tte. Gral Pablo Ricchieri

El edificio escolar corresponde a una tipología edilicia de los años 50, con aulas alrededor de un patio, al que a fines de los 90 se agregaron nuevas aulas, de iguales dimensiones pero distinta orientación y tipo de ventanas respecto a las existentes, resultando entonces tres tipos de aulas: las originales, las nuevas en planta baja y las nuevas en planta alta.



AULAS B (planta baja) y C (planta alta)

AULA A (planta baja)

Tipología de aulas A, B y C:

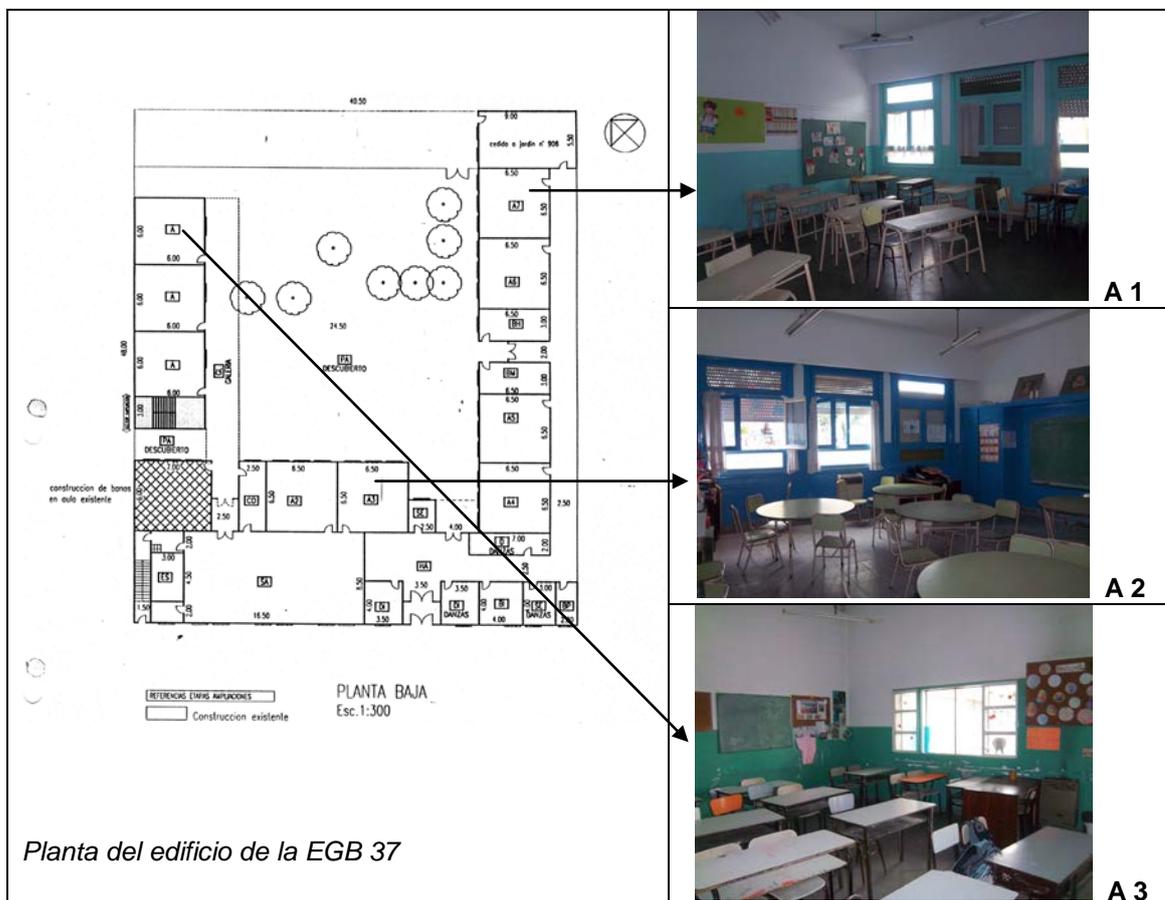
Dimensiones: 6 m x 6 m

Aberturas: 3 de 1.20 x 1.40 en tipo A

1 de 2.40 x 1.20 en tipos B y C

Las del tipo A tienen cortinas de enrollar.

En el esquema se señala la ubicación de los pizarrones.



Planta del edificio de la EGB 37

Las aberturas del edificio original son predominantemente verticales, altas, de aproximadamente 2.5 metros, que favorecen el ingreso de la luz natural en los espacios. Las carpinterías son de madera pintadas en el mismo tono que la superficie esmaltada de las paredes. Las ventanas tienen dos hojas de abrir, más una superior tipo ventiluz y una inferior fija y tienen cortinas de enrollar como dispositivo de oscurecimiento móvil, que se

adapta a las necesidades de ventilación y protección de la radiación solar. Los vidrios son transparentes, de una transmitancia lumínica del 79 %.

Las aulas del sector nuevo tienen 1 sola ventana ancha, dividida en 4 paños con los centrales móviles para ventilación. La carpintería es metálica, pintada de color blanco y el único dispositivo de filtro de luz son cortinas internas de tela.

Superficie	Material y color	Reflectancia %
Solado	Madera, pinotea	17
	Mosaico	25
Paredes desde 1.60 m	Revoque fino, pintura látex blanca	75
Paredes hasta 1.60 m	Revoque fino, esmalte azul o verde	20
Cielorraso	Pintura látex blanca	55
Pupitres	Fórmica blanca	75
	Fórmica verde	70
Pizarrón	Verde	55
		40
Superficie vidrio	Transmitancia	
Vidrio 1	79 %	

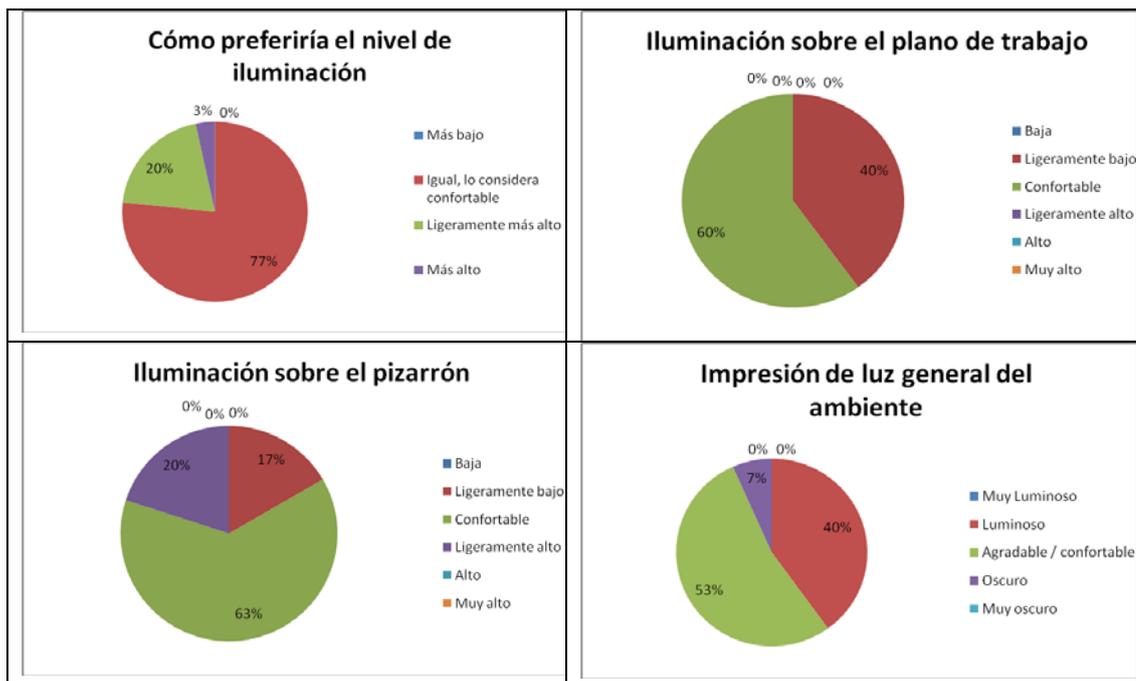
Materiales de las aulas e índices de reflexión.

El relevamiento de aulas que se presenta aquí corresponde al turno mañana, con mayor matrícula de alumnos y uso de todas las aulas disponibles, ya que durante la tarde la escuela funciona con 1/3 de la matrícula total, con menos secciones, quedando aulas vacías.

Para poder identificar los problemas señalados por los ocupantes en relación con el espacio físico del edificio, se sintetizó la información en tablas que muestran el aula, a qué nivel educativo corresponden, características físicas y evaluación general por parte de los usuarios. La información obtenida se volcó en distintos tipos de gráficos y tablas síntesis para una mejor visualización. En todos los casos, se anotaron en las encuestas las observaciones expresadas por los alumnos.

Aula 1 – Resultados de las encuestas:



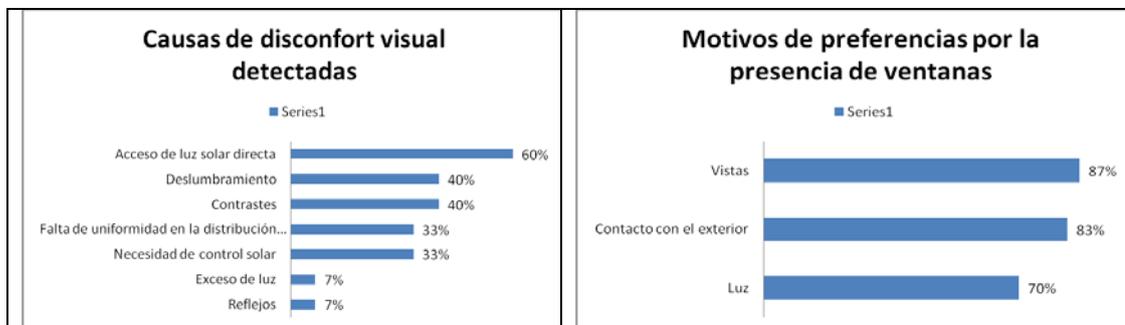


En esta aula, el 70 % de los ocupantes percibió el nivel de iluminación como confortable, un 23 % lo consideró como algo bajo y un 7% (ubicado en el sector más alejado de las ventanas) lo juzgó como bajo. Con respecto a las preferencias, un 77% dijo no necesitar cambios y un 20 % lo preferiría un poco más alto. No hay mayores diferencias en la iluminación sobre el plano de trabajo y los pizarrones, y en general se considera el ambiente como agradable (53 %) y luminoso (40%).

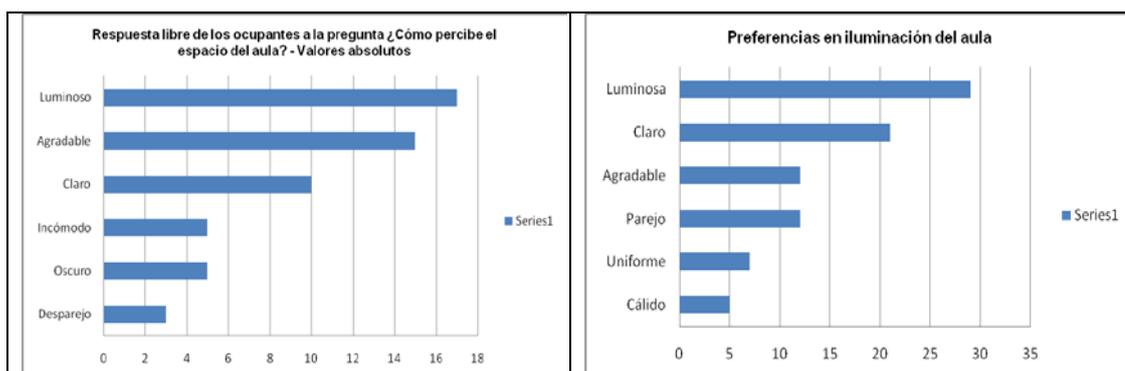
Aula 1 – Síntesis de evaluación subjetiva de iluminación natural

N°	Cualidades	Evaluación	Observaciones
1	Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	BUENO	
2	Impresión general de la luminosidad del (espacio exterior)	LUMINOSO	Arboles frente a la ventana
3	Impresión general del problema de contraste (visuales al exterior)	REGULAR	Hay contraste por luminosidad exterior
4	Impresión general del confort visual en los lugares de trabajo	NEUTRAL	Las mesas cercanas a las ventanas están mejor iluminadas.
5	Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior	BUENO	No hay
6	Presencia de reflejos molestos sobre pizarrones, pantallas	REGULAR	Cerca del mediodía, sol directo
7	Impresión general de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	REGULAR	
8	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de los vidrios	REGULAR	No están muy limpios
9	Mantenimiento de los elementos móviles de las aberturas	REGULAR	Problemas en correas de cortinas de enrollar.
10	Calidad del nivel de iluminación natural para la actividad desarrollada	BUENO	La iluminación es suficiente con las ventanas sin oscurecer o ligeramente bajas
11	Flexibilidad del sistema de iluminación natural con relación a horarios y posibles cambios.	BUENO	Cortinas de enrollar.
12	Posibilidad de accionamiento de sistemas de protección y apertura de aberturas por parte de los usuarios.	BUENO	En algunos casos hay problemas con las correas de las cortinas de enrollar.

Además de las preguntas sobre el nivel de iluminación, la encuesta indaga sobre los problemas de discomfort detectados por los alumnos y los motivos por los que consideran importantes las ventanas. Ambos temas tienen relación directa con las previsiones en el diseño del edificio, y en el caso de esta aula, los resultados son:

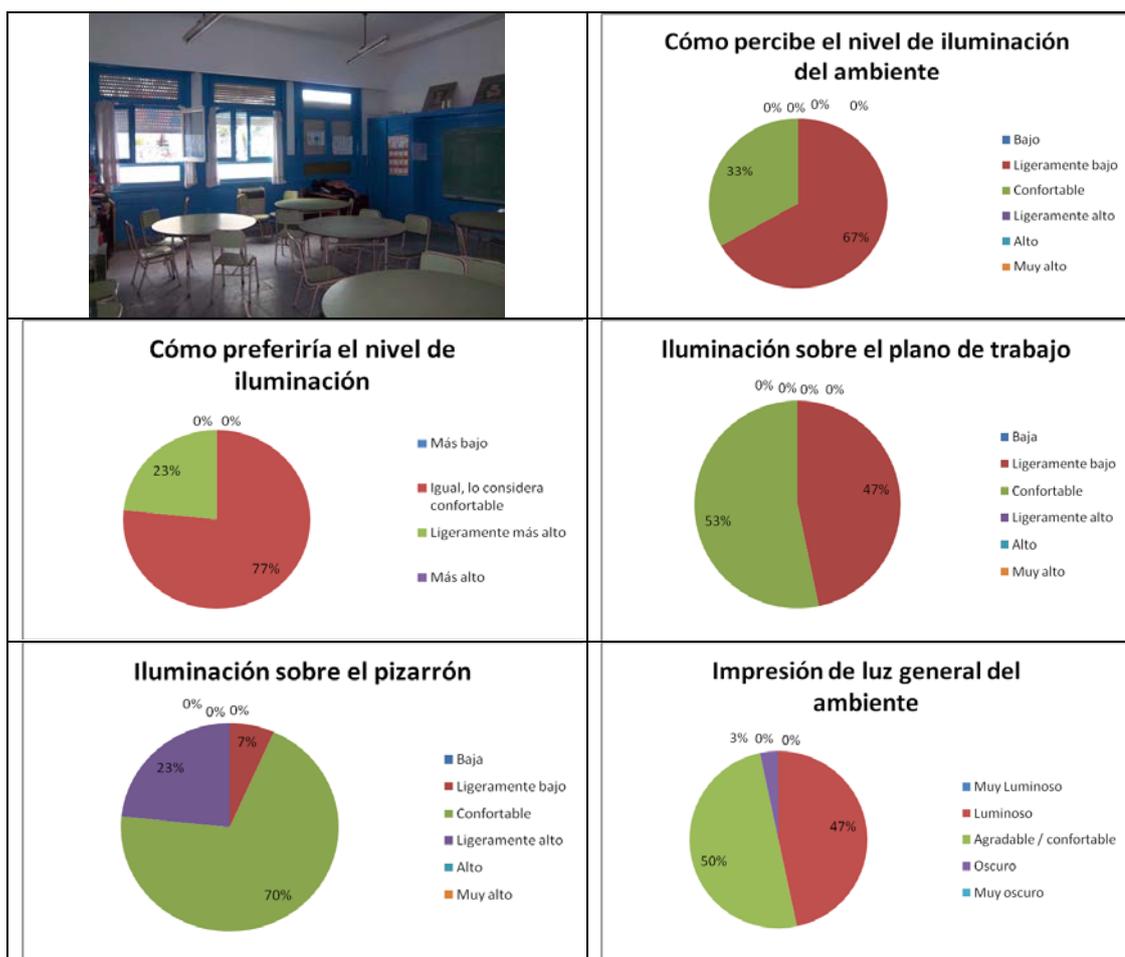


Además, se solicitó a los encuestados seleccionaran adjetivos de una lista, que expresaran cómo perciben el espacio del aula y cómo les gustaría que fuese:



En el primer gráfico aparecen dos grupos de palabras, uno que hace referencia a los aspectos positivos (*agradable, claro, luminoso*) y otro a los negativos (*incómodo, oscuro, desparejo*); en las respuestas a la primera pregunta, prevalecen los positivos. En cuanto a las respuestas a la segunda pregunta, se asocia un ambiente luminoso a un espacio agradable y cálido para la percepción de sus ocupantes (aspectos positivos en relación al confort). Estas respuestas subjetivas tienen relación directa con variables físicas involucradas y este vínculo fue analizado en la síntesis de los datos obtenidos.

Aula 2 – Resultados de las encuestas:



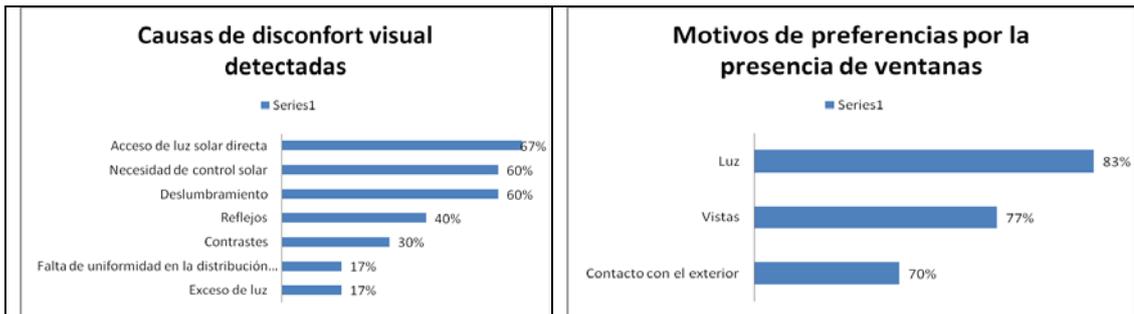
En esta aula, el 67 % de los ocupantes percibió el nivel de iluminación como algo bajo y el 33 % lo consideró confortable. Con respecto a las preferencias, un 77% dijo que igualmente lo considera confortable y un 23 % lo preferiría un poco más alto. Pese al nivel ligeramente bajo, la mayoría de los ocupantes considera que el ambiente es agradable.

Aula 2 – Síntesis de evaluación subjetiva de iluminación natural

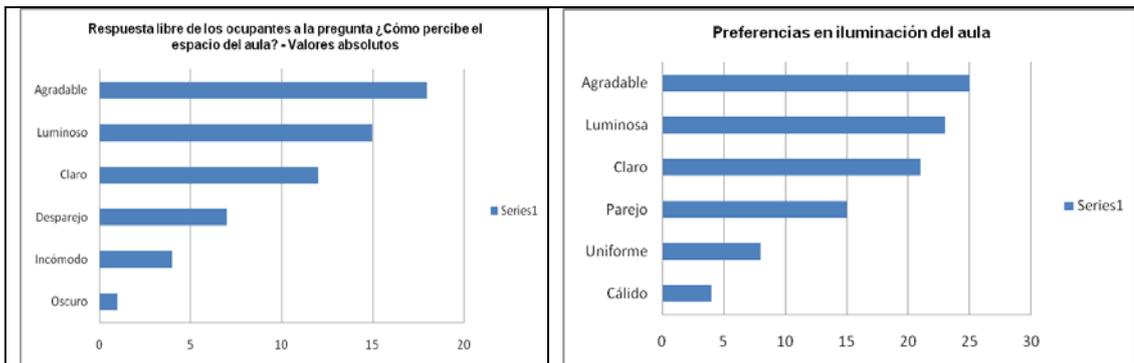
N°	Cualidades	Evaluación	Observaciones
1	Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	BUENO	
2	Impresión general de la luminosidad del (espacio exterior)	LUMINOSO	Sol directo por la mañana
3	Impresión general del problema de contraste (visuales al exterior)	REGULAR	Hay contraste por luminosidad exterior
4	Impresión general del confort visual en los lugares de trabajo	NEUTRAL	Las mesas cercanas a las ventanas están mejor iluminadas.
5	Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior	BUENO	No hay
6	Presencia de reflejos molestos sobre pizarrones, pantallas	-	No hay
7	Impresión general de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	REGULAR	
8	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de los vidrios	REGULAR	No están muy limpios
9	Mantenimiento de los elementos móviles de las aberturas	REGULAR	Problemas en correas de cortinas de enrollar.

10	Calidad del nivel de iluminación natural para la actividad desarrollada	BUENO	La iluminación es suficiente con las ventanas sin oscurecer
11	Flexibilidad del sistema de iluminación natural con relación a horarios y posibles cambios.	BUENO	Cortinas de enrollar.
12	Posibilidad de accionamiento de sistemas de protección y apertura de apertura por parte de los usuarios.	BUENO	En algunos casos hay problemas con las correas de las cortinas de enrollar.

Con respecto a los problemas de discomfort detectados y los motivos por los que los alumnos consideran importantes las ventanas, los resultados son:

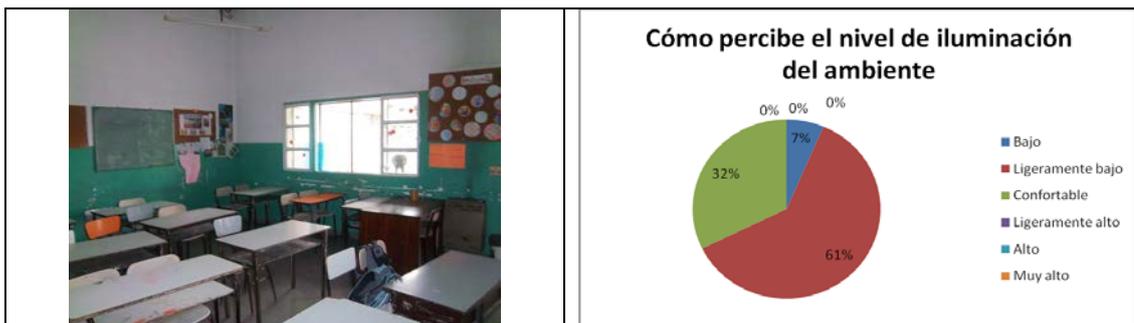


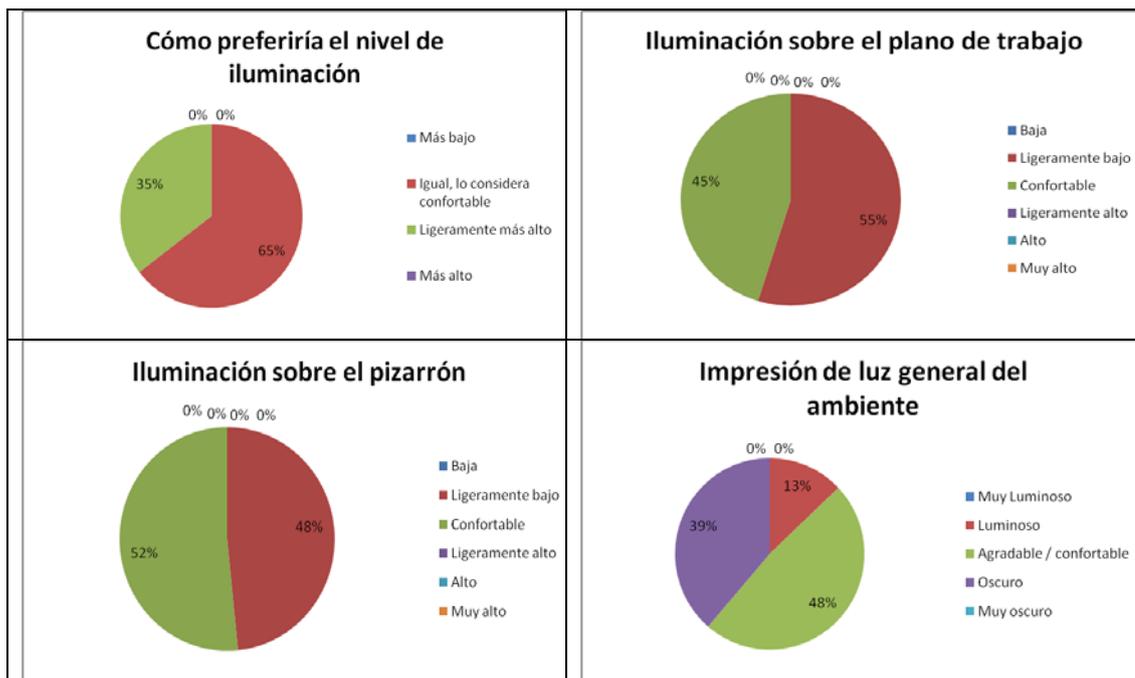
Acerca de cómo perciben el espacio del aula y cómo les gustaría que fuese:



Aunque el nivel de iluminación es ligeramente más bajo que en el aula 1, los resultados en estos puntos de la encuesta son similares.

Aula 3 – Resultados de las encuestas:



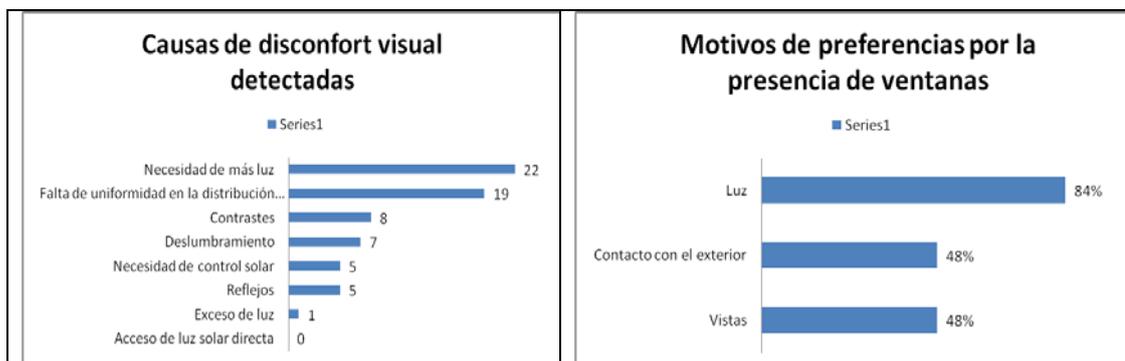


En esta aula, cuya ventana abre hacia una galería, el 61 % de los ocupantes percibió el nivel de iluminación como algo bajo y el 31 % lo consideró confortable, mientras que un 7% lo consideró bajo. Con respecto a las preferencias, un 65% dijo que lo considera confortable y un 35 % lo preferiría un poco más alto. Con respecto a la impresión general del ambiente, un 48% lo consideró agradable y un 39 % ligeramente oscuro, posiblemente por la presencia de la galería y los árboles frente a la ventana.

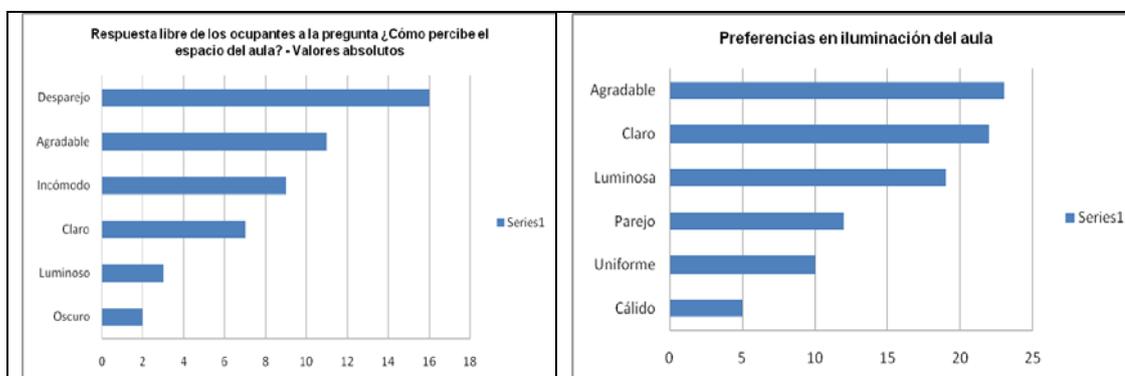
Aula 3 – Síntesis de evaluación subjetiva de iluminación natural

N°	Cualidades	Evaluación	Observaciones
1	Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	ALGO OSCURO	La galería reduce la disponibilidad de luz
2	Impresión general de la luminosidad del (espacio exterior)	BUENO	Arboles frente a la ventana
3	Impresión general del problema de contraste (visuales al exterior)	REGULAR	Hay contraste por luminosidad de la ventana
4	Impresión general del confort visual en los lugares de trabajo	NEUTRAL	Las mesas cercanas a las ventanas tienen más luz.
5	Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior	BUENO	No hay
6	Presencia de reflejos molestos sobre pizarrones, pantallas	-	No hay
7	Impresión general de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	REGULAR	
8	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de los vidrios	REGULAR	No están muy limpios
9	Mantenimiento de los elementos móviles de las aberturas	BUENO	
10	Calidad del nivel de iluminación natural para la actividad desarrollada	ALGO OSCURO	Falta luz por la presencia de la galería
11	Flexibilidad del sistema de iluminación natural con relación a horarios y posibles cambios.	-	No hay dispositivos de oscurecimiento
12	Posibilidad de accionamiento de sistemas de protección y apertura de aberturas por parte de los usuarios.	-	No hay dispositivos de oscurecimiento, sólo se puede abrir la ventana

Acerca de los problemas de disconfort detectados y los motivos por los que los alumnos consideran importantes las ventanas, los resultados son:



Sobre cómo perciben el espacio del aula y cómo les gustaría que fuese las respuestas son:



En este caso aparece como problema la falta de uniformidad en la distribución de la luz, y de forma asociada el término *incómodo*. Aunque el nivel de iluminación es ligeramente más bajo que en otras aulas, un grupo de alumnos lo considera agradable.

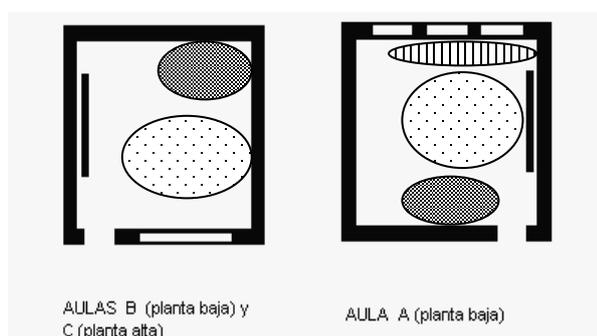
En la siguiente tabla se presenta el resumen de resultados para aulas correspondiente a cada tipo y una indicación de los FLD % medidos:

IDENTIFICACION: E.G.B. 37 – TEMPERLEY – ILUMINACION NATURAL							
AULAS RELEVADAS: 11			TURNO: MAÑANA		EPOCA DEL AÑO: INVIERNO		
Aula	Año / Ciclo EGB	Tipo de aula	Año constr.	Orient.	Características	Evaluación alumnos Iluminación natural	FLD % Max/Min
1	6º / 2	PB - A	1952	NO	Con árboles frente a aberturas	70 %- BUENO 23 % REGULAR 7 % NO CONFORTABLE	2.3 0.1
2	4º / 2	PB - A	1952	NE	Expuesta sin protección árboles	67 % REGULAR 33 % BUENO Cierre de persianas	2.3 0.2
3	2º / 1	PB - B	1995/6	SE	Abertura a galería, con árboles frente	61 % REGULAR 32 % BUENO 6% NO CONFORTABLE	2.0 0.2

Síntesis de resultados generales por aulas de encuestas de iluminación natural.

Con respecto a los problemas de confort visual detectados, se pueden mencionar:

- reflejos parciales en ciertos sectores del aula y sobre el plano de trabajo producidos por los vidrios de las ventanas de otras aulas ubicadas en el sector opuesto del patio que actúan como superficies reflejantes.
- problemas de contrastes lumínicos durante ciertas horas del día debido a la penetración solar en sectores próximos a las ventanas y sobre las superficies de los pizarrones.
- exceso de ganancia de sol directo en otoño y primavera
- disminución del nivel de luz natural debido a la falta de poda de la copa de los árboles situados frente a las aberturas, que crecen descontroladamente.



Identificación de condiciones de confort visual en aulas:

- Referencias:
- (puntos) Sectores claros: sectores con mejor nivel de luz natural
 - (gris) Sectores grises: sectores con problemas de confort visual
 - ▨ (rayado) Sector claro rayado: problemas de confort por penetración solar.

Además, hay problemas derivados de las acciones de los mismos ocupantes y que podrían ser evitados con un adecuado diseño de la iluminación natural desde la etapa de proyecto:

- escasez de luz natural debido al cierre parcial de las cortinas de enrollar, sin verificar que en el fondo del aula el nivel de iluminación resulta insuficiente.
- reflejos parciales en ciertos sectores del aula y sobre el plano de trabajo producidos por la posición relativa de las ventanas abiertas de otras aulas ubicadas en el sector opuesto del patio que actúan como superficies reflejantes, además en movimiento si no son fijadas en una determinada posición.
- en épocas cálidas, se cierran las persianas completamente para evitar el exceso de radiación solar obstruyendo totalmente el paso de la luz natural y el movimiento de aire, sin considerar la posibilidad de una apertura parcial que permita un mínimo nivel de iluminación natural y el paso del aire.

Con respecto a la percepción del nivel de iluminación, los alumnos ubicados en los sectores próximos a las ventanas manifestaron que la iluminación era alta, aún cuando los valores medidos estuvieran cerca de los estipulados en las normativas, prefiriendo un nivel de iluminación natural más bajo y uniforme.

El grado de satisfacción visual respecto al nivel de iluminación varió en las distintas aulas en función a la orientación: las aulas que reciben sol directo, sin el filtro de árboles, son las que tuvieron un menor grado de confort visual; esto también está relacionado con la protección solar, ya que las persianas se cierran para evitar el sol directo y no vuelven a abrirse el resto del día. Por la mañana, las aulas al este son las más problemáticas por el ingreso directo del sol de bajo ángulo de incidencia.

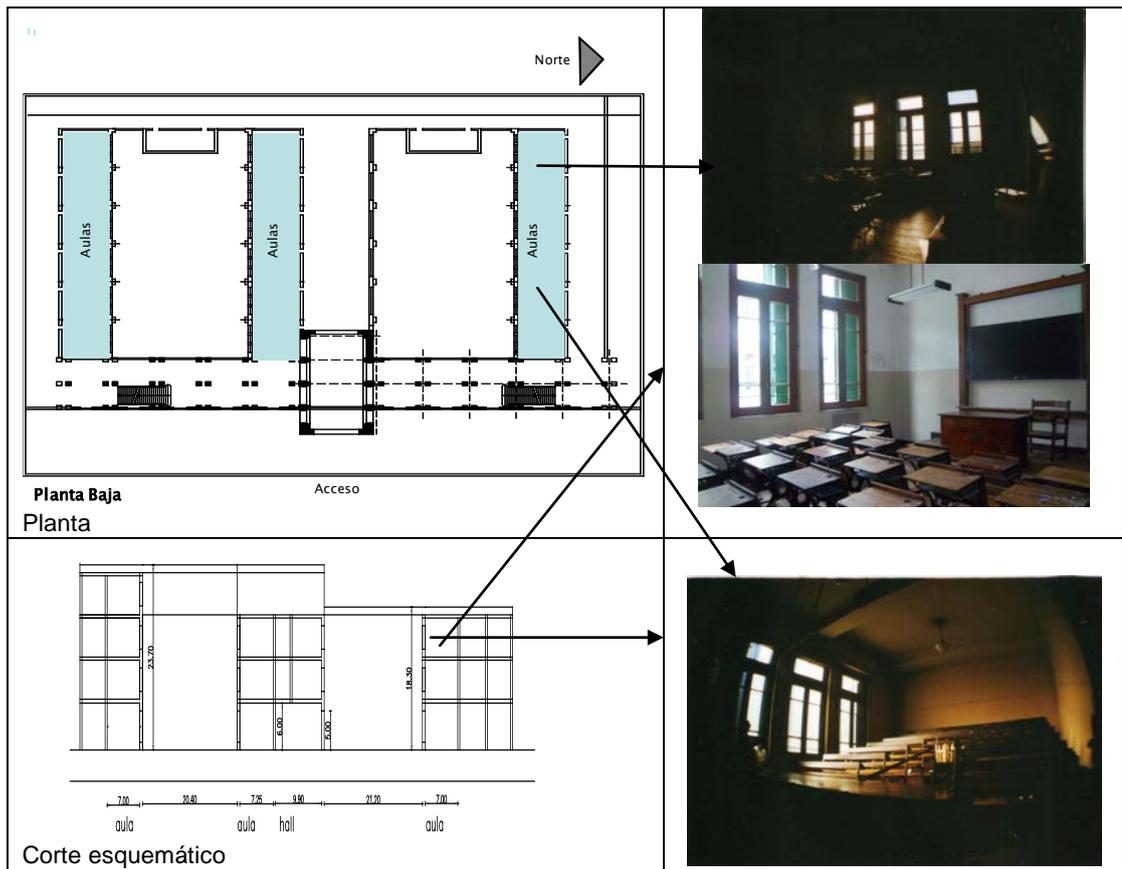
Con respecto a la iluminación sobre el plano de trabajo, un 70 % de los encuestados manifestó que era confortable y un 20 % que era ligeramente bajo. En todos los casos se juzgó el nivel de iluminación sobre los pizarrones como confortable.

Con respecto a las ventanas y el asoleamiento, todos los encuestados juzgaron importante su presencia, no sólo por la posibilidad de obtener luz natural, sino por las vistas y el contacto con el exterior. El 90 % de los encuestados respondió que el tamaño de la ventana era satisfactorio de acuerdo a sus preferencias, mientras un 10 % juzgó que eran grandes en el sector más antiguo. En todos los casos se mencionó la necesidad de control de protección solar para evitar problemas de deslumbramiento.

Los encuestados se manifestaron conformes con los colores de las superficies interiores y la distribución del equipamiento, aunque los ocupantes de las aulas con tonos verdes suaves en la superficie esmaltada inferior lo juzgaron como “más relajante” que el azul más fuerte.

Edificio escolar de nivel secundario – Colegio Nacional de Buenos Aires (CNBA)

El edificio del Colegio Nacional de Buenos Aires, construido en 1911, consta de un gran cuerpo principal sobre la calle Bolívar, compuesto de subsuelo, tres pisos y desvanes. En 1º están ubicados los locales administrativos, dirección, sala de profesores, sala de espera, biblioteca, salón de actos, rectorado y grandes galerías. La fachada principal tiene un cuerpo saliente que corresponde al salón de actos, coronado por un techo monumental de pizarra. El resto del edificio está conformado por tres cuerpos separados por dos grandes patios, alrededor de los cuales se ubican las aulas, laboratorios, sala de dibujo y circulaciones.



Planta y corte del edificio del Colegio Nacional de Buenos Aires

Las aberturas del edificio se caracterizan por su verticalidad y altura, de entre 3 y 5 metros, lo que favorece el ingreso de la luz natural en los espacios. Las carpinterías son de madera y las ventanas tienen dos hojas de abrir y una superior tipo ventiluz, con postigos. Estos elementos se usan continuamente según las necesidades de ventilación y protección solar.

Se utilizan 2 tipos de vidrio: uno transparente de transmitancia lumínica del 79 % y otro traslúcido de una transmitancia del 36 %; los vidrios transparentes que se rompen son reemplazados por traslúcidos; por esta razón, se encuentran los dos tipos en la misma ventana o en el mismo espacio.

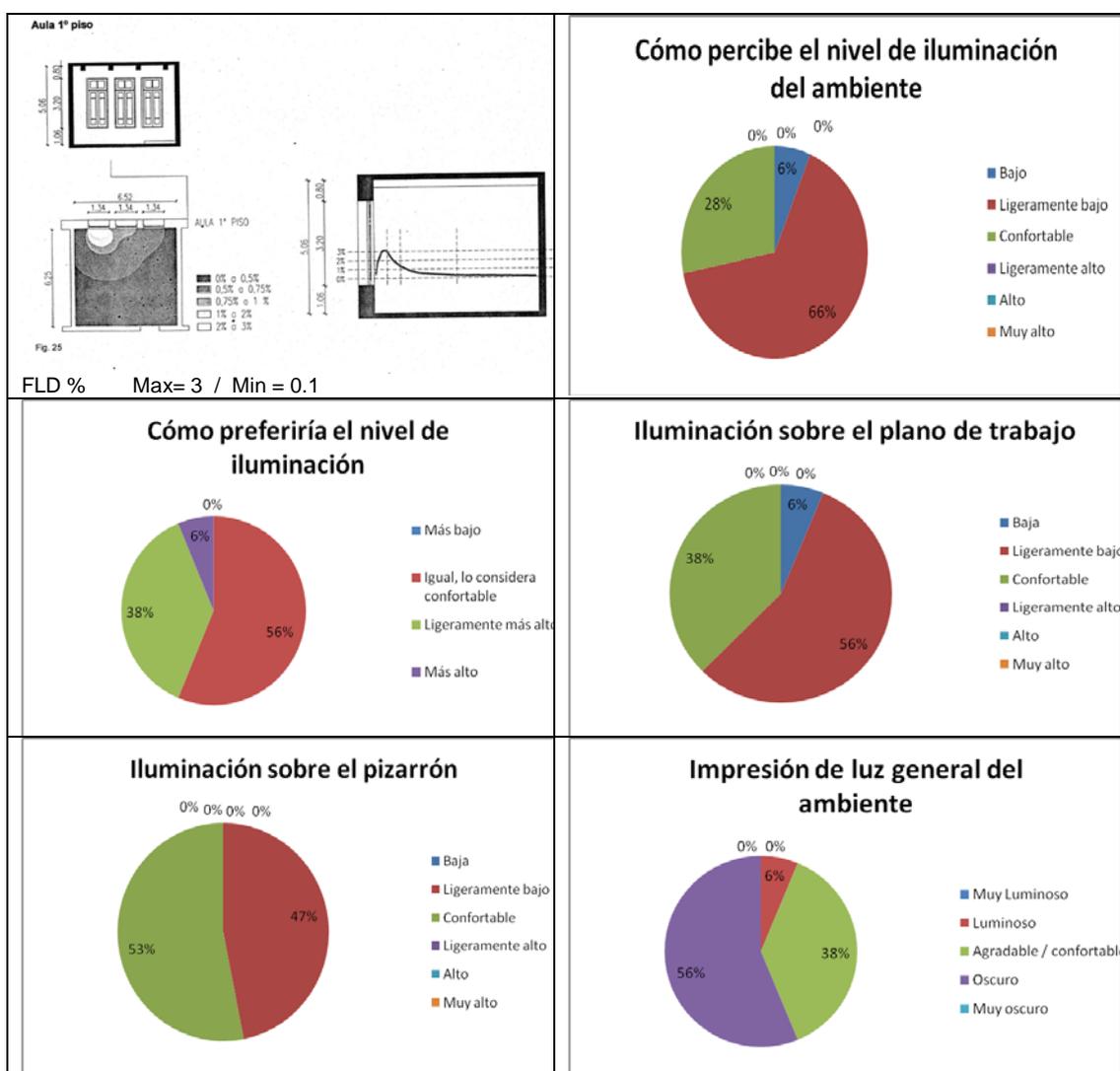
En el aula del 2º piso, adicionalmente a las ventanas en pared, hay aberturas cenitales que mejoran la uniformidad y el nivel de iluminación en la mayor parte del ambiente. El control de la iluminación natural se realiza con los postigos: cada abertura tiene postigos metálicos pintados de verde que controlan el acceso de luz natural. El gran espesor de las paredes, 0.60 m, contribuye a controlar el acceso de la luz disminuyendo el posible deslumbramiento en el área cercana a la ventana.

Aulas 1º y 2º piso

Superficie	Material y color	Reflectancia %
Solado	Madera, pinotea oscura	17
Paredes desde 2 m	Revoque fino, pintura látex durazno, claro	50
	Revoque fino, pintura látex crema, claro	54
Paredes hasta 2 m	Revoque fino, pintura látex beige intenso	36
Cielorraso	Pintura látex crema	54
Pupitres	Madera oscura	36
Superficie vidrio	Transmitancia	
Vidrio 1	79 %	
Vidrio 2 (traslúcido)	36 %	

Materiales de las aulas e índices de reflexión.

Aula 1 – Resultados de las encuestas:



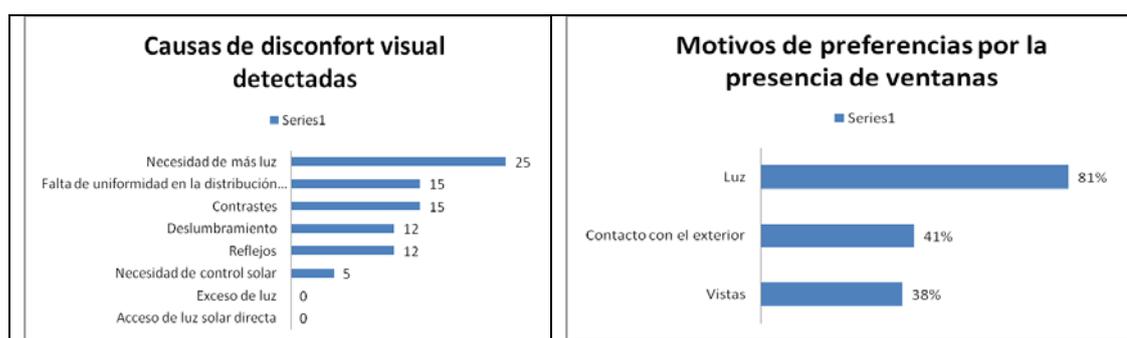
En el aula del 1º piso el 66 % de los ocupantes percibió el nivel de iluminación como algo bajo y el 28 % lo consideró confortable, mientras que un 6% lo consideró bajo. Sobre sus preferencias, un 38% dijo que lo considera confortable y la mayoría (56 %) lo preferiría un

poco más alto. Con respecto a la impresión general del ambiente, un 56% lo consideró oscuro y un 38 % como agradable.

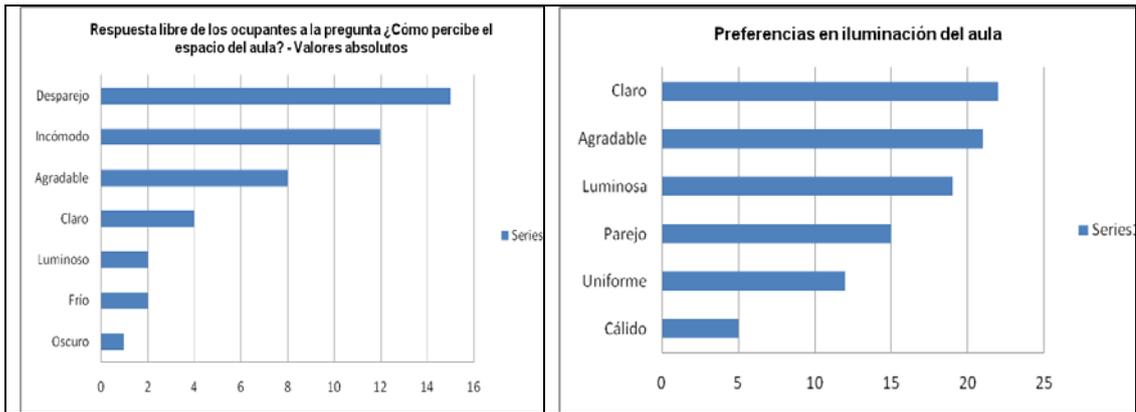
Aula 1° piso – Evaluación subjetiva de iluminación natural

N°	Cualidades	Evaluación	Observaciones
1	Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	REGULAR	Insuficiente
2	Impresión general de la luminosidad del (espacio exterior)	ALGO LUMINOSO	Obstáculo exterior: volumen de sanitarios
3	Impresión general del problema de contraste (visuales al exterior)	REGULAR	Hay contraste por superficies interiores oscuras
4	Impresión general del confort visual en los lugares de trabajo	NEUTRAL	Los pupitres cercanos a las ventanas están en mejor situación.
5	Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior	BUENO	No hay
6	Presencia de reflejos molestos sobre pizarrones, pantallas	-	
7	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	BUENO	
8	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de los vidrios	REGULAR	No están muy limpios
9	Mantenimiento de los elementos móviles de las aberturas	BUENO	Postigos en buen estado
10	Calidad del nivel de iluminación natural para la actividad desarrollada	REGULAR	La iluminación es insuficiente
11	Flexibilidad del sistema de iluminación natural con relación a horarios y posibles cambios.	BUENO	Postigos
12	Posibilidad de accionamiento de sistemas de protección y apertura de aberturas por parte de los usuarios.	BUENO	Por lo general, se pueden abrir y cerrar ventanas y postigos, pero a veces están trabados

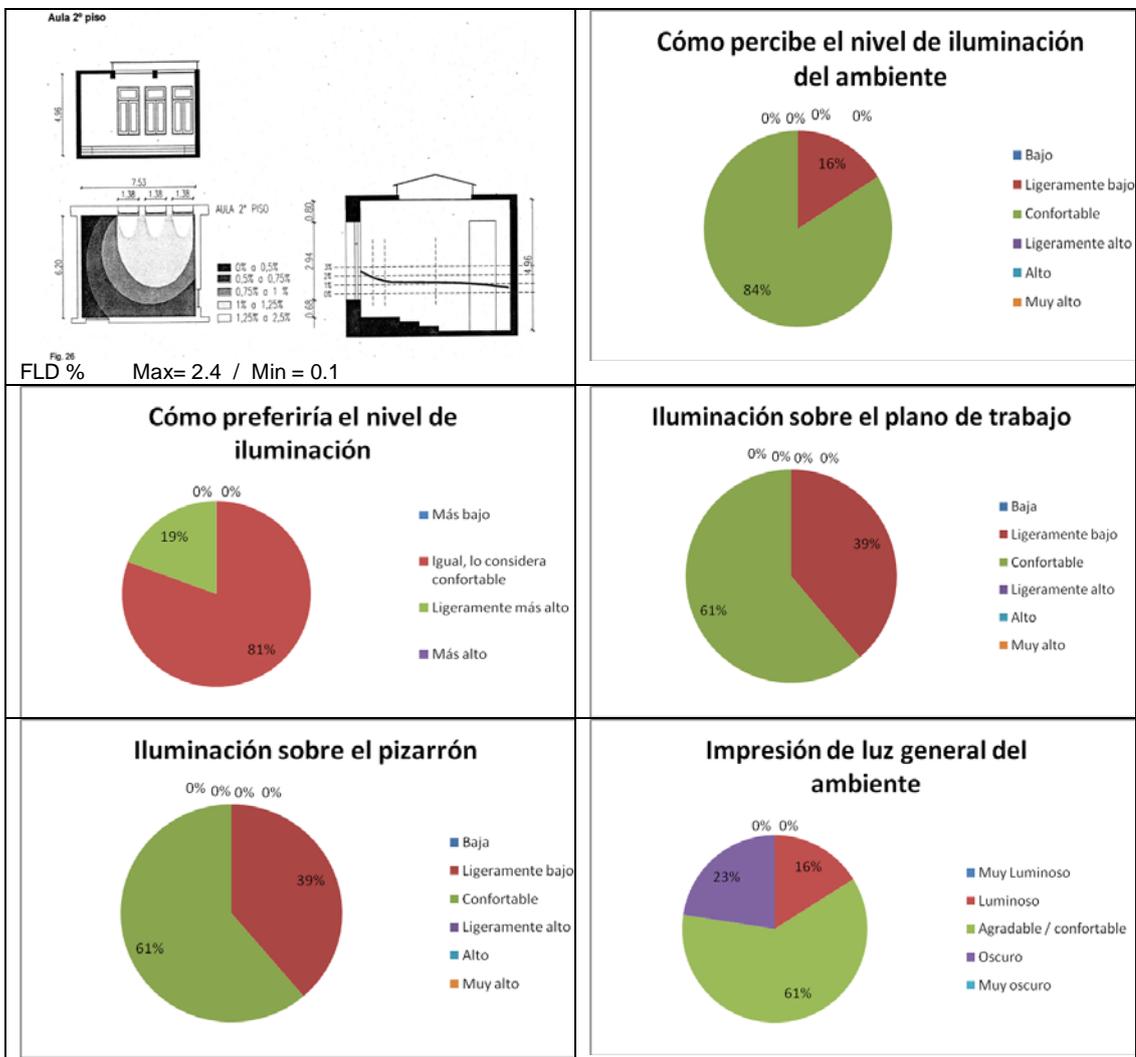
Acerca de los problemas de disconfort detectados el predominante es la necesidad de más luz, seguido por la falta de uniformidad en su distribución y los contrastes entre la ventana y el resto del aula. El motivo más señalado en relación con la importancia de las ventanas es la provisión de luz.



Sobre cómo perciben el espacio del aula, aparecen como predominantes dos aspectos negativos (*desparejo* e *incómodo*), que tienen que ver con la distribución de luz en el espacio; el grupo de alumnos ubicados cerca de las ventanas lo considera agradable.



Aula 2 – Resultados de las encuestas:



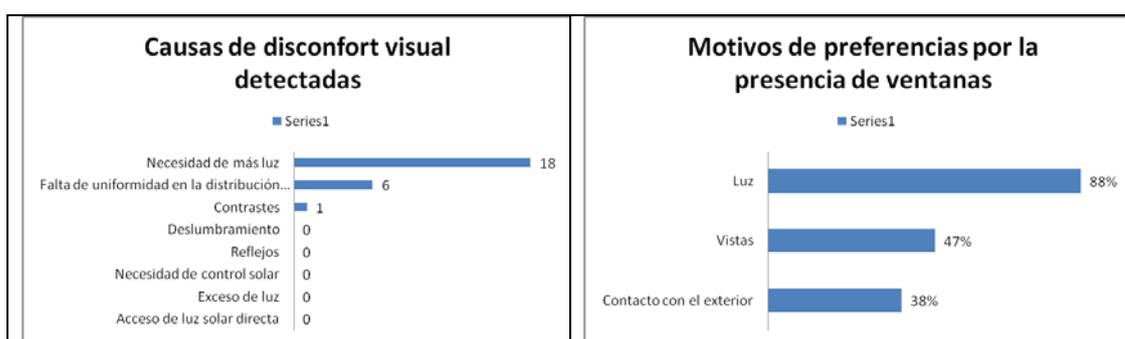
En el aula del 2º piso el 84% de los ocupantes consideró el nivel de iluminación como confortable y sólo el 16% lo consideró ligeramente bajo. Respecto a las preferencias, un 81% dijo que no lo cambiaría, mientras que un 19% lo preferiría un poco más alto. Acerca

de la impresión general del ambiente, el 61% lo consideró agradable, un 16 % luminoso y un 23 % ligeramente oscuro.

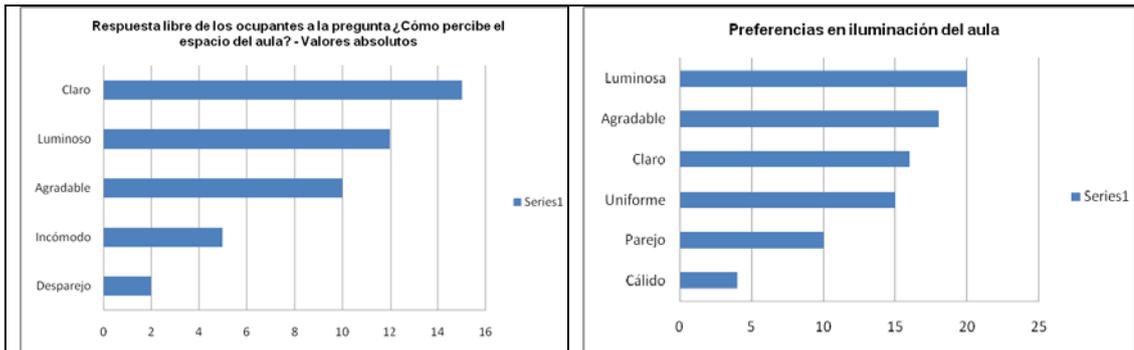
Aula 2° piso – Evaluación subjetiva de iluminación natural

N°	Cualidades	Evaluación	Observaciones
1	Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	LUMINOSO	Muy buena y uniforme
2	Impresión general de la luminosidad del espacio exterior)	LUMINOSO	Pasillo de dimensiones importantes y ubicación del aula en un piso elevado
3	Impresión general del problema de contraste (visuales al exterior)	BUENO	No hay problemas de contraste
4	Impresión general del confort visual en los lugares de trabajo	LUMINOSO	
5	Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior	BUENO	No hay
6	Presencia de reflejos molestos sobre pizarrones, pantallas	-	
7	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	BUENO	
8	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de los vidrios	REGULAR	No están muy limpios
9	Mantenimiento de los elementos móviles de las aberturas	BUENO	Postigos en buen estado y lona superior para lucernarios
10	Calidad del nivel de iluminación natural para la actividad desarrollada	LUMINOSO	
11	Flexibilidad del sistema de iluminación natural con relación a horarios y posibles cambios.	MUY BUENA	Postigos y lona superior para lucernarios
12	Posibilidad de accionamiento de sistemas de protección y apertura de aberturas por parte de los usuarios.	BUENO	Por lo general, se pueden abrir y cerrar ventanas y postigos, pero a veces están trabados

Sobre los problemas de disconfort detectados, se mencionó la necesidad de un poco más de luz y mejoras en su distribución (en los sectores no cubiertos por la luz cenital); el motivo más señalado en relación con la importancia de las ventanas es la provisión de luz.



Sobre cómo perciben el espacio del aula, tienen mayor presencia los términos positivos que los negativos (*desparejo* e *incómodo*). Los ocupantes parecen bastante conformes con la luz natural dentro del aula.



En el análisis general se observan diferencias en la iluminación natural que recibe el aula en el 2º piso y un aula en el 1º piso. El cambio de vidrios transparentes por vidrios traslúcidos disminuye considerablemente la posibilidad de lograr una buena iluminación en los pisos bajos. Las paredes, de espesor considerable, y los postigos, si bien son elementos de protección y control, también disminuyen la iluminación disponible en días nublados. Las superficies oscuras de los pupitres, el pizarrón y el piso contribuyen a la disminución de los valores del FLD, debido a que sus reflectancias son bajas.

El aula del 1º piso está enfrentada al volumen de los sanitarios saliente en el patio, constituyendo una obstrucción exterior para la iluminación natural; la iluminación es mayor en el área donde no influye este volumen. Los valores de FLD decrecen rápidamente a medida que aumenta la distancia a la ventana, siendo insuficiente en la mayor parte del aula.

El aula del segundo piso, además de las tres ventanas laterales, recibe iluminación cenital a través de dos lucernarios en el techo, que hacen que la iluminación resulte mucho más uniforme, alcanzando valores satisfactorios sobre la mayoría de las mesas, aunque numéricamente rondan en el 1 % de FLD. Las paredes más claras favorecen la sensación de mayor luminosidad.

En el aula del 1º piso hay problemas de contraste al dirigir las visuales hacia la ventana. El aula del 2º piso tiene buenas condiciones lumínicas, debido a la distribución de la luz más uniforme y hay un buen confort visual en las superficies de trabajo.

Como en los claustros vecinos los valores de reflectancia de las superficies son bajos, la sensación del observador es de menor luminosidad, mientras que en el aula del 2º piso, de paredes claras, la zona central bajo los lucernarios no supera el 2.5 % de FLD y la sensación es la de un ambiente más luminoso.

Edificio educacional de nivel universitario – Aula-taller de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires

El edificio de la FADU, diseñado por Catalanos y Caminos dentro del plan maestro para Ciudad Universitaria, se encuadra dentro de la arquitectura del Movimiento Moderno más ortodoxo, y del International Style muy difundido en los años '50. Fue diseñado con una simetría casi total, y se genera a partir de un patio central de tres niveles de altura, al cual balconean pisos y entresijos. A la altura del tercer nivel, un entramado de claraboyas deja entrar la luz natural en el espacio; a partir del tercer piso, el espacio del patio central pasa a ser un patio de aire y luz inaccesible.

El aula-taller estudiado se encuentra en el 1º piso, en la orientación SE, abierto hacia el espacio exterior entre los pabellones 2 y 3. Mide 12 m x 20 m, con toda la pared al SE vidriada. El relevamiento se realizó en invierno, bajo condiciones de cielo cubierto con nubes livianas.

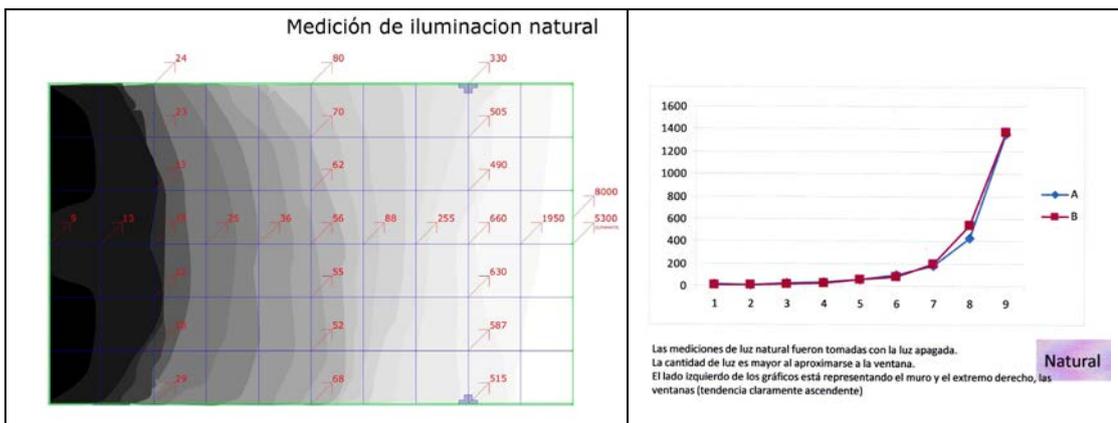


Aula – Taller 1º piso (121)

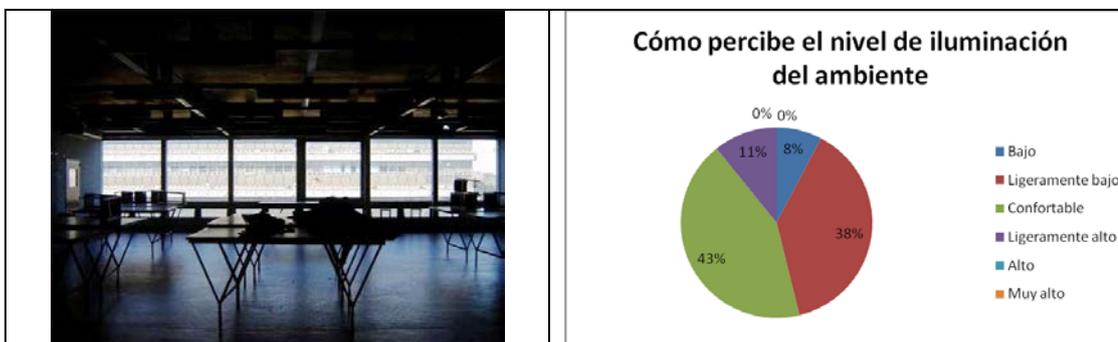
Superficie	Material y color	Reflectancias %
Solado	Cerámica color terracota oscura	30
Paredes	Revoque fino, pintura blanca	70
	Paneles blancos brillante para pegar láminas	80
Cielorraso	Paneles fibra de vidrio, arena/beige claro	40
Pizarrones	Verdes	25
Mesas	Blanco mate	50
Marcos	Metálicos blancos	60
Superficie vidrio	Transmitancia	
Vidrio 1	79 %	

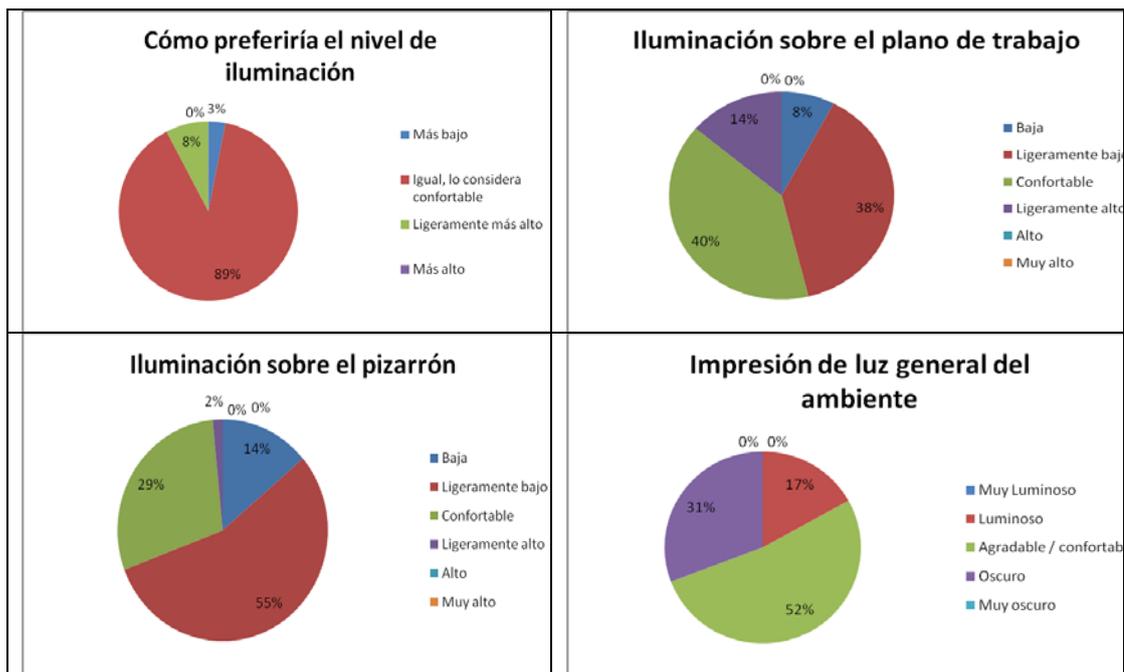
Materiales de las aulas e índices de reflexión.

El espacio del aula-taller es un espacio rectangular profundo, donde la luz natural llega con buena intensidad hasta aproximadamente 1/3 del espacio, decreciendo luego rápidamente. Existen problemas de contraste entre el sector de las ventanas y el resto del taller, apareciendo problemas de deslumbramiento al dirigir la vista hacia las ventanas, siendo necesario compensar con luz natural. Además, según la posición del sol, aparecen problemas de reflejos al incidir directamente el rayo de sol sobre las superficies vidriadas del Pabellón 2, ubicado frente a la abertura del taller.



Aula – taller FADU – Resultados de las encuestas:



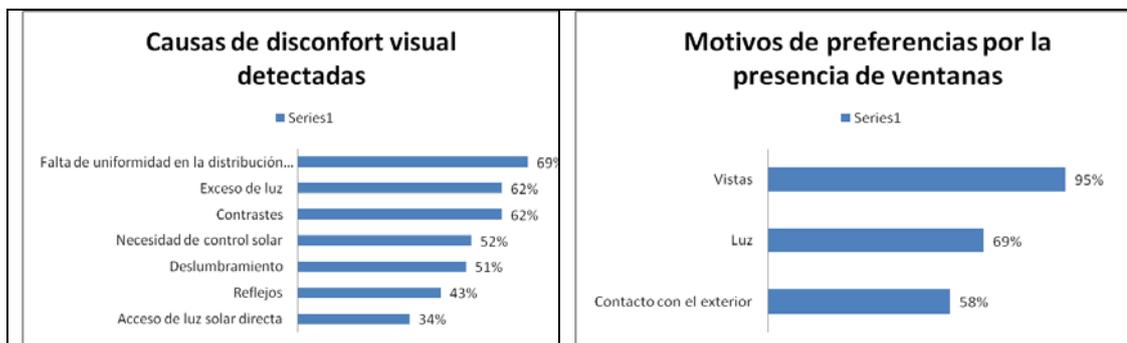


Los resultados de la encuesta realizada muestran que un 43% de los ocupantes consideró el nivel de iluminación como confortable y un 38 % juzgó como ligeramente bajo. Respecto a las preferencias, un 89% dijo lo considera confortable, mientras que un 8% lo preferiría un poco más alto. Acerca de la impresión general del ambiente, el 52% lo consideró agradable, un 31% ligeramente oscuro y un 17% luminoso, diferencias asociadas a la posición del encuestado en el espacio.

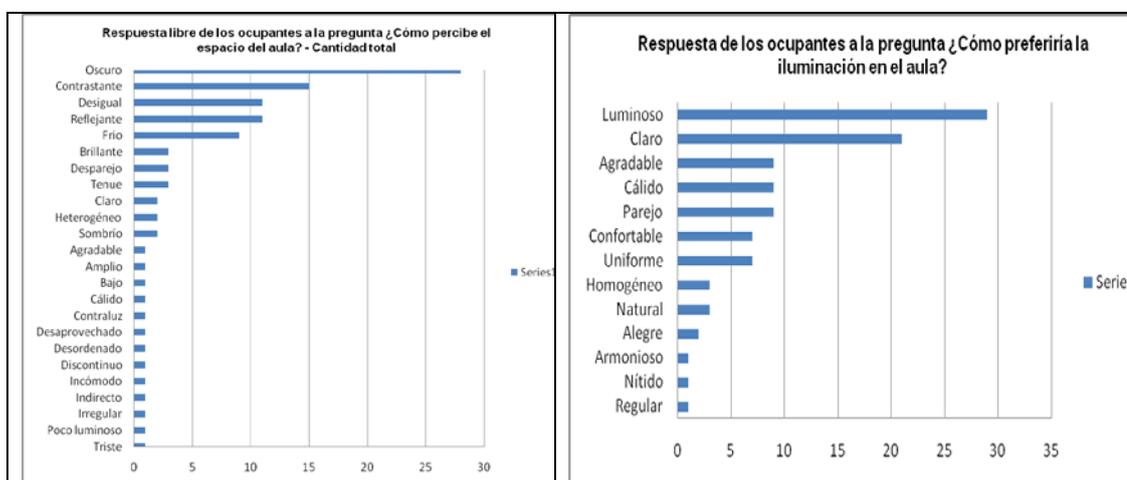
Aula Taller 1° piso – Evaluación subjetiva de iluminación natural

N°	Cualidades	Evaluación	Observaciones
1	Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	REGULAR	Excesivo cerca de ventanas, insuficiente en el resto del espacio. Es confortable en 1/3 del espacio.
2	Impresión general de la luminosidad del (espacio exterior)	LUMINOSO	
3	Impresión general del problema de contraste (visuales al exterior)	REGULAR	Hay contraste por diferencias en el nivel de iluminación
4	Impresión general del confort visual en los lugares de trabajo	REGULAR	Necesidad de compensar el nivel de iluminación con luz artificial
5	Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior	REGULAR	Según incidencia de rayos de sol reflejados desde el edificio frente a la ventana
6	Presencia de reflejos molestos sobre pizarrones, pantallas	REGULAR	Según incidencia de rayos de sol reflejados desde el edificio frente a la ventana
7	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	BUENO	
8	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de los vidrios	BUENO	
9	Mantenimiento de los elementos móviles de las aberturas	-	No hay
10	Calidad del nivel de iluminación natural para la actividad desarrollada	REGULAR	La iluminación es insuficiente
11	Flexibilidad del sistema de iluminación natural con relación a horarios y posibles cambios.	-	No hay
12	Posibilidad de accionamiento de sistemas de protección y apertura de aberturas por parte de los usuarios.	-	No hay

Sobre los problemas de confort detectados, el más señalado es la distribución de la luz, seguido del exceso de luz cerca de las ventanas y los contrastes. También se consideró importante el control del acceso de luz al espacio. En este caso, los alumnos juzgaron importante la posibilidad de acceder a las vistas exteriores como una forma de relajación de la actividad desarrollada en el aula.



En la pregunta sobre cómo perciben el espacio del aula, se dio libertad de elección en los adjetivos, resultando una serie de términos espontáneos que, en algunos casos, si bien dicen sentirse confortablemente, aluden a una situación de confort (términos negativos) relacionada con la disminución del nivel de iluminación a lo largo del aula. En cuanto a lo que preferirían, predominan los términos opuestos a los elegidos en la pregunta anterior.



Con respecto a las condiciones de iluminación, cerca de la mitad de los ocupantes percibió el nivel de iluminación de todo el espacio del aula como poco confortable, debido al fuerte contraste entre el sector de la ventana y el resto del taller; en todos los casos se mencionó la necesidad de control del acceso del sol directo para evitar los problemas de contraste y deslumbramiento.

Los encuestados también manifestaron su disconformidad con los colores de las superficies interiores debido a que las superficies brillantes, pensadas para el pegado de láminas y que no son utilizadas en todas las clases, producen reflejos molestos sobre todo por la mañana, cuando el sol incide de forma rasante desde el Este. Todos coincidieron en la necesidad de control y redireccionamiento de la luz que ingresa al taller, agregando protección solar (los parasoles que originalmente tenía el edificio fueron retirados por problemas estructurales), y el cambio de ubicación de pizarrones para evitar sectores con reflejos.

Edificio educacional de nivel universitario superior (posgrado) – Aulas de la Dirección de Deportes de la Universidad de Buenos Aires

Como parte de un estudio de reconocimiento y medición de condiciones lumínicas realizado por los alumnos de la materia Energía en Edificios de la FADU – UBA, y de la evaluación de posibilidades de ahorro energético en aulas en el marco del Proyecto UBACyT A 404, se estudió la iluminación de dos aulas ubicadas en el sector de formación de las dependencias del Campo de Deportes de la UBA, en Ciudad Universitaria. Si bien las dos aulas son idénticas en orientación, forma, colores y dimensiones, la diferencia es en el exterior de una de ellas (Aula 2 en el análisis), hay un tanque de agua pintado de color verde seco que obstaculiza las visuales al exterior y cambia las condiciones de exposición de las aberturas hacia la bóveda celeste.



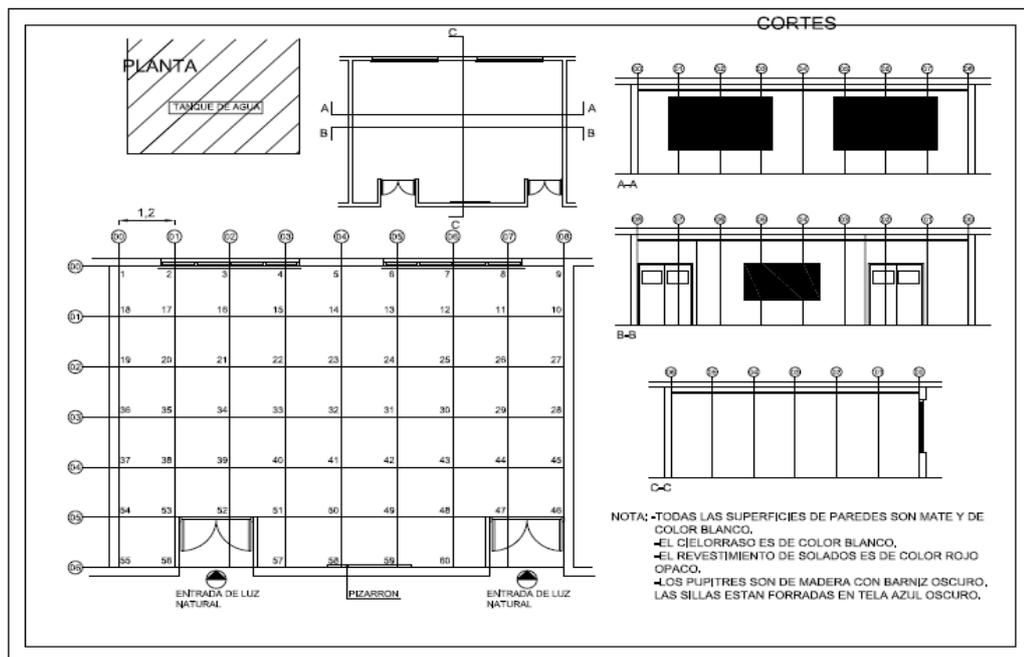


Las aulas están orientadas al NO, abiertas hacia un patio interno con construcciones de planta baja y un piso, y son utilizadas para la enseñanza teórica a nivel posgrado y cursos de actualización de disciplinas vinculadas a las actividades deportivas. El momento de ocupación intensiva se produce en horario vespertino/noche, razón por la cual inicialmente no se le había dado mayor importancia a las condiciones de iluminación y confort visual en horario diurno. Sin embargo, ante la necesidad de ser ocupadas durante las mañanas y las tardes, se han puesto en evidencia problemas de disconfort como por ejemplo el ingreso de sol directo, que fueron subsanados rápidamente por los ocupantes mediante el bloqueo del ingreso de luz solar accionando persianas interiores; en consecuencia, se utiliza la luz artificial aún en pleno día, independientemente de las condiciones exteriores de cielo claro o nublado.

Aulas 1 y 2

Superficie	Material y color	Reflectancias %
Solado	Cerámica color marrón rojizo oscura	30
Paredes	Revoque fino, pintura blanca mate	70
	Panel divisorio en fórmica blanca mate	70
Cielorraso	Paneles durlock blancos	70
Pizarras (para marcador)	Blancos	80
Mesas y sillas	Oscuras (azul osc./ madera osc.)	30
Marcos	Metálicos oscuros	30
Persianas internas tipo miniband	Oscuras	10
Superficie vidrio	Transmitancia	
Vidrio 1	79 %	

Materiales de las aulas e índices de reflexión.



Planta y corte esquemático de las aulas

Las mediciones de iluminación se realizaron en el mes de junio, en horas de la mañana, sin la incidencia de radiación solar directa sobre las ventanas, aunque algunas fotos fueron tomadas más tarde con el fin de identificar las condiciones de penetración solar y los posibles problemas de contraste que incidan en el confort visual. Los valores del Factor de Luz Diurna (FLD) cumplen con el mínimo indicado en la Norma IRAM-AADL J 20-04 (Iluminación natural en Escuelas) sólo en los sectores próximos a las ventanas: más de la mitad de la superficie de las aulas tiene, al momento de la medición y bajo condiciones de cielo claro, valores de FLD inferiores a 2. En las mediciones se evidencia claramente la presencia del tanque de agua como un obstáculo que reduce ligeramente la disponibilidad de luz natural. Las irregularidades en la distribución en planta de deben a la influencia de algunos reflejos interiores al momento de realizar la medición.

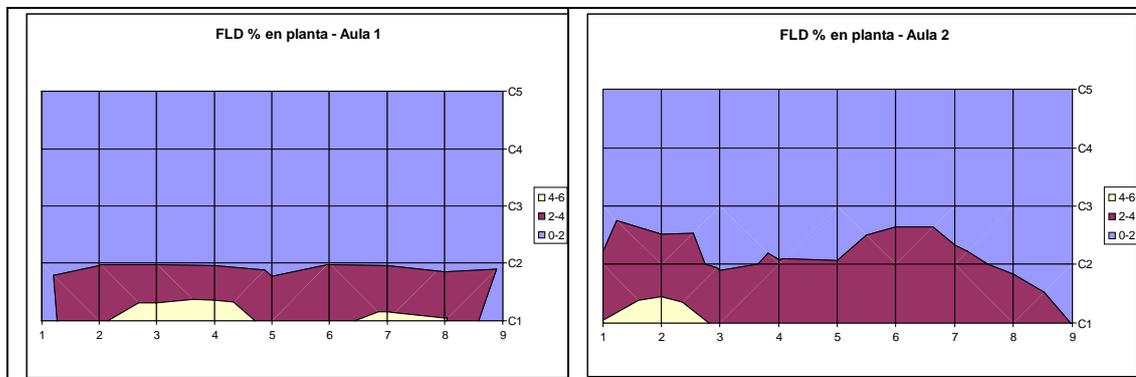


Figura: Distribución del FLD en planta en las dos aulas.

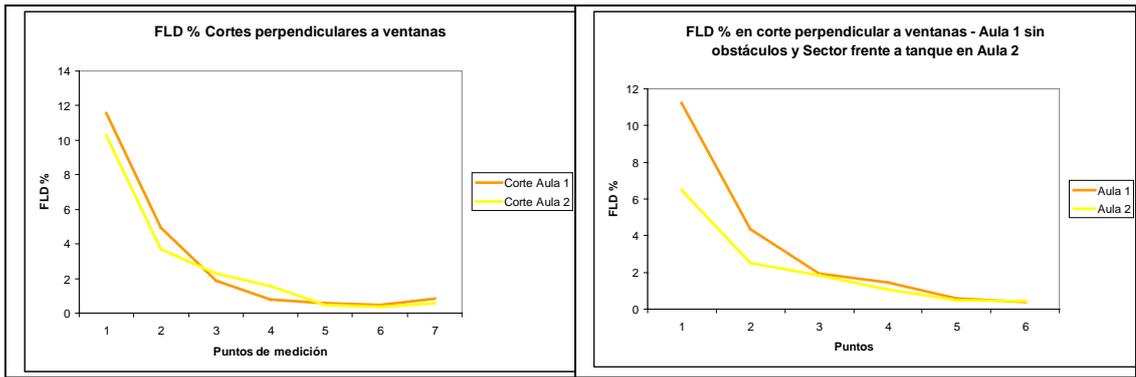
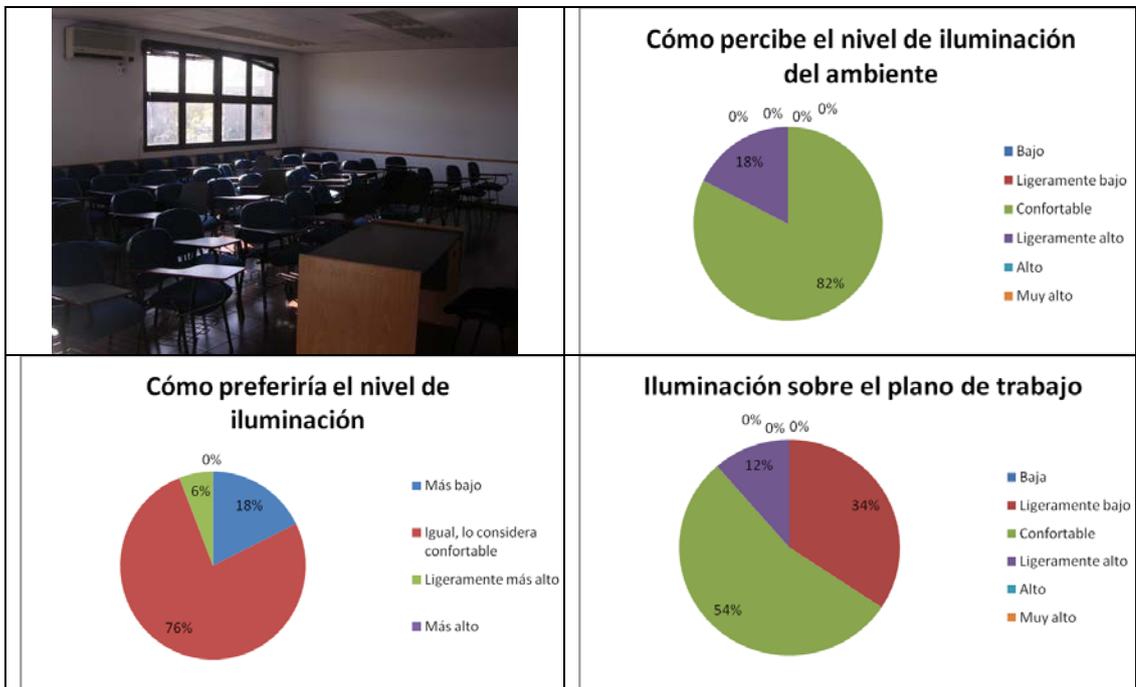
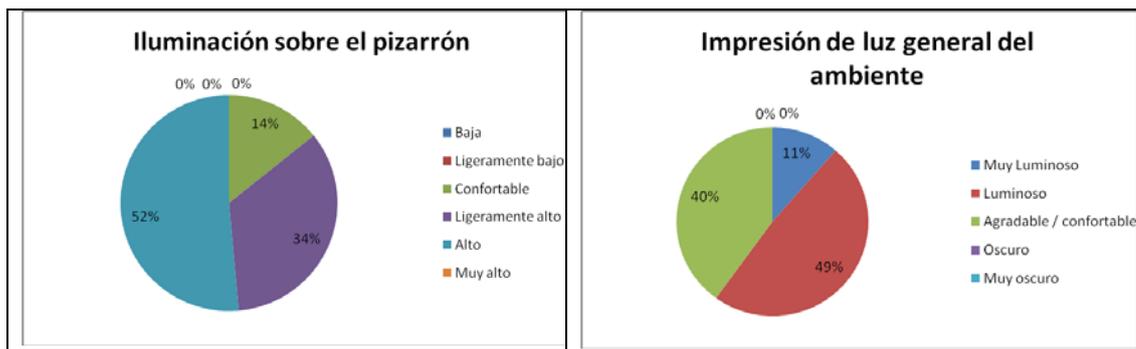


Figura: Distribución del FLD en cortes transversales a las ventanas en las dos aulas.

El nivel de iluminación ambiente con las persianas cerradas varió, según la distancia a la abertura, entre 25 y 80 lux. Cabe aclarar que, debido a que hay aberturas vidriadas en la parte superior de las puertas de acceso, hay un aporte adicional de luz proveniente de ventanas de orientación SE ubicadas el otro lado del pasillo de circulación que une las aulas.

Aulas Dirección de Deportes – Resultados de las encuestas:





Con respecto a las condiciones de iluminación, los resultados en ambas aulas fueron similares: un 82 % de los encuestados percibió el nivel de iluminación de todo el espacio del aula como confortable y entre un 18 % lo juzgó como ligeramente alto para sus preferencias. Con respecto a la iluminación sobre el plano de trabajo, un 54 % de los encuestados manifestó que era confortable y un 34 % que era ligeramente bajo. En todos los casos se juzgó el nivel de iluminación sobre las pizarras blancas como alto.

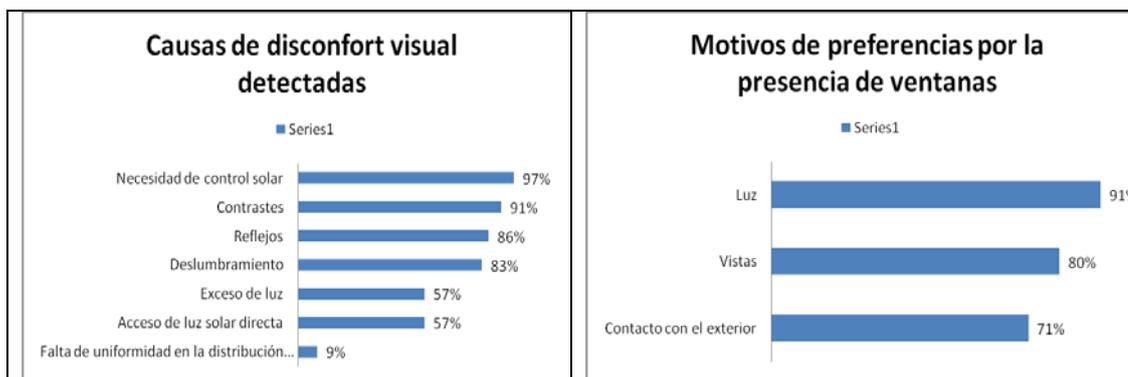
Aula 1– Evaluación subjetiva de iluminación natural

N°	Cualidades	Evaluación	Observaciones
1	Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	LUMINOSO	
2	Impresión general de la luminosidad del (espacio exterior)	LUMINOSO	Vista al patio y al cielo
3	Impresión general del problema de contraste (visuales al exterior)	REGULAR	Contraste por marcos oscuros en ventanas
4	Impresión general del confort visual en los lugares de trabajo	BUENO	
5	Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior	REGULAR	Reflejos desde los pizarrones blancos
6	Presencia de reflejos molestos sobre pizarrones, pantallas	-	
7	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	BUENO	Buen mantenimiento
8	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de los vidrios	BUENO	
9	Mantenimiento de los elementos móviles de las aberturas	BUENO	Persianas internas en buen estado
10	Calidad del nivel de iluminación natural para la actividad desarrollada	BUENO	
11	Flexibilidad del sistema de iluminación natural con relación a horarios y posibles cambios.	BUENO	Persianas internas
12	Posibilidad de accionamiento de sistemas de protección y apertura de aberturas por parte de los usuarios.	BUENO	

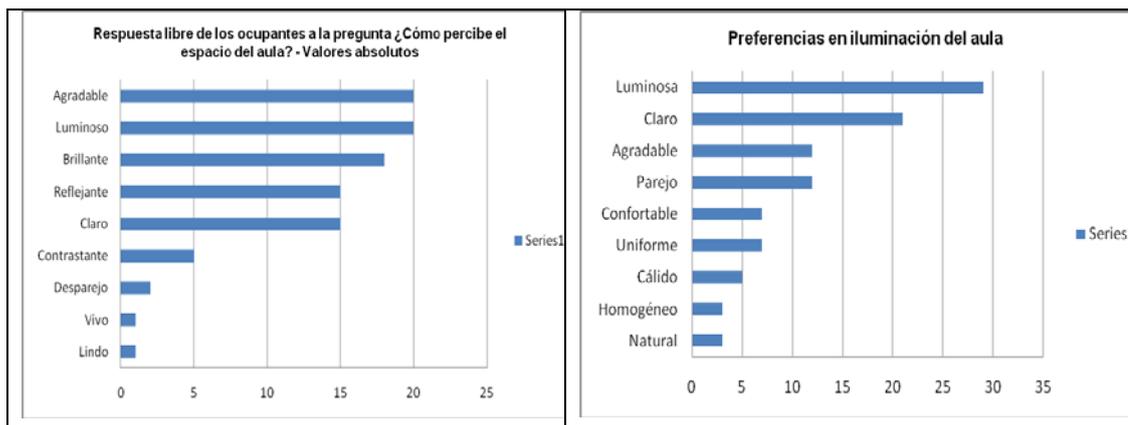
Aula 2– Evaluación subjetiva de iluminación natural

N°	Cualidades	Evaluación	Observaciones
1	Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	LUMINOSO	
2	Impresión general de la luminosidad del (espacio exterior)	LUMINOSO	Vista al cielo obstruida parcialmente por volumen del tanque de agua color verde
3	Impresión general del problema de contraste (visuales al exterior)	REGULAR	Contraste por marcos oscuros en ventanas
4	Impresión general del confort visual en los lugares de trabajo	BUENO	
5	Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior	REGULAR	Reflejos desde los pizarrones blancos
6	Presencia de reflejos molestos sobre pizarrones, pantallas	-	
7	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	BUENO	Buen mantenimiento
8	Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de los vidrios	BUENO	
9	Mantenimiento de los elementos móviles de las aberturas	BUENO	Persianas internas en buen estado
10	Calidad del nivel de iluminación natural para la actividad desarrollada	BUENO	
11	Flexibilidad del sistema de iluminación natural con relación a horarios y posibles cambios.	BUENO	Persianas internas
12	Posibilidad de accionamiento de sistemas de protección y apertura de apertura por parte de los usuarios.	BUENO	

Sobre los problemas de disconfort detectados, el más señalada es necesidad de control del ingreso de radiación solar, seguida de los contrastes por exceso de luz cerca de las ventanas y los reflejos que se producen en las superficies brillantes de los pizarrones.



En la pregunta sobre cómo perciben el espacio del aula, se les dio libertad de elección en los adjetivos. Los términos son predominantemente positivos: el espacio del aula les resultó muy agradable, coincidiendo con sus preferencias.



En las preguntas sobre preferencias sobre el tipo de iluminación, el 90 % dijo preferir luz natural y el restante 10 % la combinación entre luz natural y artificial. En todos los casos, se percibió el ambiente como luminoso. Los ocupantes del aula 1 consideraron que la distribución de luz en el ambiente era uniforme mientras que en el aula 2 se mencionaron problemas de reflejos provenientes de ventanas ubicadas al otro lado del patio. En todos los casos se mencionaron problemas de disconfort visual debido a la percepción del contraste entre la carpintería oscura y la luz entrante y por el reflejo excesivo en la superficie blanca de los pizarrones.

Con respecto a las ventanas y el asoleamiento, todos los encuestados juzgaron importante su diseño, no sólo por la posibilidad de obtener luz natural, sino por las vistas y el contacto con el exterior, que en este edificio es un patio interno con árboles y plantas. El 88 % de los encuestados respondió que el tamaño de la ventana era satisfactorio de acuerdo a sus preferencias, mientras un 12 % juzgó que eran grandes. En todos los casos se mencionó la necesidad de control del acceso del sol directo para evitar problemas de contraste y deslumbramiento.

Los encuestados manifestaron también disconformidad con los colores de las superficies interiores y con la distribución del equipamiento. Aunque el ambiente fue percibido como luminoso, las superficies blancas se juzgaron como resultaron muy claras, manifestándose la preferencia por tonos claros pastel, describiéndolos como “más relajantes” que el blanco predominante. Esto se vuelve crítico cuando es necesario fijar la vista en los pizarrones, cuya superficie brillante refleja la luz de las ventanas ubicadas en la pared opuesta del aula, generando problemas de disconfort visual. En todos los casos se opinó que es necesario cambiar la distribución del equipamiento: cambiar los pizarrones hacia una de las paredes laterales de las ventanas (como lo aconseja la Norma IRAM de iluminación en escuelas).

Identificación de variables subjetivas de confort visual a partir de los casos de estudio.

En las respuestas de los ocupantes a las encuestas formuladas aparecen dos situaciones generales: la primera, define las condiciones de confort lumínico en términos de buena, regular o mala (disconfort); la segunda permite identificar problemas específicos que tienen incidencia sobre una cierta proporción de los ocupantes y que está relacionada con su posición relativa en el espacio del aula y la relación con factores externos a ella, parte de su entorno inmediato y que aparecen de forma discontinua en el tiempo (relacionados con la trayectoria solar, por ejemplo), siendo por lo tanto difíciles de captar por los investigadores en el momento de realizar el relevamiento. Una vez obtenidos los datos se compararon las mediciones objetivas realizadas con los luxómetros y la evaluación de los ocupantes obtenida en las encuestas; en algunos casos hay resultados similares y las mediciones avalan las respuestas de la encuesta, es decir, que los ocupantes se sienten confortablemente dentro de las condiciones teóricas previstas (los niveles de iluminación indicados en las normativas); en otros, los usuarios se sienten confortablemente aún con niveles de iluminación inferiores a los indicados como aconsejables. Estos últimos coinciden con las aulas cuyas aberturas dan a espacios con árboles y plantas, que actúan como un factor relajante del sistema visual.

Síntesis comparativa de resultados de los casos estudiados. El desarrollo de cada uno con sus resultados se presenta en el Anexo I de esta tesis.

Caso	Nivel de Luminancia (CLD %)	Reflectividad Envoltente (%)	Tipo de aberturas	Percepción del nivel de iluminación	Preferencias ocupantes	Impresión de luz ambiente	Impresión general	Respuesta libre predominante	Iluminación sobre plano de trabajo	Causas disconfort visual
Esc. 37 Aula 1	Max 2.3 Min 0.1	Piso 25 Pared 75 Pared 55 Cielorr 75	3 ventanas altas al NO	70% Conf. 23% Liger. bajo 7% Bajo	77 % igual 20 % + alto 7 % + bajo	53% conf 40% lumin 7% oscuro	Luminoso	Luminoso Agradable Claro	60% Conf 40% Lig bajo	Sol directo Deslumbr. Distrib. No uniforme
Esc. 37 Aula 2	Max 2.3 Min 0.2	Piso 25 Pared 75 Pared 20 Cielorr 75	3 ventanas altas al NE	67% Liger. Bajo 33% Conf.	77 % igual 23 % + alto	50% conf 47% lumin 3% oscuro	Confortable	Luminoso Claro Agradable	53% Conf 47% Lig bajo	Sol directo Deslumbr. Reflejos
Esc. 37 Aula 3	Max 2.0 Min 0.2	Piso 20 Pared 75 Pared 35 Cielorr 75	1 ventana central orient. SE	61% Liger. Bajo 32% Conf. 7% Bajo	35% + alto 65% igual	48% conf 39% osc 13% lumin	Algo oscuro	Desparejo Incómodo	45% Conf 55% Lig bajo	Necesidad de luz Distrib. No uniforme
CNBA Aula 1	Max 2.0 Min 0.3	Piso 17 Pared 54 Pared 36 Cielorr 54	3 ventanas altas al Sur 1º piso	66% Liger. Bajo 28% Conf. 6% Bajo	56 % igual 44 % + alto	56% osc 38% conf 6 % lumin	Regular (luz insuficiente)	Desparejo Incómodo	38% Conf 56% Lig bajo 6% bajo	Necesidad de luz Distrib. No uniforme
CNBA Aula 2	Max 2.5 Min 0.5	Piso 17 Pared 54 Pared 36 Cielorr 54	3 ventanas al sur + ilum. cenital	84% Conf. 16% Liger. bajo	81 % igual 19 % + alto	61% conf 23% osc 16% lumin	Luminoso	Claro Luminoso	61% Conf 39% Lig bajo	Distrib. No uniforme
FADU Aula - Taller	Max 3.5 Min 0.5	Piso 30 Pared 70 Cielorr 40	Pared-ventana (6) al SE	43% Conf. 38% Liger. Bajo 11% L alto 8 % bajo	89 % igual 8% + alto	52% conf 31% osc 17% lumin	Regular	Oscuro Contrastante Desigual Frio	40% Conf 38% Lig bajo 14%lig alto 8% Bajo	Distrib. No uniforme Deslumbr. Contrastes
Deportes Aulas 1 y 2	Max 2.5 Min 0.5	Piso 30 Pared 70 Cielorr 70	2 ventanas anchas al NO	82% Conf. 18% Liger. alto	76% igual 18% + bajo 6% + alto	40% conf 49% lumin 11% muy luminoso	Luminoso	Agradable Luminoso Brillante Claro	54% Conf 34% Lig bajo	Sol directo Contrastes Reflejos Deslumbr.

En los casos de estudio, específicamente a partir del trabajo desarrollado con las encuestas, se trató de identificar aquellos aspectos que vinculen la sensación de confort visual percibida por el ocupante (aspecto subjetivo) con los elementos que forman parte del entorno arquitectónico (espacio y edificio) que deben ser diseñados por el proyectista. Por ejemplo, la presencia de reflejos y contrastes perceptibles visualmente dentro del espacio tiene relación con la orientación y ubicación de las ventanas, y con los colores de las paredes interiores.

Las variables que surgen del análisis de las encuestas son:

A	Percepción subjetiva del nivel de iluminación del ambiente (cómo percibe el ocupante el nivel de iluminación)	Los resultados, expresados en una escala nominal (6 valores, de bajo a muy alto), pueden ser comparados con las mediciones fotométricas (objetivas), llevadas a cabo simultáneamente a la encuesta.
B	Preferencia individual sobre el nivel de iluminación	Se relaciona con las mediciones objetivas, ya que el ocupante indica las modificaciones al nivel de luz ambiente en función a lo que considera confortable.
C	Iluminación sobre el plano de trabajo	Cómo percibe el nivel de iluminación
D	Iluminación sobre el sector de pizarrones	<i>Idem C</i>
E	Impresión general de la luz del ambiente	Se relaciona con la percepción de claridad del ambiente en su totalidad; independientemente de las mediciones fotométricas, el sujeto puede percibir el ambiente como claro o luminoso, en relación con las características de la envolvente arquitectónica del espacio.
F	Preferencia individual sobre las condiciones de luz del ambiente en su totalidad.	
G	Importancia de la posibilidad de vistas al exterior.	

Los problemas detectados tienen que relación directa con la distribución de la luz en el espacio (falta de uniformidad) y el nivel de iluminación; las diferencias entre los sectores próximos a las ventanas, con mucha luz, y la disminución de la luz disponible en los

sectores más alejados de las ventanas hacen que el ocupante perciba problemas de contrastes y deslumbramiento cuando dirige la vista hacia los sectores más iluminados.

Para la percepción subjetiva de confort es importante el nivel de luz del ambiente, inclusive más que la luz recibida sobre el plano de trabajo. En el desarrollo habitual de las actividades escolares, las visuales de los ocupantes se mueven reiteradamente entre el plano de trabajo (pupitre o mesa) y el sector donde imparte clases el docente, cambiando permanentemente el foco visual; entonces, la distribución de la luz en todo el espacio y el nivel de la luz del ambiente resultan fundamentales para el confort visual.

Un aspecto importante también es la relación entre el nivel y distribución de la luz ambiente y la influencia de los colores (e índices de reflexión) de paredes y techos; los colores más claros y reflejantes aumentan la percepción subjetiva del espacio como más luminoso.

En este análisis fue necesario también traducir la percepción subjetiva expresada mediante una palabra en la encuesta a una variable que pueda ser incorporada en el procedimiento de diseño de la iluminación natural, y que pueda ser comparada con la medición objetiva del nivel de iluminación.

En el análisis se agruparon los términos que los encuestados mencionaron en función de que expresaran aspectos positivos o negativos en relación con la percepción de la “claridad (o luminosidad) ambiental” (determinada como variable en el capítulo 3):

Términos positivos – Confort Visual	Términos negativos – Disconfort visual
Luminoso Agradable Claro Parejo Uniforme Cálido Confortable Alegre Homogéneo Natural	Incómodo Oscuro Desparejo Frio Regular Sombrío Triste

Algunos de estos términos pueden ser directamente asociados a algunas de las variables presentadas en el capítulo 3:

Término	Variable
Luminoso Claro Oscuro Sombrío	Nivel general de iluminación
Parejo Uniforme Homogéneo Desparejo	Distribución de la luz en el espacio (uniformidad)

Otros no pueden ser trasladados directamente y tienen que ver con una sensación o percepción absolutamente subjetiva, como *cálido / frío, alegre / triste* aunque la lectura de esta percepción en relación con las preferencias permite interpretar que *cálido* y *alegre* tienen relación con la presencia de más luz en el espacio, mientras que *frío* y *triste* indican falta de confort y un nivel de luz insuficiente para las preferencias del sujeto encuestado. Y también tienen relación con las características de la envolvente arquitectónica: colores y texturas de paredes, pisos y techo del espacio.

Con respecto a las ventanas, a la pregunta sobre la importancia de su presencia y los motivos, las vistas y el contacto con el espacio exterior han sido aspectos muy bien valorados por los ocupantes; la necesidad de contar con la luz exterior aumenta su valoración cuando el requerimiento de vistas se percibe como satisfactorio.

A partir del análisis realizado se considera que estos aspectos subjetivos (y por lo tanto cualitativos) del confort visual relacionados con la luz natural pueden ser incorporados satisfactoriamente en el procedimiento para optimizar el diseño de la luz natural en el espacio si se incluyen en las variables *nivel general de iluminación y distribución de la luz en el espacio*.

Capítulo 5

Desarrollo y descripción de un procedimiento para optimizar condiciones de confort visual con luz natural en aulas de edificios educacionales.

En el planteo del problema y de la hipótesis principal de este trabajo se ha indicado que los aspectos cualitativos de la iluminación natural incluyen factores subjetivos que usualmente son difíciles de incorporar durante el proceso “convencional” de diseño, que comprende la propuesta del edificio como totalidad, en toda su complejidad, donde el diseño de la luz natural es uno más de los aspectos involucrados.

Durante el desarrollo del trabajo se identificaron las variables establecidas disciplinarmente y vinculadas con los aspectos subjetivos del confort visual, dividiéndolas en dos grupos: las vinculadas con las características del espacio edilicio y las relacionadas con aspectos individuales de cada ocupante. Estas últimas (problemas visuales, posturales, entre otras) dependen de cada sujeto y quedan fuera de las posibilidades de control del proyectista de la arquitectura.

Las vinculadas a las características del espacio arquitectónico son las que serán tomadas en cuenta en el desarrollo del procedimiento para optimizar el diseño de iluminación natural que se ha propuesto en el objetivo principal de este trabajo de tesis. Como se ha sintetizado en el análisis realizado en los capítulos 3 y 4, y en función al objetivo de diseño de un procedimiento que contemple variables subjetivas de confort visual, y teniendo en cuenta entonces que la disponibilidad de luz y el confort visual tienen relación directa con el diseño la envolvente del espacio arquitectónico, las variables involucradas son:

- *Nivel general de iluminación*: depende de la disponibilidad de luz exterior, la ubicación, forma y dimensiones de la abertura, su orientación y la presencia de elementos de protección solar que pueden disminuir la luz que llega al espacio.
- *Distribución de la luz en el espacio (uniformidad)*: depende de la geometría y dimensiones del espacio, de la ubicación, geometría y dimensiones de las aberturas, del tipo de abertura, de las características (color y textura) de las superficies interiores reflejantes y de la presencia de elementos para redireccionar la luz (estantes de luz, por ejemplo).

En la evaluación de las encuestas desarrolladas como parte de los casos de estudio, se identificaron aspectos que vinculan la sensación de confort visual individual del ocupante (subjetiva) con las características del espacio. Los problemas que se detectaron se relacionan con la distribución de la luz en el espacio (falta de uniformidad) y el nivel de iluminación. Como ya se ha mencionado, para la percepción subjetiva de confort es importante el nivel de luz del ambiente, inclusive más que la luz recibida sobre el plano de

trabajo; también es fundamental la relación entre el nivel y distribución de la luz ambiente y la influencia de los colores e índices de reflexión de paredes y techos: los colores claros y reflejantes aumentan la percepción subjetiva del espacio como más luminoso. El confort visual presenta una zona de óptima respuesta respecto al nivel de iluminancia, y se relaciona también con el promedio de luminancias de paredes y cielorrasos.

A partir del análisis realizado se considera que estos aspectos subjetivos (y por lo tanto cualitativos) del confort visual relacionados con la luz natural pueden ser incorporados satisfactoriamente en el método para optimizar el diseño de la luz natural en el espacio si se incluyen de manera directa en las variables *nivel general de iluminación* y *distribución de la luz en el espacio*. Las vistas al exterior también están incorporadas en los objetivos que se incluyen en el diseño de las aberturas.

Si bien las normativas indican determinados niveles de luminancia como valores mínimos a cumplimentar, con algunas indicaciones sobre los índices de reflexión aconsejados para paredes, piso y techos, estos valores han sido establecidos mediante índices fotométricos calibrados según respuestas subjetivas, en general asociados a iluminación artificial. La luz natural presenta el problema de su constante variabilidad en relación con las condiciones del clima y la trayectoria solar diaria en las distintas épocas del año; así, es imposible diseñar la iluminación de manera de obtener un valor de luminancia constante (medido en lúmenes), durante todo el período de ocupación del espacio. Sin embargo, el ojo humano tiene una gran adaptabilidad a estas variaciones; a menos que los niveles de luz sean muy bajos o excesivos, que o la variación no sea muy rápida en el tiempo, las condiciones de confort visual con luz natural son buenas.

Como también se ha mencionado en el capítulo 3, debido a estas variaciones y a los cambios de las condiciones de disponibilidad de luz proveniente de la bóveda celeste, se utiliza el Factor de Luz Diurna (FLD) para estimar la cantidad de luz sobre una superficie horizontal en un punto del plano de trabajo (*nivel de iluminación*), permitiendo evaluar la superficie mínima de aberturas para iluminación en situaciones críticas (días nublados en invierno).

El desarrollo de métodos de diseño y evaluación de luz natural responde a las condiciones de climas fríos, predominantemente nublados, donde la necesidad de optimizar el recurso lumínico es de vital importancia para la salud de los ocupantes y para mejorar la eficiencia energética de los edificios; en general, estos métodos también son aplicados en zonas con climas más soleados, y en muchos casos se utilizan variantes de cielos nubosos reales de diseño normalizadas por la CIE, y que presentan diferencias en los modelos matemáticos utilizados. A los fines de la propuesta del método de pre-dimensionado, se adopta un

modelo de cielo cubierto uniforme, dejando la elección del modelo definitivo para la etapa de verificación mediante simulaciones específicas del diseño proyectado.

El Factor de Luz Diurna indica la proporción de la luz exterior que llega al punto analizado en el interior del local y se utiliza como unidad de medida (coeficiente) para comparar niveles de iluminación en el interior de los edificios (métodos de cálculo, verificación, normas internacionales):

$$FLD (\%) = \frac{\text{Ilum. interior sobre sup. horizontal} * 100}{\text{Ilum. exterior sin obstáculos}}$$

Expresado en forma de una ecuación para su cálculo a partir del área de abertura y las condiciones de la envolvente del local:

$$FLD (\%) = \frac{W(m^2)}{A} \cdot \frac{T \alpha}{(1-R^2)}$$

Donde:

<i>FLD (%)</i> :	Factor de Luz Diurna
<i>W</i> :	Superficie de abertura (en m ²)
<i>A</i> :	Superficie de la envolvente del local (paredes incluyendo ventanas, pisos y cielorrasos, en m ²)
<i>T</i> :	Transmitancia del vidrio, incluyendo factor de corrección por suciedad (M)
<i>α</i> :	Angulo de cielo visible (en grados)
<i>R</i> :	Reflectancia promedio del área A

En las normativas sobre iluminación, el FLD indica el nivel de iluminación a cumplimentar en el espacio interior estudiado. La distribución en planta del FLD brinda una indicación de los niveles de luz interiores, aunque no indica confort, aspecto visual o contrastes. Como se ha mencionado en el capítulo 2, la Norma IRAM - AADL J20-04 de Iluminación natural escuelas señala como niveles mínimos un FLD del 2% para aulas generales y un 5 % para aulas especiales; con respecto al aspecto visual, valores inferiores al 1% indican un ambiente oscuro, mientras que si el FLD supera el 5 % aparece el riesgo de sobrecalentamiento por posible exceso de radiación, aunque fuera difusa. Sin embargo, aún con estas limitaciones, el FLD puede ser utilizado para estimar o pre-dimensionar la superficie de abertura necesaria para obtener un buen nivel de iluminación.

A partir de esta premisa, y teniendo en cuenta que las normativas estipulan ciertos valores límite para el FLD, se propone incorporar este factor para el pre-dimensionado de la superficie de abertura para captación de la luz natural, determinando la superficie de vidrio

para asegurar un adecuado nivel de iluminación natural, en relación con la disponibilidad de luz solar y el clima.

Entonces, en relación con las 2 variables involucradas en la optimización de la calidad de la iluminación y el confort visual, los pasos a cumplimentar son: determinar la superficie de abertura necesaria para obtener un adecuado *nivel general de iluminación*, y determinar la forma y dimensiones de la abertura en relación con las características físicas del espacio para mejorar la *distribución de la luz en el ambiente*.

Despejando a partir de la ecuación de cálculo del FLD:

$$W = [FLD \% * A * (1 - R^2)] / [\alpha * T * M]$$

Esta ecuación será el eje de desarrollo del procedimiento para el pre-dimensionado de la abertura; a continuación se verificará la influencia de cada variable involucrada en esta ecuación. La superficie de abertura es el dato a obtener, lo que es necesario pre-dimensionar en relación con la necesidad de obtener un determinado FLD en una cierta proporción del aula, y que definirá entonces la superficie de la ventana. Con respecto a otras variables, se analizará cuáles son las opciones más favorables para obtener un buen nivel de iluminación natural y confort visual, y se determinará también cuáles tienen mayor influencia en la calidad de la iluminación resultante.

Las variables que afectan directamente el dimensionado de la superficies de abertura, son A (superficie de envolvente), R (reflectividad promedio de A) y α (ángulo de cielo visible, la componente celeste de la luz natural). Los factores de transparencia T y de mantenimiento M pueden mantenerse constantes. A y α cambian en función a la ubicación del punto de referencia analizado sobre el plano de trabajo dentro del espacio

El ángulo de cielo visible α indica la disponibilidad de luz; si se resuelven adecuadamente A y R en relación con la proporción geométrica del espacio, se podrán obtener óptimas condiciones desde el punto de vista de la iluminación natural, considerando nivel de iluminación y distribución de la luz.

Para desarrollar el análisis, se tomarán como referencia las indicaciones de los Criterios y Normativa Base de Arquitectura Escolar, código rector que regula la producción de arquitectura educacional en la Argentina.

A los efectos del diseño del procedimiento y para analizar la influencia de las variables arquitectónicas, se tomará un aula de referencia determinada según las indicaciones del mencionado código. Las características del aula de referencia son:

- *Altura mínima*: 3 metros. Una variación razonable de la altura piso/techo, tomando en cuenta la arquitectura escolar de producción reciente en el país, es considerar de 3 a 4 metros de altura; esta será la variación de referencia en el análisis.
- *Superficie*: 1,50 m² por alumno, con una ocupación aconsejada de 30 alumnos, resultando una superficie de aula de 45 m².
- El lado mayor no superará 1,5 veces el lado menor.
- Se considera que el plano de trabajo se encuentra a una altura de 0.75 metros
- Se toman como referencia las alturas piso/techo cada 0.5 metros: 3, 3.5 y 4 metros; en función de estas alturas se consideran como alturas de dintel de aberturas 2.5, 3 y 3.5 metros.

Teniendo en cuenta las posibles opciones para ubicar las aberturas, quedan definidos los siguientes tipos de aulas de referencia:

- Aula cuadrada
- Aula rectangular con abertura en el lado mayor
- Aula rectangular con abertura en el lado menor

Además, en los tipos de aula rectangular se considerará la progresión proporcional entre lados hasta llegar al máximo admitido de 1,5.

Quedan fuera del análisis las opciones de aventanamiento bilateral y la combinación con iluminación cenital; estos casos son menos comunes en el diseño de edificios educacionales. Por otra parte, se contempla la posibilidad de, una vez elaborado el procedimiento, adaptarlo a estas variantes de diseño.

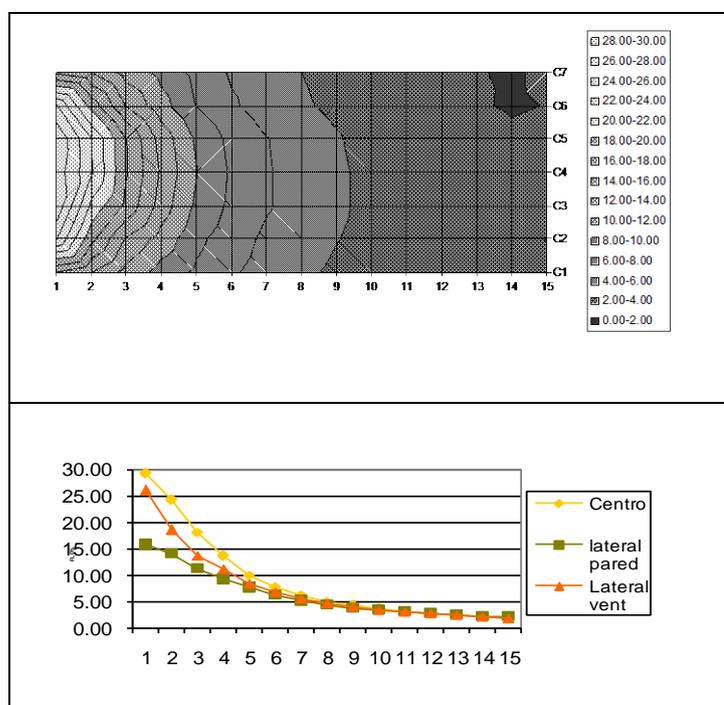
Análisis de la influencia de las variables involucradas en el dimensionado de la superficie de aberturas para optimizar condiciones de iluminación natural.

Factor de Luz Diurna (FLD)

El Factor de Luz diurna será utilizado para determinar la superficie de las aberturas. Como se ha mencionado en el capítulo 2, el FLD % es el parámetro utilizado para indicar la cantidad de luz diurna en el interior de los espacios y la eficiencia del diseño de la iluminación natural.

El FLD es válido para condiciones de cielo cubierto, siendo entonces independiente de los efectos de la orientación y la posición relativa del sol. Los requerimientos respecto a los valores del FLD % están estipulados en las normativas: debe variar entre el 2 % y el 5 %, teniendo en cuenta que un valor del 2% puede requerir de iluminación artificial complementaria según las condiciones de cielo exterior.

Se considera el FLD como referencia debido a la variabilidad de la luz natural disponible en función del clima, época del año y hora del día. En función de las condiciones exteriores, ese valor de FLD implica cierto nivel de iluminancia, expresada en lux, con una cierta distribución de luz en el espacio interior; a mayor distancia de la ventana disminuye el nivel de iluminación. Los índices de reflexión de paredes y techos pueden mejorar ligeramente el nivel de luz interior resultante.



Distribución en planta y corte del FLD en un espacio rectangular. El primer tercio del local presenta los valores más altos, disminuyendo rápidamente hasta mantenerse estable con un valor mínimo en el último tercio del local.

Si se toma como dato de diseño la indicación de la Norma IRAM-AADL 20-02 (1969), que contempla las condiciones más desfavorables desde el punto de vista de la disponibilidad de luz, con cielo nublado, la luminancia exterior de diseño en latitudes entre 30° y 55° es de 5000 lux. Estas condiciones cambian si varía la cobertura nubosa del cielo; con un cielo claro soleado, los valores para 34° Sur (Buenos Aires) pueden superar los 20.000 lux en invierno, promedio entre las 8 y las 16 hs (mediciones realizadas por el CIHE-FADU). En términos del nivel de iluminación resultante la variación puede ser:

Cielo Nublado, valor medio (Evans, AAVV, 2001, Cap. 5, Tabla 2)

Latitud	Promedio 8 a 16 hs	FLD 2% (lux)	FLD 5% (lux)	Promedio 10 a 14 hs	FLD 2% (lux)	FLD 5% (lux)
30°	7500	150	375	12500	250	625
34°	4000	80	200	12000	240	600
38°	1000	20	50	11500	230	575

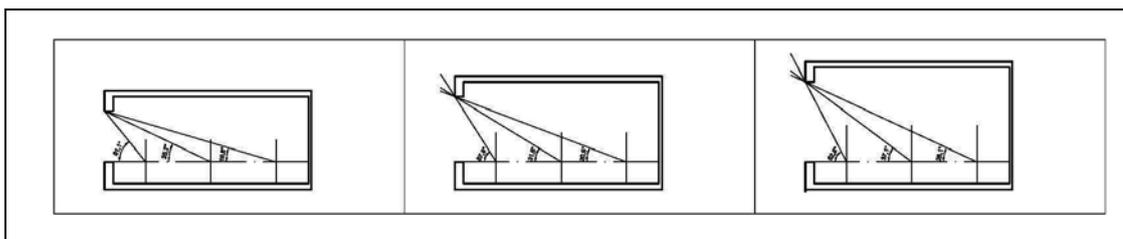
Como se puede ver, según las condiciones exteriores un mismo FLD % implica niveles de iluminación distintos, que en muchos casos no cumple con los valores absolutos estipulados en las normativas (500 lux), aunque también se ha mencionado que para condiciones de luz natural estos valores límite deben ser más flexibles, sobre todo cuando están asociados a condiciones de diseño del espacio que favorecen el confort visual.

Desde el punto de vista del procedimiento propuesto, los valores de las variables incluidas en el gráfico de pre-dimensionado pueden variar según las condiciones de cielo predominante en las distintas regiones climáticas del país; a efectos del análisis y la descripción de la propuesta, se tomarán como referencia las condiciones para Buenos Aires y sus alrededores (latitud 34°).

Angulo de cielo visible (α)

El *ángulo de cielo visible* (α) indica la componente celeste de la luz recibida, el ángulo de cielo que se puede ver desde el punto del plano de trabajo analizado a través de la abertura. El FLD es directamente proporcional a la cantidad de cielo visible desde dicho punto.

A los fines de la propuesta del procedimiento de predimensionado, se relaciona el ángulo de cielo visible con la tipología de aula, superponiendo para el análisis el esquema de los ángulos sobre los cortes de las aulas en el sentido de la abertura, y dividiendo el espacio en 3 sectores para el análisis del FLD. Los valores numéricos (en grados) de los ángulos se ingresaron en una planilla de cálculo en el programa EXCEL para ser utilizados posteriormente en el cálculo de las superficies de vidrio.



Ángulos de cielo visible

Relación de lados	Altura dintel : 2,50m			Altura dintel : 3,00m			Altura dintel : 3,50m		
	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6
1 : 1,5	56,4	30,3	19,9	62,7	36,9	25,0	67,1	42,5	29,7
1 : 1,4	54,6	29,2	19,2	61,1	35,7	24,2	65,7	41,3	28,8
1 : 1,3	53,9	28,4	18,6	60,4	34,8	23,4	65,1	40,4	27,9
1 : 1,25	53,5	28,0	18,3	60,0	34,4	23,1	64,7	39,9	27,5
1 : 1,2	53,0	27,5	18,0	59,6	33,8	22,7	64,4	39,4	27,0
1 : 1,1	52,2	26,6	17,3	58,8	32,8	21,8	63,6	38,2	26,1
1 : 1	51,1	25,7	16,6	57,8	31,6	20,9	62,8	37,1	25,1
1,1 : 1	49,7	24,6	15,9	56,9	30,6	20,1	61,9	35,8	24,1
1,2 : 1	49,0	23,8	15,3	55,9	29,6	19,4	61,0	34,7	23,2
1,25 : 1	48,5	23,4	15,0	55,5	29,1	19,0	60,6	34,2	22,8
1,3 : 1	48,1	23,1	14,7	55,1	28,6	18,7	60,3	33,8	22,4
1,4 : 1	47,3	22,3	14,2	54,3	27,9	18,1	59,5	32,9	21,7
1,5 : 1	45,3	21,4	13,7	53,4	27,1	17,5	58,8	32,0	21,1

Grafico del esquema de análisis: corte con los puntos y sectores correspondientes en la planilla EXCEL

La calidad de la iluminación y el ángulo de cielo visible tienen relación también con la presencia de obstáculos externos a las aberturas (árboles, edificios vecinos) que reducen la disponibilidad de luz natural. La densidad del entorno urbano también afecta la cantidad de luz disponible: según la altura angular de los obstáculos, la calidad de iluminación factible de obtener es (Evans, AAVV, 2001, Cap. 5, Tabla 2):

Nivel de Iluminación natural	Ángulo de Iluminación	Ángulo de Iluminación corte esquemático
Buena	20°	
Normal	30°	
Reducida	35°	
Mínima	40°	
Mínima para zonas de circulación	50°	

A mayor altura de obstáculos, menor luz disponible. En el caso de árboles u otro elemento verde, la situación es más flexible, ya que puede tratarse de árboles de hojas caducas que pierden follaje en la época invernal, cuando la luz disponible es menor, o bien puede sugerirse la poda de manera de mejorar las condiciones de acceso a la luz solar.

Cuando el entorno es predominantemente construido, la disponibilidad de luz tiene relación directa con la densidad urbana. Teniendo en cuenta que las condiciones del entorno cambian según el proyecto y el procedimiento de pre-dimensionado es una herramienta en el proceso de diseño, se puede simplificar la tabla anterior para facilitar la aplicación en el caso de aulas, relacionándola con la densidad del entorno urbano:

Densidad urbana	Nivel de Iluminación natural	Angulo de Iluminación
Baja – Espacio rural	Bueno	≤ 20°
Media	Normal	Hasta 30°
Alta	Reducido	> 30°

Tabla: ángulos según densidad urbana.

Utilizando la planilla EXCEL se analizaron los ángulos resultantes para alturas de dintel de 2.50, 3 y 3.5 metros (en relación con las alturas de referencia de 3, 3.50 y 4 metros de los locales), determinando en qué casos se superaban los ángulos límite indicados en la tabla de ángulos según densidad urbana, para verificar en qué sectores del aula se pueden obtener buenos niveles de luz natural según las condiciones del entorno:

Ángulos de cielo visible

Relación de lados	Altura dintel : 2,50m			Altura dintel : 3,00m			Altura dintel : 3,50m		
	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6
1 : 1,5	56,4	30,3	19,9	62,7	36,9	25,0	67,1	42,5	29,7
1 : 1,4	54,6	29,2	19,2	61,1	35,7	24,2	65,7	41,3	28,8
1 : 1,3	53,9	28,4	18,6	60,4	34,8	23,4	65,1	40,4	27,9
1 : 1,25	53,5	28,0	18,3	60,0	34,4	23,1	64,7	39,9	27,5
1 : 1,2	53,0	27,5	18,0	59,6	33,8	22,7	64,4	39,4	27,0
1 : 1,1	52,2	26,6	17,3	58,8	32,8	21,8	63,6	38,2	26,1
1 : 1	51,1	25,7	16,6	57,8	31,6	20,9	62,8	37,1	25,1
1,1 : 1	49,7	24,6	15,9	56,9	30,6	20,1	61,9	35,8	24,1
1,2 : 1	49,0	23,8	15,3	55,9	29,6	19,4	61,0	34,7	23,2
1,25 : 1	48,5	23,4	15,0	55,5	29,1	19,0	60,6	34,2	22,8
1,3 : 1	48,1	23,1	14,7	55,1	28,6	18,7	60,3	33,8	22,4
1,4 : 1	47,3	22,3	14,2	54,3	27,9	18,1	59,5	32,9	21,7
1,5 : 1	45,3	21,4	13,7	53,4	27,1	17,5	58,8	32,0	21,1

Tabla: ejemplo planilla Excel – Ángulos de cielo visible según proporciones del local y altura de dintel, sin obstáculos frente a la abertura. Se indican en la tabla los casos en que los ángulos son menores de 20°.

La componente reflejada externa (CRE), es decir, la luz que llega al espacio reflejada por los obstáculos exteriores, puede ser estimada calculando la componente de cielo equivalente, oscurecida por la obstrucción vista desde la ventana y dividiéndola por 5, equivalente al 20% indicado como valor de reflexión promedio del entorno. Para analizar la influencia de distintas alturas de obstáculos, se tomaron 3 situaciones: edificación de 1, 2 y 3 niveles, situadas frente a la abertura, a una distancia de 10m; estos valores simulan posibles condiciones de bloques edificios frente a las ventanas en casos desfavorables, como una calle angosta o un patio interior pequeño.

ANGULOS DE CIELO

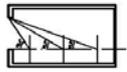
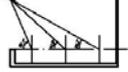
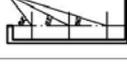
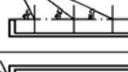
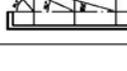
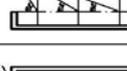
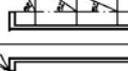
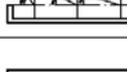
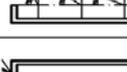
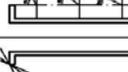
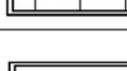
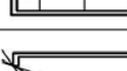
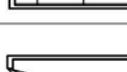
Superficie Aula : 45m ² Plano de trabajo: 0.75m			
Relación lados	Altura de dintel		
	2.50m	3.00m	3.50m
1 : 1,5			
1 : 1,4			
1 : 1,3			
1 : 1,25			
1 : 1,2			
1 : 1,1			
1 : 1			
1,1 : 1			
1,2 : 1			
1,25 : 1			
1,3 : 1			
1,4 : 1			
1,5 : 1			

Tabla: Esquema de ángulos de cielo visible sin obstrucciones.

ANGULOS DE OBSTRUCCION

Inclinación del suelo	Superficie Ancha : 40m x 20m		Plano de trabajo: 0.70m	
	45°	60°	27°	30°
	0,10m a 10m de distancia	0,20m a 10m de distancia	0,20m a 10m de distancia	0,20m a 10m de distancia
1:1,5				
1:1,4				
1:1,3				
1:1,25				
1:1,2				
1:1,15				
1:1,1				
1:1,05				
1,0:1				
1,25:1				
1,5:1				
2:1				
3:1				
4:1				
5:1				
1,5:1				

Tabla: Esquema de ángulos de cielo visible con obstáculos de 1, 2 y 3 niveles.

Área de Superficies Interiores (A)

El área de las superficies interiores (A) indica la influencia en las condiciones de iluminación de las características de la envolvente del local (paredes y cielorraso) y tiene relación directa con el índice de reflexión de la luz de dichas superficies.

Para proponer el procedimiento de pre-dimensionado, se analizó la influencia de A según las proporciones del aula de referencia, que determinan el valor de R promedio y las variantes tipológicas a partir de las cuales se dimensionarán las aberturas.

Altura 3m Cantidad de Alumnos <input type="text" value="30,00"/> a Superficie por alumno <input type="text" value="1,50"/> m ² /a Superficie Aula <input type="text" value="45,00"/> m ² Altura <input type="text" value="3,00"/> m	Según cálculo			Según cálculo						
	Relación	Lado menor	Lado mayor	Sup lado menor		Sup lado mayor		Envolvente	Relación	a FLD Cte
	LM/lm	m	m	m ²	%	m ²	%	m ²	Env /sup	%
	1,00	6,71	6,71	20,12	0,00	20,12	0,00	170,50	3,789	0,00
	1,10	6,40	7,04	19,19	-4,65	21,11	4,88	170,59	3,791	0,05
	1,20	6,12	7,35	18,37	-8,71	22,05	9,54	170,83	3,796	0,20
	1,25	6,00	7,50	18,00	-10,56	22,50	11,80	171,00	3,800	0,29
	1,30	5,88	7,65	17,65	-12,29	22,95	14,02	171,19	3,804	0,41
	1,40	5,67	7,94	17,01	-15,48	23,81	18,32	171,64	3,814	0,67
	1,50	5,48	8,22	16,43	-18,35	24,65	22,47	172,16	3,826	0,97
Altura 3.5m Cantidad de Alumnos <input type="text" value="30,00"/> a Superficie por alumno <input type="text" value="1,50"/> m ² /a Superficie Aula <input type="text" value="45,00"/> m ² Altura <input type="text" value="3,50"/> m	Según cálculo			Según cálculo						
	Relación	Lado menor	Lado mayor	Sup lado menor		Sup lado mayor		Envolvente	Relación	a FLD Cte
	LM/lm	m	m	m ²	%	m ²	%	m ²	Env /sup	%
	1,00	6,71	6,71	23,48	0,00	23,48	0,00	183,91	4,09	0,00
	1,10	6,40	7,04	22,39	-4,65	24,62	4,88	184,02	4,09	0,06
	1,20	6,12	7,35	21,43	-8,71	25,72	9,54	184,31	4,10	0,21
	1,25	6,00	7,50	21,00	-10,56	26,25	11,80	184,50	4,10	0,32
	1,30	5,88	7,65	20,59	-12,29	26,77	14,02	184,72	4,10	0,44
	1,40	5,67	7,94	19,84	-15,48	27,78	18,32	185,25	4,12	0,72
	1,50	5,48	8,22	19,17	-18,35	28,76	22,47	185,85	4,13	1,05
Altura 4m Cantidad de Alumnos <input type="text" value="30,00"/> a Superficie por alumno <input type="text" value="1,50"/> m ² /a Superficie Aula <input type="text" value="45,00"/> m ² Altura <input type="text" value="4,00"/> m	Según cálculo			Según cálculo						
	Relación	Lado menor	Lado mayor	Sup lado menor		Sup lado mayor		Envolvente	Relación	a FLD Cte
	LM/lm	m	m	m ²	%	m ²	%	m ²	Env /sup	%
	1,00	6,71	6,71	26,83	0,00	26,83	0,00	197,33	4,39	0,00
	1,10	6,40	7,04	25,58	-4,65	28,14	4,88	197,45	4,39	0,06
	1,20	6,12	7,35	24,49	-8,71	29,39	9,54	197,78	4,40	0,23
	1,25	6,00	7,50	24,00	-10,56	30,00	11,80	198,00	4,40	0,34
	1,30	5,88	7,65	23,53	-12,29	30,59	14,02	198,26	4,41	0,47
	1,40	5,67	7,94	22,68	-15,48	31,75	18,32	198,85	4,42	0,77
	1,50	5,48	8,22	21,91	-18,35	32,86	22,47	199,54	4,43	1,12

Ejemplo planilla EXCEL – Cálculo de la influencia del área de superficies interiores según relación proporcional lado mayor/lado menor, para aula de 45 m² con 3.5 m de altura.

Reflectividad promedio (R)

Las condiciones de reflectividad de la envolvente del espacio afectan directamente tanto la disponibilidad de luz como su distribución en el ambiente (determinan la denominada Componente de Reflexión Interna – CRI). Normativamente se considera como situación estándar una reflectividad alta para cielorrasos (0.7), media para paredes (0.5) y baja para los pisos (0.2); algunas normas indican directamente como condiciones de cálculo promedios de 0.5 para espacios con paredes claras y 0.3 para paredes oscuras.

Los índices de reflexión de los materiales utilizados comúnmente en las terminaciones de aulas son:

Ubicación	Ejemplos de materiales	Factores de reflexión
Cielorrasos / Techos	Pintura blanca s/ yeso liso Pintura color crema Pintura gris clara	80 % 60 % 50 %
Paredes	Pintura blanca Pintura blanca- esmalte Pintura color crema Azul claro /medio /oscuro Verde claro /medio /oscuro	80 % 85 % 70 % 60 % / 25 % / 15 % 60 % / 30 % / 25 %
Pisos	Cerámica roja, madera osc. Cerámica roja común Cerámica roja clara, madera Cemento, baldosa clara	10 % 20 % 60 % 50 %

Normalmente, se considera que la reflectividad es alta cuando los valores superan el 70 %, media entre 40 y 70 % y baja por debajo del 40 %.

En las aulas es importante asegurar óptimas condiciones de iluminación natural; como se ha expuesto en el análisis realizado en los capítulos 3 y 4, con este fin es fundamental la elección de las condiciones de reflectividad de la envolvente para optimizar la distribución de la luz natural y favorecer el confort visual. Respecto a esta variable, las opciones son:

- los *pisos* normalmente presentan valores de reflectividad bajos a medios, descartándose la opción reflectividad alta.
- el *cielorraso* es un componente fundamental para optimizar la luz natural, redireccionando el rayo de luz desde la ventana hacia el interior; entonces es conveniente que el índice de reflexión sea siempre alto.
- en las *paredes* es conveniente que la reflectividad sea media o alta, para aumentar la luminosidad del ambiente que, como se ha mencionado en las conclusiones de las encuestas, favorece la percepción positiva del ocupante respecto al confort visual.

Teniendo en cuenta estos criterios, las combinaciones posibles aconsejadas son (las casillas en color gris indican las opciones contempladas):

Componente	Índice de Reflexión		
	Alto	Medio	Bajo
Cielorraso			
Pared			
Piso			

Entonces, las cuatro combinaciones aconsejadas para optimizar la re-distribución de la luz son:

- 1- Cielorraso IR Alto, Pared IR Alto, Piso IR Medio
- 2- Cielorraso IR Alto, Pared IR Medio, Piso IR Medio
- 3- Cielorraso IR Alto, Pared IR Alto, Piso IR Bajo
- 4- Cielorraso IR Alto, Pared IR Medio, Piso IR Bajo

Definiendo tipos en función de los valores promedio de índices de reflectividad (%) en relación con la superficie de envolvente interna A:

Cielorraso	Paredes	Piso	Tipo
80	70	40	1
80	60	40	2
80	70	20	3
80	60	20	4

Altura 3m

Cantidad de Alumnos	30,00 a
Superficie por alumno	1,50 m ² /a
Superficie Aula	45,00 m ²
Altura	3,00 m

Tipo 1				Tipo 2				Tipo 3				Tipo 4			
Cielorraso 80 %	Laterales 70 %	Piso 40 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 60 %	Piso 40 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 70 %	Piso 20 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 60 %	Piso 20 %	Promedio %
36,00	56,35	18,00	64,72	36,00	48,30	18,00	60,00	36,00	56,35	9,00	59,44	36,00	48,30	9,00	54,72
36,00	56,41	18,00	64,72	36,00	48,35	18,00	60,00	36,00	56,41	9,00	59,45	36,00	48,35	9,00	54,72
36,00	56,58	18,00	64,73	36,00	48,50	18,00	60,00	36,00	56,58	9,00	59,46	36,00	48,50	9,00	54,73
36,00	56,70	18,00	64,74	36,00	48,60	18,00	60,00	36,00	56,70	9,00	59,47	36,00	48,60	9,00	54,74
36,00	56,83	18,00	64,74	36,00	48,72	18,00	60,00	36,00	56,83	9,00	59,49	36,00	48,72	9,00	54,74
36,00	57,15	18,00	64,76	36,00	48,98	18,00	60,00	36,00	57,15	9,00	59,51	36,00	48,98	9,00	54,76
36,00	57,51	18,00	64,77	36,00	49,30	18,00	60,00	36,00	57,51	9,00	59,54	36,00	49,30	9,00	54,77

Altura 3.5m

Cantidad de Alumnos	30,00 a
Superficie por alumno	1,50 m ² /a
Superficie Aula	45,00 m ²
Altura	3,50 m

Tipo 1				Tipo 2				Tipo 3				Tipo 4			
Cielorraso 80 %	Laterales 70 %	Piso 40 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 60 %	Piso 40 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 70 %	Piso 20 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 60 %	Piso 20 %	Promedio %
36,00	65,74	18,00	65,11	36,00	56,35	18,00	60,00	36,00	65,74	9,00	60,21	36,00	56,35	9,00	55,11
36,00	65,82	18,00	65,11	36,00	56,41	18,00	60,00	36,00	65,82	9,00	60,22	36,00	56,41	9,00	55,11
36,00	66,01	18,00	65,12	36,00	56,58	18,00	60,00	36,00	66,01	9,00	60,23	36,00	56,58	9,00	55,12
36,00	66,15	18,00	65,12	36,00	56,70	18,00	60,00	36,00	66,15	9,00	60,24	36,00	56,70	9,00	55,12
36,00	66,31	18,00	65,13	36,00	56,83	18,00	60,00	36,00	66,31	9,00	60,26	36,00	56,83	9,00	55,13
36,00	66,67	18,00	65,14	36,00	57,15	18,00	60,00	36,00	66,67	9,00	60,28	36,00	57,15	9,00	55,14
36,00	67,10	18,00	65,16	36,00	57,51	18,00	60,00	36,00	67,10	9,00	60,31	36,00	57,51	9,00	55,16

Altura 4m

Cantidad de Alumnos	30,00 a
Superficie por alumno	1,50 m ² /a
Superficie Aula	45,00 m ²
Altura	4,00 m

Tipo 1				Tipo 2				Tipo 3				Tipo 4			
Cielorraso 80 %	Laterales 70 %	Piso 40 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 60 %	Piso 40 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 70 %	Piso 20 %	Promedio %	Cielorraso 80 %	Laterales 60 %	Piso 20 %	Promedio %
36,00	75,13	18,00	65,44	36,00	64,40	18,00	60,00	36,00	75,13	9,00	60,88	36,00	64,40	9,00	55,44
36,00	75,22	18,00	65,44	36,00	64,47	18,00	60,00	36,00	75,22	9,00	60,88	36,00	64,47	9,00	55,44
36,00	75,44	18,00	65,45	36,00	64,67	18,00	60,00	36,00	75,44	9,00	60,90	36,00	64,67	9,00	55,45
36,00	75,60	18,00	65,45	36,00	64,80	18,00	60,00	36,00	75,60	9,00	60,91	36,00	64,80	9,00	55,45
36,00	75,78	18,00	65,46	36,00	64,95	18,00	60,00	36,00	75,78	9,00	60,92	36,00	64,95	9,00	55,46
36,00	76,20	18,00	65,47	36,00	65,31	18,00	60,00	36,00	76,20	9,00	60,95	36,00	65,31	9,00	55,47
36,00	76,68	18,00	65,49	36,00	65,73	18,00	60,00	36,00	76,68	9,00	60,98	36,00	65,73	9,00	55,49

Valores síntesis de cálculo de R promedio según altura del local:

Altura de Local	Tipo			
	1	2	3	4
3,00	64,8	60,0	59,5	54,8
3,50	65,2	60,0	59,5	55,2
4,00	65,5	60,0	61,0	55,5

En este caso, los resultados del análisis de los datos procesados en las planillas EXCEL muestran que la diferencia en los valores de superficie de aberturas resultantes en los tipos 2 y 3 (valores de R promedio similares) es inferior al 2%; por lo tanto se toma como referencia el valor del 60 % en la propuesta final, para simplificar la graficación definitiva.

Factores de corrección

- *Transmitancia de vidrios (T)*: indica el porcentaje de luz que atraviesa el vidrio. En este caso se toma como referencia el vidrio laminado, ya que según las normativas de seguridad para escuelas ya no se puede utilizar vidrio común, debiendo ser reemplazado por dicho tipo de vidrio. La transmitancia de este tipo de vidrio es del 90 %, resultando un coeficiente aplicable de 0.90 (Evans, AAVV, 2001, Cap. 5, Tabla 4)

- El *factor de Mantenimiento (M)* contempla la disminución de la captación de luz por efecto de las condiciones de suciedad del vidrio; cambia según su inclinación y grado de acumulación de suciedad. En este caso, se asume para el cálculo que el vidrio se encuentra en posición vertical, bajo condiciones usuales de limpieza en este tipo de edificios: vidrio vertical, medianamente limpio, $M= 0.9$ (Bell & Burt, 1995).

Los datos de T y M se asumen entonces como constantes a efectos del cálculo y análisis.

Cálculo de superficies de aberturas según FLD, proporción geométrica del local, A y R.

Para poder desarrollar el cálculo de la superficie de aberturas en función del FLD, se utilizó una planilla elaborada en el programa EXCEL para poder volcar los valores resultantes de las variables involucradas. Ingresando condiciones de FLD requerido, reflectancia promedio (R), y los coeficientes de transparencia T y mantenimiento M, se obtienen los valores de superficies de vidrio según proporción geométrica del local en relación con la ubicación de la abertura, altura del local y ángulo de cielo visible:

Superficies de vidrio =	Relación de lados P : A	Envolvente Interior (A) H = 3.00m	Ángulos de cielo visible Altura dintel : 2.50m			Superficie de vidrio			Superficie de vidrio máxima				
			1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	Ancho m	Sup			
			FLD entre 2 y 5 % = 2	Reflectancia (R) = 0,65	Transparencia (T) = 0,9	Mantenimiento (M) = 0,9	1 : 1,5	172,16	56,4	30,3	19,9	4,37	8,14
				1 : 1,4	171,64	54,6	29,2	19,2	4,51	8,42	12,81	7,94	13,89
				1 : 1,3	171,19	53,9	28,4	18,6	4,55	8,64	13,19	7,65	13,38
				1 : 1,25	171,00	53,5	28,0	18,3	4,58	8,75	13,39	7,65	13,38
				1 : 1,2	170,83	53,0	27,5	18,0	4,62	8,90	13,60	7,35	12,86
				1 : 1,1	170,59	52,2	26,6	17,3	4,68	9,19	14,13	7,04	12,31
				1 : 1	170,50	51,1	25,7	16,6	4,78	9,51	14,72	6,71	11,74
				1,1 : 1	170,59	49,7	24,6	15,9	4,92	9,94	15,38	6,40	11,19
				1,2 : 1	170,83	49,0	23,8	15,3	5,00	10,29	16,00	6,12	10,72
				1,25 : 1	171,00	48,5	23,4	15,0	5,05	10,47	16,34	6,12	10,72
				1,3 : 1	171,19	48,1	23,1	14,7	5,10	10,62	16,69	5,88	10,30
				1,4 : 1	171,64	47,3	22,3	14,2	5,20	11,03	17,32	5,67	9,92
				1,5 : 1	172,16	45,3	21,4	13,7	5,45	11,53	18,01	5,48	9,59

Relación de lados P : A	Envolvente Interior (A) H = 3.50m	Ángulos de cielo visible Altura dintel : 3.00m			Superficie de vidrio			Superficie de vidrio máxima	
		1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	Ancho m	Sup
		1 : 1,5	185,85	62,7	36,9	25,0	4,25	7,22	10,65
1 : 1,4	185,25	61,1	35,7	24,2	4,35	7,44	10,97	7,94	17,86
1 : 1,3	184,72	60,4	34,8	23,4	4,38	7,61	11,31	7,65	17,21
1 : 1,25	184,50	60,0	34,4	23,1	4,41	7,69	11,45	7,65	17,21
1 : 1,2	184,31	59,6	33,8	22,7	4,43	7,82	11,64	7,35	16,53
1 : 1,1	184,02	58,8	32,8	21,8	4,49	8,04	12,10	7,04	15,83
1 : 1	183,91	57,8	31,6	20,9	4,56	8,34	12,61	6,71	15,09
1,1 : 1	184,02	56,9	30,6	20,1	4,64	8,62	13,12	6,40	14,39
1,2 : 1	184,31	55,9	29,6	19,4	4,73	8,92	13,62	6,12	13,78
1,25 : 1	184,50	55,5	29,1	19,0	4,76	9,09	13,92	6,12	13,78
1,3 : 1	184,72	55,1	28,6	18,7	4,80	9,26	14,16	5,88	13,24
1,4 : 1	185,25	54,3	27,9	18,1	4,89	9,52	14,67	5,67	12,76
1,5 : 1	185,85	53,4	27,1	17,5	4,99	9,83	15,22	5,48	12,32

Relación de lados P : A	Envolvente Interior (A) H = 4.00m	Ángulos de cielo visible Altura dintel : 3.50m			Superficie de vidrio			Superficie de vidrio máxima	
		1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	Ancho m	Sup
		1 : 1,5	199,54	67,1	42,5	29,7	4,26	6,73	9,63
1 : 1,4	198,85	65,7	41,3	28,8	4,34	6,90	9,90	7,94	21,83
1 : 1,3	198,26	65,1	40,4	27,9	4,36	7,03	10,18	7,65	21,03
1 : 1,25	198,00	64,7	39,9	27,5	4,39	7,11	10,32	7,65	21,03
1 : 1,2	197,78	64,4	39,4	27,0	4,40	7,19	10,50	7,35	20,21
1 : 1,1	197,45	63,6	38,2	26,1	4,45	7,41	10,84	7,04	19,35
1 : 1	197,33	62,8	37,1	25,1	4,50	7,62	11,27	6,71	18,45
1,1 : 1	197,45	61,9	35,8	24,1	4,57	7,90	11,74	6,40	17,59
1,2 : 1	197,78	61,0	34,7	23,2	4,65	8,17	12,22	6,12	16,84
1,25 : 1	198,00	60,6	34,2	22,8	4,68	8,30	12,45	6,12	16,84
1,3 : 1	198,26	60,3	33,8	22,4	4,71	8,41	12,69	5,88	16,18
1,4 : 1	198,85	59,5	32,9	21,7	4,79	8,66	13,13	5,67	15,59
1,5 : 1	199,54	58,8	32,0	21,1	4,86	8,94	13,55	5,48	15,06

Tabla: resultados de planilla EXCEL para el cálculo de superficies de vidrio, según altura de local y de dintel, sin obstrucciones. Se indican en la tabla los casos en que las superficies de vidrio necesarias para obtener un determinado FLD % superan la superficie máxima posible de diseño según configuración geométrica del local.

Se procedió de igual modo para los casos de ángulos de cielo con obstrucciones externas, obteniéndose las superficies de aberturas correspondientes. Los sectores marcados en las tablas indican los casos en que la superficie calculada supera la superficie máxima posible de abertura según características geométricas del aula y superficie de pared al exterior.

Se calcularon entonces las superficies de aberturas correspondientes a valores de FLD de 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 en los sectores medios del aula para verificar la relación con las superficies máximas posibles según geometría del local; luego, en función de las superficies resultantes, se re-calcularon los valores de FLD que se obtienen en la totalidad del espacio con la superficie de abertura calculada para verificar la distribución de luz en el aula. Se excluyeron del análisis valores de FLD de cálculo superiores a 3 debido a que resultan

prácticamente imposibles de obtener con configuraciones comunes de aulas; además, en función al análisis realizado en los casos de estudio, valores de FLD cercanos a 2 resultan confortables, mientras que valores superiores en los sectores medios del aula implican valores muy altos, superiores al máximo de 5 cerca de las aberturas, con la consecuente necesidad de reducir el ingreso de luz para evitar problemas de deslumbramiento y contraste.

FLD

Transparencia (T) =	0,9
Mantenimiento (M) =	0,9
Reflectancia (R) =	0,60

FLD Máximo según configuración

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H = 3.00m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel: 2.50m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel: 2.50m			FLD			Relación entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1:1,5	172,16	8,22	14,38	56,4	30,3	19,9	0,0	0,0	0,0	5,96	3,20	2,10	3,86
1:1,4	171,64	7,94	13,89	54,6	29,2	19,2	0,0	0,0	0,0	5,59	2,99	1,97	3,63
1:1,3	171,19	7,65	13,38	53,9	28,4	18,6	0,0	0,0	0,0	5,33	2,81	1,84	3,49
1:1,25	171,00	7,65	13,38	53,5	28,0	18,3	0,0	0,0	0,0	5,30	2,77	1,81	3,49
1:1,2	170,83	7,35	12,86	53,0	27,5	18,0	0,0	0,0	0,0	5,05	2,62	1,71	3,33
1:1,1	170,59	7,04	12,31	52,2	26,6	17,3	0,0	0,0	0,0	4,77	2,43	1,58	3,19
1:1	170,50	6,71	11,74	51,1	25,7	16,6	0,0	0,0	0,0	4,45	2,24	1,45	3,01
1,1:1	170,59	6,40	11,19	49,7	24,6	15,9	0,0	0,0	0,0	4,13	2,04	1,32	2,81
1,2:1	170,83	6,12	10,72	49,0	23,8	15,3	0,0	0,0	0,0	3,89	1,89	1,21	2,68
1,25:1	171,00	6,12	10,72	48,5	23,4	15,0	0,0	0,0	0,0	3,85	1,86	1,19	2,66
1,3:1	171,19	5,88	10,30	48,1	23,1	14,7	0,0	0,0	0,0	3,66	1,76	1,12	2,54
1,4:1	171,64	5,67	9,92	47,3	22,3	14,2	0,0	0,0	0,0	3,46	1,63	1,04	2,42
1,5:1	172,16	5,48	9,59	45,3	21,4	13,7	0,0	0,0	0,0	3,19	1,51	0,97	2,23

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H = 3.50m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel: 3.00m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel: 3.00m			FLD			Relación entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1:1,5	185,85	8,22	18,49	62,7	36,9	25,0	0,0	0,0	0,0	7,89	4,65	3,15	4,75
1:1,4	185,25	7,94	17,86	61,1	35,7	24,2	0,0	0,0	0,0	7,46	4,36	2,95	4,50
1:1,3	184,72	7,65	17,21	60,4	34,8	23,4	0,0	0,0	0,0	7,12	4,10	2,76	4,36
1:1,25	184,50	7,65	17,21	60,0	34,4	23,1	0,0	0,0	0,0	7,08	4,06	2,73	4,36
1:1,2	184,31	7,35	16,53	59,6	33,8	22,7	0,0	0,0	0,0	6,77	3,84	2,58	4,19
1:1,1	184,02	7,04	15,83	58,8	32,8	21,8	0,0	0,0	0,0	6,40	3,57	2,37	4,03
1:1	183,91	6,71	15,09	57,8	31,6	20,9	0,0	0,0	0,0	6,00	3,28	2,17	3,83
1,1:1	184,02	6,40	14,39	56,9	30,6	20,1	0,0	0,0	0,0	5,63	3,03	1,99	3,64
1,2:1	184,31	6,12	13,78	55,9	29,6	19,4	0,0	0,0	0,0	5,29	2,80	1,84	3,45
1,25:1	184,50	6,12	13,78	55,5	29,1	19,0	0,0	0,0	0,0	5,25	2,75	1,80	3,45
1,3:1	184,72	5,88	13,24	55,1	28,6	18,7	0,0	0,0	0,0	5,00	2,59	1,70	3,30
1,4:1	185,25	5,67	12,76	54,3	27,9	18,1	0,0	0,0	0,0	4,73	2,43	1,58	3,15
1,5:1	185,85	5,48	12,32	53,4	27,1	17,5	0,0	0,0	0,0	4,48	2,27	1,47	3,01

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H = 4.00m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel: 3.50m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel: 3.50m			FLD			Relación entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1:1,5	199,54	8,22	22,59	67,1	42,5	29,7	0,0	0,0	0,0	9,62	6,09	4,26	5,36
1:1,4	198,85	7,94	21,83	65,7	41,3	28,8	0,0	0,0	0,0	9,13	5,74	4,00	5,13
1:1,3	198,26	7,65	21,03	65,1	40,4	27,9	0,0	0,0	0,0	8,74	5,42	3,75	4,99
1:1,25	198,00	7,65	21,03	64,7	39,9	27,5	0,0	0,0	0,0	8,70	5,36	3,70	5,00
1:1,2	197,78	7,35	20,21	64,4	39,4	27,0	0,0	0,0	0,0	8,33	5,10	3,49	4,84
1:1,1	197,45	7,04	19,35	63,6	38,2	26,1	0,0	0,0	0,0	7,89	4,74	3,24	4,65
1:1	197,33	6,71	18,45	62,8	37,1	25,1	0,0	0,0	0,0	7,43	4,39	2,97	4,46
1,1:1	197,45	6,40	17,59	61,9	35,8	24,1	0,0	0,0	0,0	6,98	4,04	2,72	4,26
1,2:1	197,78	6,12	16,84	61,0	34,7	23,2	0,0	0,0	0,0	6,57	3,74	2,50	4,07
1,25:1	198,00	6,12	16,84	60,6	34,2	22,8	0,0	0,0	0,0	6,52	3,68	2,45	4,07
1,3:1	198,26	5,88	16,18	60,3	33,8	22,4	0,0	0,0	0,0	6,23	3,49	2,31	3,91
1,4:1	198,85	5,67	15,59	59,5	32,9	21,7	0,0	0,0	0,0	5,90	3,26	2,15	3,75
1,5:1	199,54	5,48	15,06	58,8	32,0	21,1	0,0	0,0	0,0	5,62	3,06	2,02	3,60

Tablas: Cálculo del FLD % máximo posible de obtener según configuración geométrica y superficie máxima de aberturas, sin obstrucciones exteriores. Se indican los casos con valores de FLD superiores al 5% y menores de 2%.

Un punto a notar es que en algunos casos la diferencia entre valores de FLD supera el límite indicado de 3 cuando se verifican las superficies máximas de vidrio; en estos casos pueden ser compensados utilizando algún filtro o protección que reduzca la luminancia en

los sectores próximos a la ventana o con algún sistema adicional de re-direccionamiento de luz natural como un estante de luz que aumente la luz hacia el fondo del espacio.

La presencia de obstáculos exteriores disminuye sensiblemente el FLD máximo posible de obtener. Aún maximizando la superficie de aberturas, los valores de FLD decrecen rápidamente al aumentar el ángulo de obstrucción; se reduce la componente celeste y adquiere más importancia la componente reflejada externa. En estos casos, es importante la altura del local y del dintel de las aberturas, ya que las aberturas más altas permiten ganar luz en las condiciones más desfavorables, mejorando los valores de FLD máximos, como se muestra en los resultados de las planillas de cálculo para el ángulo de obstrucción correspondiente a 3 niveles frente a la abertura.

FLD con obstrucción del 39% considerando 1/5 de cielo visible

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H=3.00m	Superficie de vidrio máxima		Ángulos de cielo visible Altura dintel : 2.50m			Ángulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 2.50m			FLD			Relac entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	CVisible + 1/5 en Cobstruido			
										1/6	1/2	5/6	
1:1.5	172,16	8,22	14,38	19,7	0,0	0,0	36,7	32,6	29,3	2,62	0,63	0,57	2,05
1:1.4	171,64	7,94	13,89	18,0	0,0	0,0	36,6	32,5	29,1	2,38	0,61	0,55	1,83
1:1.3	171,19	7,65	13,38	17,4	0,0	0,0	36,5	32,5	28,8	2,24	0,59	0,52	1,72
1:1.25	171,00	7,65	13,38	17,0	0,0	0,0	36,5	32,1	28,7	2,21	0,58	0,52	1,69
1:1.2	170,83	7,35	12,86	16,6	0,0	0,0	36,4	32,0	28,5	2,09	0,56	0,50	1,59
1:1.1	170,59	7,04	12,31	15,9	0,0	0,0	36,3	31,8	28,1	1,94	0,53	0,47	1,47
1:1	170,50	6,71	11,74	14,9	0,0	0,0	36,2	31,5	27,7	1,77	0,50	0,44	1,33
1,1:1	170,59	6,40	11,19	13,6	0,0	0,0	36,1	31,2	27,4	1,59	0,48	0,42	1,17
1,2:1	170,83	6,12	10,72	13,1	0,0	0,0	35,9	30,9	27,0	1,48	0,45	0,39	1,08
1,25:1	171,00	6,12	10,72	12,6	0,0	0,0	35,9	30,7	26,8	1,44	0,45	0,39	1,05
1,3:1	171,19	5,88	10,30	12,3	0,0	0,0	35,8	30,6	26,6	1,36	0,43	0,37	0,99
1,4:1	171,64	5,67	9,92	11,6	0,0	0,0	35,7	30,4	26,3	1,26	0,41	0,35	0,90
1,5:1	172,16	5,48	9,59	9,7	0,0	0,0	35,6	30,1	26,0	1,09	0,39	0,34	0,75

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H=3.50m	Superficie de vidrio máxima		Ángulos de cielo visible Altura dintel : 3.00m			Ángulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 3.00m			FLD			Relac entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	CVisible + 1/5 en Cobstruido			
										1/6	1/2	5/6	
1:1.5	185,85	8,22	18,49	26,0	4,3	0,0	36,7	32,6	29,3	3,85	1,25	0,68	3,17
1:1.4	185,25	7,94	17,86	24,5	3,2	0,0	36,6	32,5	29,1	3,56	1,09	0,65	2,91
1:1.3	184,72	7,65	17,21	23,9	2,3	0,0	36,5	32,5	28,8	3,38	0,95	0,62	2,75
1:1.25	184,50	7,65	17,21	23,5	2,3	0,0	36,5	32,1	28,7	3,34	0,94	0,62	2,71
1:1.2	184,31	7,35	16,53	23,2	1,8	0,0	36,4	32,0	28,5	3,18	0,85	0,59	2,58
1:1.1	184,02	7,04	15,83	22,5	1,0	0,0	36,3	31,8	28,1	2,97	0,74	0,56	2,41
1:1	183,91	6,71	15,09	21,6	0,1	0,0	36,2	31,5	27,7	2,75	0,61	0,53	2,22
1,1:1	184,02	6,40	14,39	20,8	0,0	0,0	36,1	31,2	27,4	2,54	0,57	0,50	2,05
1,2:1	184,31	6,12	13,78	20,0	0,0	0,0	35,9	30,9	27,0	2,36	0,54	0,47	1,89
1,25:1	184,50	6,12	13,78	19,6	0,0	0,0	35,9	30,7	26,8	2,32	0,53	0,46	1,86
1,3:1	184,72	5,88	13,24	19,3	0,0	0,0	35,8	30,6	26,6	2,20	0,51	0,44	1,76
1,4:1	185,25	5,67	12,76	18,6	0,0	0,0	35,7	30,4	26,3	2,06	0,49	0,42	1,64
1,5:1	185,85	5,48	12,32	17,8	0,0	0,0	35,6	30,1	26,0	1,92	0,46	0,40	1,52

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H=4.00m	Superficie de vidrio máxima		Ángulos de cielo visible Altura dintel : 3.50m			Ángulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 3.50m			FLD			Relac entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	CVisible + 1/5 en Cobstruido			
										1/6	1/2	5/6	
1:1.5	199,54	8,22	22,59	30,4	9,9	0,4	36,7	32,6	29,3	4,96	2,16	0,82	4,14
1:1.4	198,85	7,94	21,83	29,1	8,8	0,0	36,6	32,5	29,1	4,64	1,95	0,74	3,90
1:1.3	198,26	7,65	21,03	28,6	7,9	0,0	36,5	32,5	28,8	4,42	1,77	0,71	3,71
1:1.25	198,00	7,65	21,03	28,2	7,8	0,0	36,5	32,1	28,7	4,38	1,75	0,71	3,67
1:1.2	197,78	7,35	20,21	28,0	7,4	0,0	36,4	32,0	28,5	4,19	1,64	0,68	3,51
1:1.1	197,45	7,04	19,35	27,3	6,4	0,0	36,3	31,8	28,1	3,93	1,45	0,64	3,29
1:1	197,33	6,71	18,45	26,6	5,6	0,0	36,2	31,5	27,7	3,67	1,29	0,60	3,07
1,1:1	197,45	6,40	17,59	25,8	4,6	0,0	36,1	31,2	27,4	3,42	1,12	0,57	2,85
1,2:1	197,78	6,12	16,84	25,1	3,8	0,0	35,9	30,9	27,0	3,19	0,99	0,53	2,66
1,25:1	198,00	6,12	16,84	24,7	3,5	0,0	35,9	30,7	26,8	3,15	0,95	0,53	2,62
1,3:1	198,26	5,88	16,18	24,5	3,2	0,0	35,8	30,6	26,6	3,00	0,88	0,50	2,50
1,4:1	198,85	5,67	15,59	23,8	2,5	0,0	35,7	30,4	26,3	2,82	0,78	0,48	2,34
1,5:1	199,54	5,48	15,06	23,2	1,9	0,0	35,6	30,1	26,0	2,66	0,69	0,46	2,20

Tabla: FLD % máximo para R= 0.55 y entorno con obstáculo igual a 3 niveles, a 10m frente a la abertura.

En el proceso de análisis se pudieron verificar algunos de los aspectos que fueron mencionados en el desarrollo de los casos de estudio, como por ejemplo que las ventanas altas proporcionan mejor calidad de iluminación natural, ya que favorecen el ingreso de luz desde un sector más amplio de la bóveda celeste. En los locales muy profundos es muy

difícil obtener adecuados niveles de iluminación natural en los sectores más alejados de las ventanas y además aumentan los problemas de contraste: si se llega al 2 % del FLD en el fondo, seguramente se superará el 5 % en el sector próximo a la ventana (situación que se presenta en el aula taller de la FADU, respaldada por las encuestas donde se hace mención al contraste como problema de discomfort), superando así la proporción 3:1 indicada en la normativa. Esto se verifica claramente en los gráficos correspondientes a los FLD máximos correspondientes a las condiciones de reflectividad promedio de la envolvente más desfavorables (R = 0.55).

FLD Máximo

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H=3.00m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel : 2.50m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 2.50m			FLD			Relación entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1:1,5	172,16	8,22	14,38	56,4	30,3	19,9	0,0	0,0	0,0	5,47	2,94	1,93	3,54
1:1,4	171,64	7,94	13,89	54,6	29,2	19,2	0,0	0,0	0,0	5,13	2,74	1,80	3,33
1:1,3	171,19	7,65	13,38	53,9	28,4	18,6	0,0	0,0	0,0	4,89	2,58	1,69	3,21
1:1,25	171,00	7,65	13,38	53,5	28,0	18,3	0,0	0,0	0,0	4,86	2,55	1,66	3,20
1:1,2	170,83	7,35	12,86	53,0	27,5	18,0	0,0	0,0	0,0	4,63	2,40	1,57	3,06
1:1,1	170,59	7,04	12,31	52,2	26,6	17,3	0,0	0,0	0,0	4,38	2,23	1,45	2,93
1:1	170,50	6,71	11,74	51,1	25,7	16,6	0,0	0,0	0,0	4,09	2,05	1,33	2,76
1,1:1	170,59	6,40	11,19	49,7	24,6	15,9	0,0	0,0	0,0	3,79	1,87	1,21	2,58
1,2:1	170,83	6,12	10,72	49,0	23,8	15,3	0,0	0,0	0,0	3,57	1,73	1,11	2,46
1,25:1	171,00	6,12	10,72	48,5	23,4	15,0	0,0	0,0	0,0	3,53	1,70	1,09	2,44
1,3:1	171,19	5,88	10,30	48,1	23,1	14,7	0,0	0,0	0,0	3,36	1,61	1,03	2,33
1,4:1	171,64	5,67	9,92	47,3	22,3	14,2	0,0	0,0	0,0	3,18	1,50	0,95	2,22
1,5:1	172,16	5,48	9,59	45,3	21,4	13,7	0,0	0,0	0,0	2,93	1,38	0,89	2,04

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H=3.50m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel : 3.00m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 3.00m			FLD			Relación entre FLD extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1:1,5	185,85	8,22	18,49	62,7	36,9	25,0	0,0	0,0	0,0	7,24	4,26	2,89	4,35
1:1,4	185,25	7,94	17,86	61,1	35,7	24,2	0,0	0,0	0,0	6,84	4,00	2,71	4,13
1:1,3	184,72	7,65	17,21	60,4	34,8	23,4	0,0	0,0	0,0	6,53	3,76	2,53	4,00
1:1,25	184,50	7,65	17,21	60,0	34,4	23,1	0,0	0,0	0,0	6,50	3,73	2,50	4,00
1:1,2	184,31	7,35	16,53	59,6	33,8	22,7	0,0	0,0	0,0	6,21	3,52	2,36	3,84
1:1,1	184,02	7,04	15,83	58,8	32,8	21,8	0,0	0,0	0,0	5,87	3,28	2,18	3,70
1:1	183,91	6,71	15,09	57,8	31,6	20,9	0,0	0,0	0,0	5,51	3,01	1,99	3,52
1,1:1	184,02	6,40	14,39	56,9	30,6	20,1	0,0	0,0	0,0	5,17	2,78	1,83	3,34
1,2:1	184,31	6,12	13,78	55,9	29,6	19,4	0,0	0,0	0,0	4,85	2,57	1,68	3,17
1,25:1	184,50	6,12	13,78	55,5	29,1	19,0	0,0	0,0	0,0	4,81	2,52	1,65	3,17
1,3:1	184,72	5,88	13,24	55,1	28,6	18,7	0,0	0,0	0,0	4,59	2,38	1,56	3,03
1,4:1	185,25	5,67	12,76	54,3	27,9	18,1	0,0	0,0	0,0	4,34	2,23	1,45	2,89
1,5:1	185,85	5,48	12,32	53,4	27,1	17,5	0,0	0,0	0,0	4,11	2,09	1,35	2,76

Relación de lados P:A	Envolvente Interior (A) H=4.00m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel : 3.50m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 3.50m			FLD			Relación entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1:1,5	199,54	8,22	22,59	67,1	42,5	29,7	0,0	0,0	0,0	8,82	5,59	3,91	4,92
1:1,4	198,85	7,94	21,83	65,7	41,3	28,8	0,0	0,0	0,0	8,37	5,26	3,67	4,70
1:1,3	198,26	7,65	21,03	65,1	40,4	27,9	0,0	0,0	0,0	8,02	4,98	3,44	4,58
1:1,25	198,00	7,65	21,03	64,7	39,9	27,5	0,0	0,0	0,0	7,98	4,92	3,39	4,59
1:1,2	197,78	7,35	20,21	64,4	39,4	27,0	0,0	0,0	0,0	7,64	4,68	3,20	4,44
1:1,1	197,45	7,04	19,35	63,6	38,2	26,1	0,0	0,0	0,0	7,24	4,35	2,97	4,27
1:1	197,33	6,71	18,45	62,8	37,1	25,1	0,0	0,0	0,0	6,82	4,03	2,72	4,09
1,1:1	197,45	6,40	17,59	61,9	35,8	24,1	0,0	0,0	0,0	6,40	3,70	2,49	3,91
1,2:1	197,78	6,12	16,84	61,0	34,7	23,2	0,0	0,0	0,0	6,03	3,43	2,29	3,74
1,25:1	198,00	6,12	16,84	60,6	34,2	22,8	0,0	0,0	0,0	5,99	3,38	2,25	3,73
1,3:1	198,26	5,88	16,18	60,3	33,8	22,4	0,0	0,0	0,0	5,71	3,20	2,12	3,59
1,4:1	198,85	5,67	15,59	59,5	32,9	21,7	0,0	0,0	0,0	5,42	3,00	1,98	3,44
1,5:1	199,54	5,48	15,06	58,8	32,0	21,1	0,0	0,0	0,0	5,15	2,81	1,85	3,30

Tabla: FLD % máximo para R= 0.55 y entorno sin obstáculos

Los datos obtenidos en el proceso de análisis y cruce de las variables analizadas pueden ser volcados en forma de tabla de datos o bien en un gráfico cartesiano que relacione cada tipología con un valor de FLD % posible de obtener según la altura del local y la reflectividad promedio, y con la superficie de abertura necesaria para obtenerlo. En los casos en que las líneas que unen los puntos correspondientes a cada tipología para el mismo FLD (a iguales condiciones de altura de local y reflectividad) se cortan, significa que no se puede obtener ese valor de FLD con esa tipología.

Se elaboraron los gráficos para valores de FLD de 2, 2.5 y 3 a obtener en el tercio del aula más alejado de la ventana, o bien en la mitad del aula en los casos en que no fuera posible obtener el valor 2 por problemas de obstáculos o configuración geométrica; complementariamente se agregaron gráficos para un FLD de 1.5. El criterio adoptado es que si se asegura un valor de 2 en la mitad del local por lo menos, el valor cerca de la ventana siempre será superior a la indicación de la normativa.

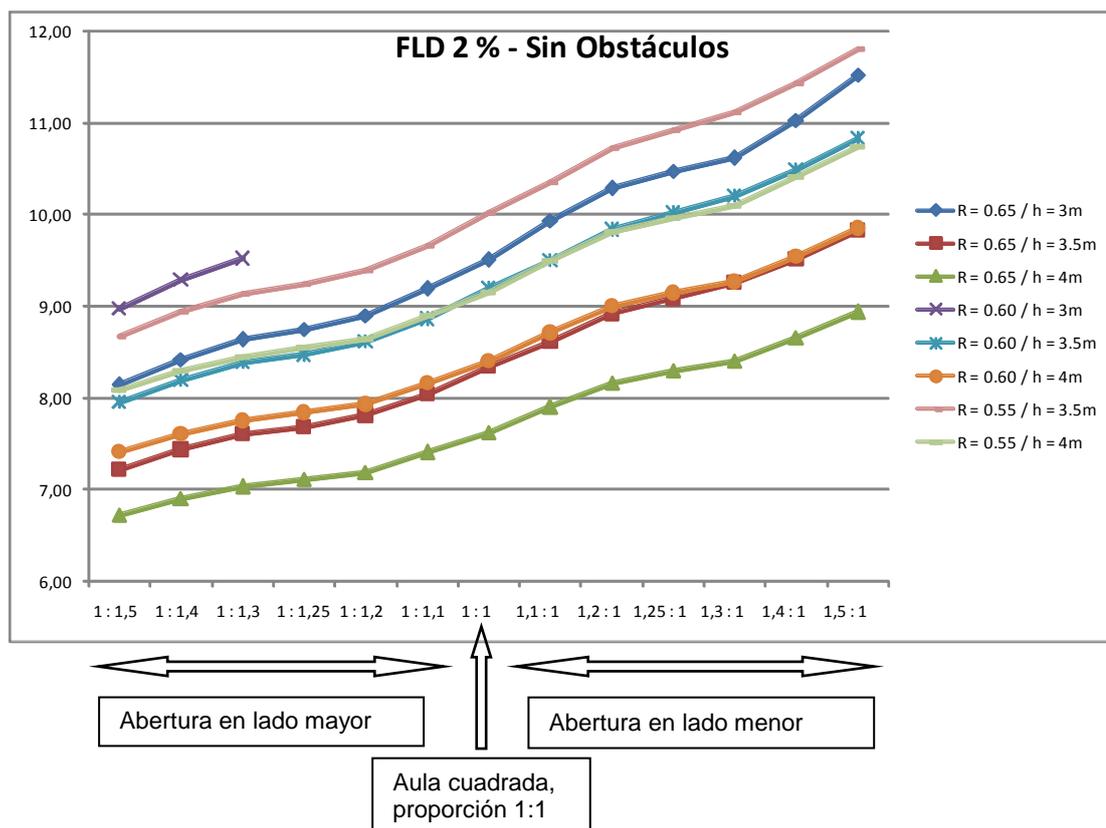


Grafico para determinar la superficie de aberturas, para un FLD de 2%, y líneas correspondientes a distintos valores de R, tipología proporcional de aula y altura del local.

Procedimiento de pre-dimensionado de superficies de aberturas para optimizar iluminación natural en aulas de edificios educacionales.

A partir del análisis de las distintas variables involucradas, se propone un procedimiento sencillo de pre-dimensionado de la superficie de aberturas para iluminación natural que comprende los siguientes puntos:

1 - Tipologías de aulas base para el pre-dimensionado

El desarrollo del procedimiento toma como base el tipo de aula elegido en función de las necesidades o la propuesta del anteproyecto de arquitectura. Una vez planteada la idea del

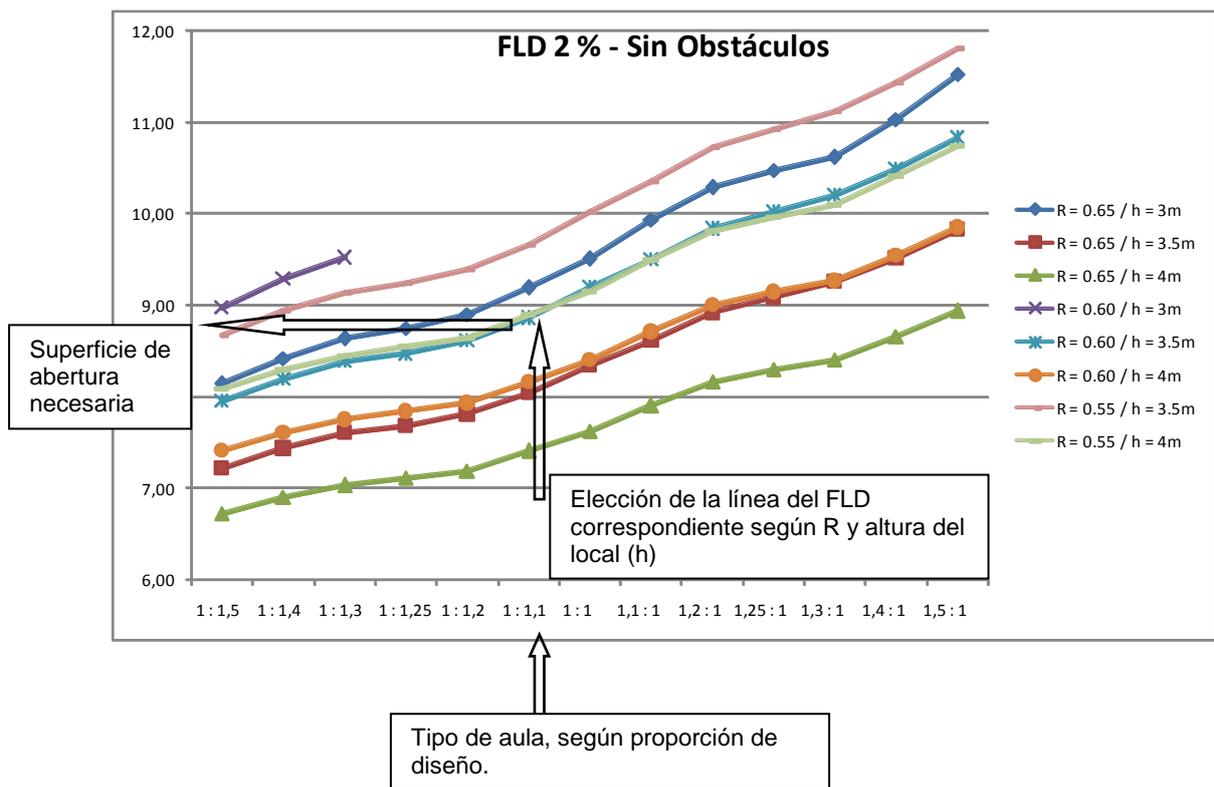
partido arquitectónico del edificio (primera idea general del anteproyecto), se verifica la proporción del aula que más se aproxima a las que se tomaron como referencia para el procedimiento. Además se debe tener en cuenta la altura proyectada y la elección de la reflectividad de las superficies de envolvente, según las 3 variantes propuestas.

2 - Elección del FLD % a obtener

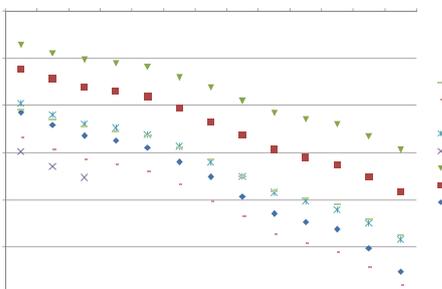
El diseñador elige un FLD % a obtener en la mitad o el último tercio del aula; ingresa al gráfico con el tipo de aula propuesto y se desplaza en el eje vertical hasta el valor correspondiente al FLD elegido y coincidente con la altura del local y valor de reflectividad promedio propuestos para el aula.

3- Determinación de la superficie de abertura.

Una vez localizado el punto de intersección entre el FLD y el tipo del aula, se desplaza en sentido del eje X para encontrar la superficie correspondiente en el eje Y.



5- Verificación de FLD máximo posible de obtener si se maximiza la superficie de abertura, es decir, si la opción elegida es que el ancho de la abertura sea igual al ancho de la pared, desde la altura del plano de trabajo al dintel.



Si, por ejemplo, la tipología elegida es la planta longitudinal con la abertura ubicada en el lado menor y se opta por maximizar la superficie de abertura (es decir, elegir la máxima superficie posible según configuración geométrica), se puede verificar el FLD máximo a obtener en el local utilizando las tablas correspondientes al FLD máximo; si el FLD en el sector próximo a la abertura supera el valor máximo indicado por la normativa de 5, será necesario evaluar complementariamente la posibilidad de sobrecalentamiento en épocas cálidas y prever la necesidad de agregar un sistema de protección solar para disminuir el exceso de luz en zonas próximas a la abertura.

FLD

Transparencia (T) =	0,9
Mantenimiento (M) =	0,9
Reflectancia (R) =	0,60

FLD Máximo

Relación de lados P : A	Envolvente Interior (A) H = 3.00m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel : 2.50m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 2.50m			FLD			Relación entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1 : 1,5	172,16	8,22	14,38	56,4	30,3	19,9	0,0	0,0	0,0	5,96	3,20	2,10	3,86
1 : 1,4	171,64	7,94	13,89	54,6	29,2	19,2	0,0	0,0	0,0	5,59	2,99	1,97	3,63
1 : 1,3	171,19	7,65	13,38	53,9	28,4	18,6	0,0	0,0	0,0	5,33	2,81	1,84	3,49
1 : 1,25	171,00	7,65	13,38	53,5	28,0	18,3	0,0	0,0	0,0	5,30	2,77	1,81	3,49
1 : 1,2	170,83	7,35	12,86	53,0	27,5	18,0	0,0	0,0	0,0	5,05	2,62	1,71	3,33
1 : 1,1	170,59	7,04	12,31	52,2	26,6	17,3	0,0	0,0	0,0	4,77	2,43	1,58	3,19
1 : 1	170,50	6,71	11,74	51,1	25,7	16,6	0,0	0,0	0,0	4,45	2,24	1,45	3,01
1,1 : 1	170,59	6,40	11,19	49,7	24,6	15,9	0,0	0,0	0,0	4,13	2,04	1,32	2,81
1,2 : 1	170,83	6,12	10,72	49,0	23,8	15,3	0,0	0,0	0,0	3,89	1,89	1,21	2,68
1,25 : 1	171,00	6,12	10,72	48,5	23,4	15,0	0,0	0,0	0,0	3,85	1,86	1,19	2,66
1,3 : 1	171,19	5,88	10,30	48,1	23,1	14,7	0,0	0,0	0,0	3,66	1,76	1,12	2,54
1,4 : 1	171,64	5,67	9,92	47,3	22,3	14,2	0,0	0,0	0,0	3,46	1,63	1,04	2,42
1,5 : 1	172,16	5,48	9,59	45,3	21,4	13,7	0,0	0,0	0,0	3,19	1,51	0,97	2,23

Relación de lados P : A	Envolvente Interior (A) H = 3.50m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel : 3.00m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 3.00m			FLD			Relación entre FLD extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1 : 1,5	185,85	8,22	18,49	62,7	36,9	25,0	0,0	0,0	0,0	7,89	4,65	3,15	4,75
1 : 1,4	185,25	7,94	17,86	61,1	35,7	24,2	0,0	0,0	0,0	7,46	4,36	2,95	4,50
1 : 1,3	184,72	7,65	17,21	60,4	34,8	23,4	0,0	0,0	0,0	7,12	4,10	2,76	4,36
1 : 1,25	184,50	7,65	17,21	60,0	34,4	23,1	0,0	0,0	0,0	7,08	4,06	2,73	4,36
1 : 1,2	184,31	7,35	16,53	59,6	33,8	22,7	0,0	0,0	0,0	6,77	3,84	2,58	4,19
1 : 1,1	184,02	7,04	15,83	58,8	32,8	21,8	0,0	0,0	0,0	6,40	3,57	2,37	4,03
1 : 1	183,91	6,71	15,09	57,8	31,6	20,9	0,0	0,0	0,0	6,00	3,28	2,17	3,83
1,1 : 1	184,02	6,40	14,39	56,9	30,6	20,1	0,0	0,0	0,0	5,63	3,03	1,99	3,64
1,2 : 1	184,31	6,12	13,78	55,9	29,6	19,4	0,0	0,0	0,0	5,29	2,80	1,84	3,45
1,25 : 1	184,50	6,12	13,78	55,5	29,1	19,0	0,0	0,0	0,0	5,25	2,75	1,80	3,45
1,3 : 1	184,72	5,88	13,24	55,1	28,6	18,7	0,0	0,0	0,0	5,00	2,59	1,70	3,30
1,4 : 1	185,25	5,67	12,76	54,3	27,9	18,1	0,0	0,0	0,0	4,73	2,43	1,58	3,15
1,5 : 1	185,85	5,48	12,32	53,4	27,1	17,5	0,0	0,0	0,0	4,48	2,27	1,47	3,01

Relación de lados P : A	Envolvente Interior (A) H = 4.00m	Superficie de vidrio máxima		Angulos de cielo visible Altura dintel : 3.50m			Angulos de Cielo Obstruido Altura dintel : 3.50m			FLD			Relación entre extremos
		Ancho m	Sup	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	1/6	1/2	5/6	
1 : 1,5	199,54	8,22	22,59	67,1	42,5	29,7	0,0	0,0	0,0	9,62	6,09	4,26	5,36
1 : 1,4	198,85	7,94	21,83	65,7	41,3	28,8	0,0	0,0	0,0	9,13	5,74	4,00	5,13
1 : 1,3	198,26	7,65	21,03	65,1	40,4	27,9	0,0	0,0	0,0	8,74	5,42	3,75	4,99
1 : 1,25	198,00	7,65	21,03	64,7	39,9	27,5	0,0	0,0	0,0	8,70	5,36	3,70	4,99
1 : 1,2	197,78	7,35	20,21	64,4	39,4	27,0	0,0	0,0	0,0	8,33	5,10	3,49	4,84
1 : 1,1	197,45	7,04	19,35	63,6	38,2	26,1	0,0	0,0	0,0	7,89	4,74	3,24	4,65
1 : 1	197,33	6,71	18,45	62,8	37,1	25,1	0,0	0,0	0,0	7,43	4,39	2,97	4,46
1,1 : 1	197,45	6,40	17,59	61,9	35,8	24,1	0,0	0,0	0,0	6,98	4,04	2,72	4,26
1,2 : 1	197,78	6,12	16,84	61,0	34,7	23,2	0,0	0,0	0,0	6,57	3,74	2,50	4,07
1,25 : 1	198,00	6,12	16,84	60,6	34,2	22,8	0,0	0,0	0,0	6,52	3,68	2,45	4,07
1,3 : 1	198,26	5,88	16,18	60,3	33,8	22,4	0,0	0,0	0,0	6,23	3,49	2,31	3,91
1,4 : 1	198,85	5,67	15,59	59,5	32,9	21,7	0,0	0,0	0,0	5,90	3,26	2,15	3,75
1,5 : 1	199,54	5,48	15,06	58,8	32,0	21,1	0,0	0,0	0,0	5,62	3,06	2,02	3,60

FLD > 5% en sectores próximos a la abertura -

FLD = 2% en sectores más alejados de la abertura

Tabla: FLD máximo, correspondiente a máxima superficie de abertura, sin obstáculos. Con ventanas altas es indispensable agregar protección solar para evitar problemas de contraste con las zonas próximas a la abertura.

En síntesis, las etapas en el diseño del anteproyecto son:

- elección de la implantación del edificio
- consideración de la orientación, verificando posibilidades de acceso de radiación solar directa y presencia de obstáculos exteriores existentes
- elección de forma y dimensiones del espacio (aula)
- pre-dimensionado de la superficie de abertura para obtener el FLD buscado en la mitad o el último tercio, si esto fuera posible por configuración geométrica del aula.
- verificación de la necesidad de agregar elementos de protección solar según clima y orientación.
- verificación final del diseño definitivo mediante métodos de simulación complejos, como por ejemplo mediante ensayos con maquetas en cielo artificial o bien modelización computarizada con programas específicos como por ejemplo Radiance o SkyCalc.

Conclusiones

En arquitectura, los métodos para orientar el diseño de la iluminación natural son en general elaborados para responder a situaciones críticas de disponibilidad de luz; además responden a las condiciones correspondientes al lugar en el cual son desarrollados, y luego se aplican en otras regiones de características similares. Como ejemplo, el método de referencia expuesto en la publicación "*Patterns to daylight schools for people and sustainability*" está elaborado para las condiciones de disponibilidad de luz correspondientes a la región climática de Nueva York, recomendando ciertas configuraciones de aberturas en función de las mejores variantes de diseño para esa región.

La propuesta desarrollada en esta tesis responde a las condiciones de diseño de iluminación natural estipuladas en la normativa pertinente al tema estudiado, vigente para nuestro país. Teniendo en cuenta la variabilidad climática y de condiciones de cielo para la extensión del territorio argentino, es conveniente incorporar ajustes en función de las condiciones de cielo predominante para evitar el exceso de luz en algunas regiones, para lo cual se pueden modificar o disminuir los límites del FLD indicados, en relación con las condiciones efectivas de disponibilidad de luz solar.

La base de para el cálculo de los valores resultantes del cruce de variables armada en la planilla Excel admite cambios en las variables involucradas: reflectividad promedio (R), superficie de envolvente (A) y ángulo de cielo visible, con y sin obstrucciones; en ese caso, cambia el gráfico a utilizar para el pre-dimensionado. Así, quedan vinculados en el origen del gráfico los factores directamente relacionados con la superficie de las aberturas: la disponibilidad de luz exterior, la posible presencia de obstáculos que disminuyan el cielo

visible (y la luz recibida) y las reflexiones internas que mejoran la calidad de la iluminación en el espacio.

El procedimiento proporciona una indicación de la superficie de abertura necesaria; las superficies que se encuentren situadas por debajo del nivel del plano de trabajo pueden proporcionar vistas y contacto con el exterior, que son importantes para el confort visual del ocupante, pero no más luz, la cual proviene de ángulos de altitud mayores.

Con respecto a los principios básicos para el diseño de escuelas con un óptimo aprovechamiento de la luz natural, con el objetivo de contribuir a diseñar un ambiente confortable, productivo, saludable, ambientalmente responsable y que permita además reducir costos de energía, se pueden mencionar:

- ubicar correctamente las zonas de trabajo y permanencia con relación a las zonas iluminadas
- favorecer el ingreso de luz más profundamente en el espacio mediante ventanas altas
- evitar las aberturas en orientaciones próximas al Este y al Oeste para evitar el deslumbramiento producido por el sol de baja altura y posibles problemas de sobrecalentamiento.
- proveer vistas al exterior pero tratar de bloquear o difundir la luz directa del sol
- usar colores claros en las superficies interiores para reducir el contraste de luminancias y optimizar la cobertura de la luz en el espacio.
- evitar el exceso de vidrio cuando no es necesario para evitar problemas de sobrecalentamiento

La intención del procedimiento propuesto es que resulte útil para pre-dimensionar las aberturas, teniendo en cuenta una base más "concreta" desde el punto de vista de la luz natural que la usual indicación del porcentaje de la superficie del local, ya que dicho procedimiento vincula las condiciones del entorno, de disponibilidad de luz, las características de la envolvente arquitectónica que se está diseñando e, indirectamente, los aspectos subjetivos que influyen en el confort visual de los ocupantes.

El procedimiento de pre-dimensionado parte de las variables establecidas disciplinarmente y las incorpora en el proceso, teniendo en cuenta especialmente las relacionadas con las condiciones de confort visual de los ocupantes. Así, el dimensionado de las aberturas tendrá en cuenta aspectos vinculados directamente a las condiciones de disponibilidad de luz natural, posibilitando mejorar la calidad de iluminación interior diurna, en contraposición con el criterio usual de proporción de abertura respecto a superficie del local. .

Capítulo 6.

Desarrollo metodológico del trabajo de tesis.

Las investigaciones recientes sobre iluminación natural en espacios arquitectónicos están orientadas a valorizar aspectos subjetivos vinculados a los ocupantes, incluyendo aspectos psicológicos, aportando al proceso de diseño edilicio factores humanos; sin embargo, como se ha mencionado en el desarrollo del marco teórico, las variables relacionadas con el comportamiento de los ocupantes son difíciles de validar mediante métodos objetivos, como por ejemplo índices fotométricos medidos directamente utilizando instrumental específico.

Si bien se reconoce la importancia de la percepción subjetiva de confort visual de los ocupantes de los espacios, es difícil incorporarla directamente como variable en el diseño de la iluminación interior; usualmente se miden los índices fotométricos normalizados bajo ciertas condiciones controladas en módulos de ensayo en los cuales voluntarios aportan mediante respuestas a un cuestionario sencillo su sensación de confort individual, pero este tipo de estudios dejan de lado ciertos aspectos psicológicos vinculados al confort que tienen relación con el uso del espacio por parte de los ocupantes durante el desarrollo de sus actividades. Por esta razón, este criterio ha comenzado a ser cuestionado, buscándose nuevas respuestas mediante las evaluaciones post-ocupación de los edificios y sus espacios, dejando de lado situaciones creadas artificialmente en módulos de ensayo.

La investigación realizada en el marco de esta tesis propone un procedimiento de predimensionado que permita contemplar la percepción subjetiva de confort visual obtenida a partir de evaluaciones post-ocupación correspondiente a ciertos casos de estudio, desde el diseño del anteproyecto, quedando así incorporada en el desarrollo de las estrategias de iluminación natural implementadas en el proyecto arquitectónico.

El diseño metodológico comprende entonces, dos etapas: en la primera, se exploran las variables vinculadas a la percepción subjetiva de confort visual a partir del marco teórico disciplinar y de los casos de estudio, para poder elaborar la información proporcionada por los ocupantes; en la segunda, se analiza la relación entre las variables involucradas con el fin de incorporarlas en un procedimiento de predimensionado de aberturas, como parte de la estrategia de diseño de la iluminación natural.

La primera parte corresponde a un diseño de tipo exploratorio, con el fin de identificar las variables involucradas y se analiza su pertinencia en función del objetivo de la investigación planteada; en la segunda se realiza un análisis de cruce de esas variables, mediante un diseño multivariado con el fin de incorporar el resultado del cruce de las variables

identificadas en una herramienta que pueda ser utilizada en el proceso de diseño arquitectónico.

Elaboración de hipótesis

A partir del reconocimiento y el análisis de la problemática a investigar, se acotó el planteo del problema de investigación al planteo de un procedimiento o interfase de diseño, que incorpore variables subjetivas de confort visual como una herramienta en el proceso de implementación de estrategias de iluminación natural en el proyecto arquitectónico.

Una vez identificado y acotado el problema, la hipótesis que se elaboró como respuesta presenta un sesgo de tipo descriptivo, ya que establece una cierta relación entre los aspectos involucrados: las variables subjetivas de confort visual y otras relacionadas con calidad de la iluminación natural, incorporando esta vinculación en el desarrollo de un procedimiento para optimizar la estrategia de iluminación natural en el diseño arquitectónico; se busca sistematizar la descripción de esa vinculación (el “fenómeno” investigado) y sustentar el procedimiento de propuesto en las regularidades detectadas.

En la elaboración de la hipótesis se tuvieron en cuenta los aspectos que permitieran sustentarla metodológicamente: la coherencia entre el problema planteado y la hipótesis como una respuesta con buenas probabilidades de constatarse fácticamente, su relación con el marco teórico disciplinar y la posibilidad de derivar hipótesis de trabajo u operativas que permitieran avanzar hacia su confirmación como herramienta auxiliar en la práctica proyectual.

Entre las hipótesis involucradas se pueden mencionar:

Hipótesis principal:

Si se identifican y definen las variables subjetivas de confort visual relacionadas con calidad de la iluminación natural, se podrán sistematizar junto con otras variables físicas y fotométricas y obtener un procedimiento para predimensionar las superficies de aberturas, que facilitará mejorar la calidad de la iluminación natural y el confort visual de los ocupantes desde la etapa de proyecto, considerando las características de disponibilidad de luz solar de acuerdo a las condiciones climáticas, a diferencia de los procedimientos tradicionales de predimensionado basados en la indicación de una cierta proporción de aberturas con respecto a la superficie del local, que sugieren una proporción matemática independiente de las condiciones reales de disponibilidad de luz natural.

A partir de esta hipótesis puede indicarse como hipótesis derivada que, *dado que la percepción subjetiva de confort visual está relacionada con variables que tienen relación directa con el diseño de la envolvente del espacio arquitectónico en función de una adecuada estrategia para aprovechamiento de la luz natural, un diseño arquitectónico que optimice las condiciones de iluminación natural favorecerá el confort visual de los ocupantes.*

Con respecto a las hipótesis instrumentales u operativas, que forman parte del proceso o desarrollo del trabajo de investigación, no son necesariamente explicitadas de modo directo y muchas veces surgen a partir del conocimiento y la experiencia del investigador. En el desarrollo de esta tesis se pueden mencionar como ejemplo:

- *las evaluaciones post-ocupación son un instrumento fiable para indagar sobre la percepción subjetiva de confort visual, y los estudios de caso son útiles como fuente de datos sobre el tema.*
- *las encuestas son instrumentos adecuados para obtener datos sobre la percepción subjetiva de confort visual*
- *el uso de luxómetros como instrumentos de medición de los datos fotométricos es útil porque permite conocer el valor de iluminancia de manera simultánea a la aplicación de las encuestas a los ocupantes*
- *la ecuación matemática para cálculo del FLD es fiable para ser utilizada para predimensionar las aberturas para luz natural*
- *la planilla de cálculo EXCEL es una buena herramienta para analizar la relación entre las variables involucradas, consideradas como base del procedimiento de de predimensionado.*

Recopilación de los datos

Una vez identificado el problema y planteada la hipótesis como respuesta tentativa, el paso siguiente es la construcción del dato sobre el cual se trabajará. En esta tesis se analizaron dos fuentes generales de información: por un lado, el marco teórico disciplinar, los antecedentes y conocimientos existentes sobre el tema; por el otro, se trabajó con información proporcionada por los ocupantes, recabada a partir de evaluaciones post-ocupación correspondientes a algunos casos de estudio.

Para poder producir el dato tomando como base la estructura establecida por Samaja y Galtung (Samaja, 1993), la identificación, selección y análisis de las variables involucradas es el punto más extenso; por una parte, se consideró un grupo de variables establecidas a partir de los conocimientos existentes en el campo disciplinar. Las variables vinculadas a la percepción subjetiva de confort visual, que de acuerdo a los antecedentes mencionados en el capítulo dos son las que están siendo investigadas actualmente, se definen a partir del

análisis de algunos casos de estudio, dos estudiados en el marco de una investigación previa¹ y dos realizados durante el desarrollo del trabajo de tesis, utilizando encuestas como instrumentos para recopilar información.

Con respecto a las variables establecidas en el cuerpo teórico disciplinar referidas a la iluminación natural y el confort visual, analizadas con el fin de determinar cuáles podían ser vinculadas con la percepción subjetiva de confort de los ocupantes, se describieron las variables vinculadas al confort visual, las que tienen influencia en los espacios destinados a actividades educativas y las que tienen que ver con la envolvente arquitectónica, que tienen relación directa con las características de la iluminación natural en el espacio. No todas son relevantes a los fines del diseño del procedimiento de de pre-dimensionado; algunas, como por ejemplo las individuales, han sido asumidas como constantes, sin variaciones, a los fines del trabajo realizado por los motivos que han sido expuestos en el capítulo correspondiente.

Para producir los datos sobre la percepción subjetiva de confort, y a partir de los casos de estudio mencionados, se realizaron encuestas a los ocupantes de aulas durante las horas habituales de uso de esos espacios; en este caso, los datos fueron obtenidos directamente por los investigadores del proyecto (fuente de datos primaria para la investigación inicial en algunos casos de estudio, y secundaria a los fines de este trabajo de tesis).

Como se ha mencionado, el objetivo de la encuesta fue relevar las condiciones de confort visual los espacios estudiados, tomando en cuenta el punto de vista de sus ocupantes. La encuesta elaborada en función obtener datos exploratorios acerca de la percepción subjetiva de confort visual, comprende las siguientes partes:

- Identificación del espacio relevado: incluye una indicación sobre el estado general del espacio respecto a su limpieza y mantenimiento.

ILUMINACION NATURAL – VENTANAS y ASOLEAMIENTO DIRECTO
IDENTIFICACION ESPACIO:

TALLER / PISO					
ORIENTACION DEL AULA / TALLER					
TURNO					
CONDICIONES GENERALES DEL AULA (Estado general, pintura, limpieza)	MBuenas	Buena	Regular	Mala	No sabe

¹ Proyectos UBACyT A050- Programación Científica UBA 2004-2007 y A404 Programación 2008-2010.

- Reconocimiento y evaluación subjetiva de condiciones de iluminación predominante, incluyendo identificación de posibles fuentes de discomfort y breve información individual sobre problemas visuales que tengan influencia en la percepción de confort:

CONDICIONES DE ILUMINACION PREDOMINANTE:

Iluminación	Malo	Algo Bajo	Confortable / bueno	Ligeramente alto	Muy alto
Cómo percibe el nivel de iluminación ambiente					
Cómo lo preferiría					
Iluminación sobre plano de trabajo					
Iluminación sobre pizarrones					

Preferencias en iluminación en el espacio	Iluminación natural	Iluminación artificial	Ambas combinadas

Impresión de la luz ambiente	Luminoso	Agradable	Oscuro

Distribución de la luz en el ambiente	Uniforme / agradable	Desigual (Especificar problemas)

Discomfort visual / causas	Contrastes	Reflejos (especificar fuentes)	Otros problemas detectados

¿Usa anteojos? (SI/NO):

¿Tiene problemas visuales? (ESPECIFICAR):

- Percepción subjetiva de confort visual: expresar utilizando de 3 a 5 adjetivos descriptivos cómo percibe el encuestado las condiciones lumínicas del espacio

PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE CONFORT VISUAL CON ILUMINACIÓN NATURAL:

Defina mediante 3 a 5 palabras (Ejemplo: *claro, brillante, luminoso, oscuro, etc.*)

Cómo percibe el espacio:	Cómo lo preferiría:

Inicialmente se realizó el análisis estadístico de los adjetivos dados como respuesta, para posteriormente agrupar los términos en función de su vinculación con aspectos positivos o negativos en relación con la percepción de las condiciones de claridad ambiental del espacio estudiado.

- Aspectos vinculados directamente a la iluminación natural, las ventanas y el asoleamiento directo:

ILUMINACION NATURAL – VENTANAS y ASOLEAMIENTO DIRECTO

VENTANAS	SI	NO	INDIFERENTE
Considera importante la presencia de ventanas			
Motivo de valoración de las ventanas	Luz	Vistas	Contacto con el exterior- otras
Problemas respecto a las ventanas		SI	NO
Tamaño: Grandes			
Pequeñas			
Satisfactorio			
Entra mucho calor en épocas cálidas			
Frío o entrada de aire por infiltraciones en épocas frías			
Exceso de luz o ingreso de sol directo no confortables			
Problemas de contrastes o deslumbramientos			
Problemas de ruidos exteriores			
Necesidad de controles de acceso de la luz natural o el sol directo			

Se desarrollaron variantes sobre la encuesta base en función de diferencias de edad y comprensión de los usuarios entrevistados (alumnos entre 6 y 15 años, y adultos). En las encuestas realizadas a alumnos de nivel primario y secundario, con aulas de alrededor de 30 ocupantes, se realizó una encuesta grupal por cada aula para agilizar el proceso, determinándose de forma directa la cantidad de ocupantes que responde a cada opción de las preguntas. En el caso de ocupantes adultos, la encuesta fue respondida individualmente.

Las respuestas obtenidas fueron procesadas mediante técnicas de estadística descriptiva y, en el caso de las respuestas en forma de lexemas se utilizaron técnicas de análisis cualitativo aplicadas de forma sencilla debido a la baja complejidad de los datos a procesar.

El relevamiento se complementó con mediciones fotométricas (cuantitativas) simultáneas del nivel de iluminación con instrumental específico (luxómetros), en el interior y exterior de los espacios analizados con el fin de obtener un FLD de referencia al momento de realizar la encuesta, y poder relacionarlo con los juicios emitidos por los ocupantes.

Muestra

Una muestra es un subconjunto de un universo bien definido; un micro-universo de un universo potencial posible al cual se pueden extrapolar los datos. Está relacionada con el concepto de representatividad: depende de la naturaleza del objeto, del universo y de los objetivos de la investigación. Lo que se busca es la semejanza con el universo: un comportamiento análogo a la estructura del universo. La validación de la muestra implica validar por un juicio analógico que indica que la muestra obtenida es representativa, y una muestra es representativa cuando en ella los valores de las variables se comportan de la misma manera que en el conjunto del universo. Se considera además que la muestra es una buena si es coherente con los objetivos o las edades de la investigación, y si se la puede defender mediante criterios sustanciales, por ejemplo por conocimiento de la muestra.

En el estudio original se trabajó una muestra exploratoria, no probabilística, como parte del proceso de reconocimiento o familiarización con el tema de investigación. El objetivo de la muestra exploratoria es precisar o construir las variables y está orientada al reconocimiento de especies de hechos desconocidos o aún no comprendidos o bien a generar nuevas ideas a partir de las cuales puedan surgir nuevas preguntas o nuevas hipótesis.

Cuando se trabaja bajo condiciones reales, no siempre se puede obtener una muestra ideal, y debe ajustarse la selección a la disponibilidad real para trabajar. En el caso del trabajo de investigación tomado como base, un aspecto muy importante fue la posibilidad de acceso al espacio del aula, en general limitada por la falta de interés de los directivos y por cuestiones de seguridad al tratarse de menores, y al diálogo con los ocupantes, ya que debido al tipo de actividades no siempre es posible interrumpir el dictado de clases para realizar el relevamiento; por esta razón se optó por trabajar con casos de estudio que tuvieran un adecuado acceso a las fuentes de información (los ocupantes) y la posibilidad de realizar las mediciones fotométricas *in-situ* simultáneamente a las encuestas.

Con respecto a la muestra considerada en el proyecto de investigación base, se seleccionaron escuelas estatales, correspondientes a un sector nivel económico medio, con alumnos en buenas condiciones de desarrollo físico y social, es decir, con buena salud, correcta nutrición y necesidades específicas individuales cubiertas (por ejemplo, adecuados controles de problemas visuales), con el fin de eliminar en la evaluación de confort aspectos individuales que pudieran distorsionar los resultados buscados por incidencia de variables personales, es decir, que no tuvieran relación con los aspectos físicos y arquitectónicos del confort.

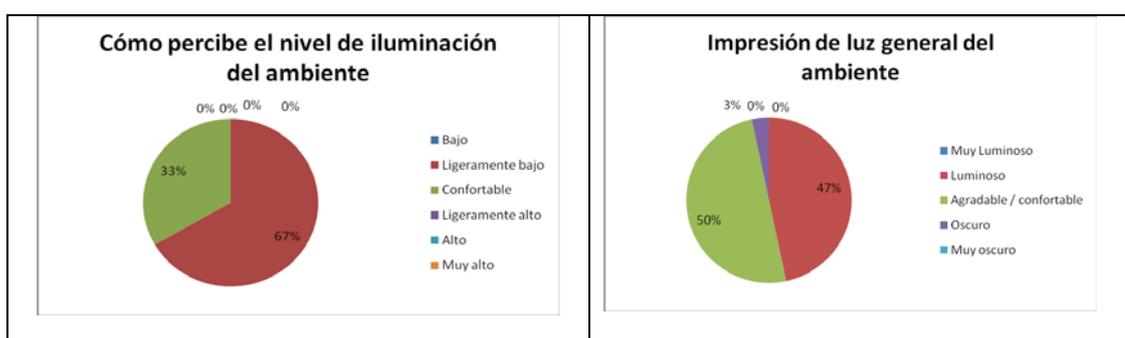
Los cuatro casos paradigmáticos que se presentan como fuentes de datos para esta tesis fueron seleccionados debido a que presentaban los datos más completos para el análisis, uno por cada nivel educativo. Como se ha mencionado, los dos primeros se desarrollaron en el marco del proyecto UBACyT A050 sobre confort en escuelas; los dos restantes, realizados en edificios de la UBA, fueron tomados como referencias complementarias a los casos analizados en el proyecto, y desarrollados con la colaboración de alumnos de grado de la materia Energía en Edificios, Carrera de Arquitectura, de la FADU – UBA.

Plan de análisis y tratamiento de los datos

Una vez obtenidos los datos de percepción subjetiva de confort visual mediante las encuestas, fue necesario incorporar estos datos en la propuesta del procedimiento de pre-dimensionado a partir de su asociación con alguna de las variables relacionadas con el diseño de la iluminación natural en el espacio arquitectónico.

La información obtenida en las encuestas fue procesada mediante técnicas de estadística descriptiva para aquellos datos que pudieran ser trabajados de manera cuantitativa y, en el caso de los adjetivos descriptivos solicitados en una de las partes de la encuesta, se realizó un trabajo de tipo cualitativo con el fin de interpretar la respuesta de los ocupantes.

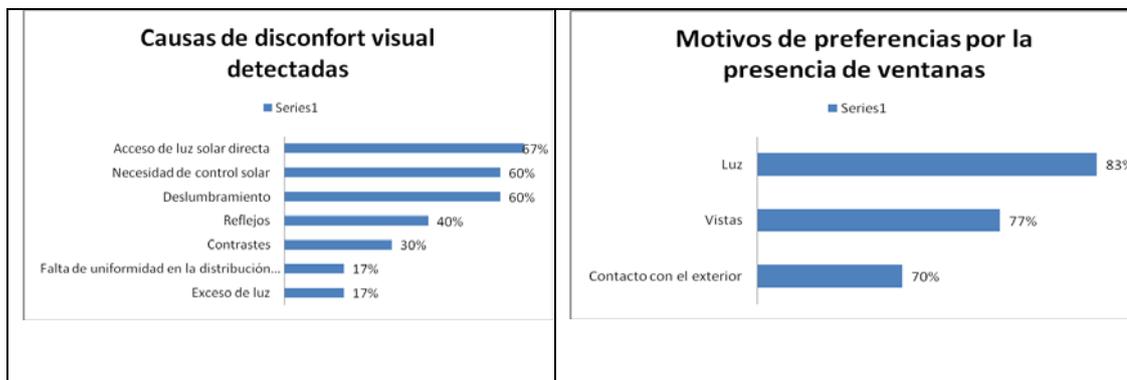
Las respuestas a las preguntas sobre percepción del nivel de iluminación fueron evaluadas sobre el total de las respuestas de los ocupantes (100%). Debido a que son cantidades discretas, se graficaron las respuestas a los ítems con opciones mutuamente excluyentes mediante gráficos circulares, con sectores indicativos de los porcentajes de respuestas de cada tipo.



Ejemplos de procesado estadístico de respuestas, sintetizado mediante gráficos circulares.

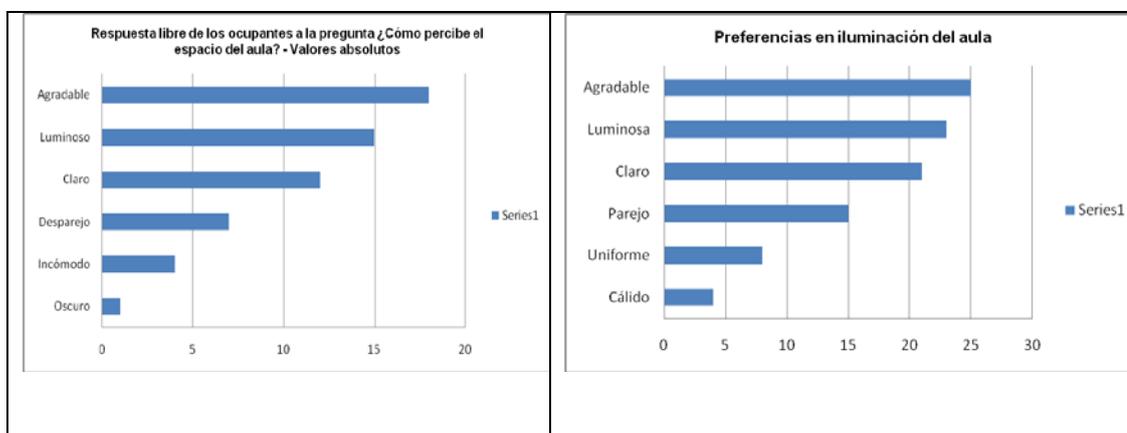
Las respuestas a otros puntos donde la encuesta no ofrece opciones mutuamente excluyentes porque se hace referencia a aspectos que tienen que ver con las preferencias o los problemas de disconfort que no afectan a todos los ocupantes, fueron graficadas

mediante diagramas de barras horizontales que reflejan la cantidad de casos en forma de frecuencia relativa de cada clase respecto al total de ocupantes:



Ejemplos de síntesis de respuestas por cantidad de casos mediante gráficos de barras.

En el punto en el que se solicitó a los ocupantes que mencionaran adjetivos descriptivos para indicar cómo percibían las condiciones de iluminación del espacio y cómo las preferirían, se procesaron inicialmente las respuestas con técnicas cuantitativas para poder identificar la cantidad de lexemas respondidos (y su repetición), ya que este ítem fue de respuesta libre, en forma de barras horizontales que indican la frecuencia absoluta en los adjetivos dados como respuesta:



Ejemplos de síntesis mediante gráficos de barras de cantidad de menciones de los adjetivos respondidos por los encuestados.

La aproximación cuantitativa obtiene datos descriptivos por métodos estadísticos; la aproximación cualitativa es más intuitiva y flexible, y en este caso es importante el contexto de aplicación. Teniendo en cuenta que el objetivo del análisis es alcanzar nuevos sentidos o “significados”, mediante una interpretación que está basada en procedimientos objetivables, es importante explicitar las decisiones tomadas en el tratamiento de los datos y las inferencias interpretativas que hace sobre ellos.

Así, en el análisis posterior se agruparon estos términos función de que expresaran aspectos que se pudieran interpretar como positivos o negativos en relación con la percepción de la iluminación del espacio, considerándose positivos los que se relacionan con el confort visual. En este caso, el sistema de categorías es resultante de las semejanzas analógicas entre términos, quedando configuradas las categorías por asociación.

Términos positivos ⇒ Confort Visual	Términos negativos ⇒ Disconfort visual
Luminoso Agradable Claro Parejo Uniforme Cálido Confortable Alegre Homogéneo Natural	Incómodo Oscuro Desparejo Frío Regular Sombrio Triste

Finalmente se asociaron estos términos a las variables relacionadas con las condiciones para el confort visual con iluminación natural, con el nivel general de iluminación y la distribución de la luz en el espacio, como se describe en el capítulo 4.

Estructura de las matrices de datos

En la perspectiva de la lógica del método, la matriz de datos es el ordenador que orienta el análisis y tratamiento de los datos según sus direcciones. El dato, como mediador entre la teoría y la observación del mundo real, es parte fundamental de la praxis de la investigación científica: informa sobre algo, en un cierto aspecto, conforme a ciertos estados disponibles, del cual sólo se ha dado uno de ellos. Es una construcción compleja y su estructura posee, según la propuesta de J. Samaja a partir de la estructura descrita por Galtung (Samaja, 1993) cuatro componentes: unidad de análisis (UA); variables (V); valores (R); e indicadores (I).

Esquemáticamente, la estructura básica del dato es:

UA*	Vs	R
		I

- todo dato hace referencia a algo, a una entidad (UA)
- se refiere a algo en un cierto aspecto (V)

- se refiere en un estado distinguible de ese aspecto (R)
- respecto al cual se hace algo para saber qué estado se ha dado (I)

Las investigaciones trabajan con datos de distinto tipo que se encuentran insertos en distintos niveles de integración. Se define así un conjunto de matrices de datos que guardan entre sí relaciones lógico – metodológicas; los niveles de integración son el contextual (nivel supra), focal o textual, subunitario o subtextual y co-textual o coordinado. Una investigación tiene un sistema de matrices de datos central, una de las cuales se define como nivel de anclaje de la investigación, un nivel inmediato superior que constituye el contexto y un nivel inferior que posibilita el análisis. Los distintos niveles de integración de una investigación no comparten variables: cada nivel tiene sus propias variables.

Las relaciones entre niveles se dan en un contexto constitutivo y regulativo: hacia arriba hay una relación de constitución mientras que hacia abajo la relación es de regulación o resignificación. Todo nivel dado está constituido por elementos de nivel inferior y está regulado por elementos de nivel superior.

En el desarrollo del trabajo presentado en esta tesis se trabajaron distintas matrices de datos, con distintos niveles de integración; el manejo complejo de las matrices de datos es parte del trabajo de investigación y no siempre se expone claramente su estructura durante el proceso. A continuación se explicitan algunas de las matrices utilizadas:

Nivel Anclaje: Confort visual en aulas		
Unidad de análisis	Variables	Valor
Espacio (aula)	Luz natural disponible	Buena Regular Insuficiente
	Características de la envolvente edilicia	Óptimas Buenas Regulares No satisfactorias

La construcción de los valores (nominales) de estas variables surge a partir del trabajo en los niveles sub-unitarios. Las unidades de análisis de nivel inferior le otorgan valor a la variable de nivel superior y los indicadores proceden de la evaluación de las variables de nivel inferior, que tienen su propio valor. El valor del indicador no es nunca el mismo valor de la variable sino una base o premisa para inferir su valor, de acuerdo a ciertas reglas: va de la parte al todo mediante una inferencia abductiva. Los indicadores apuntan a la variable pero no la agotan; toda variable abarca una sub-objetividad del objeto estudiado.

Las relaciones metodológicas relevantes que se establecen entre matrices de distinto nivel son:

- las variables de nivel inferior pueden funcionar como dimensiones (= sub-variables) para construir indicadores que permitan conocer el valor de variables del nivel superior;
- las unidades de análisis del nivel inferior pueden ser elementos componentes cuyos comportamientos se expresan como variables del nivel superior
- las unidades de análisis del nivel superior pueden ser contextos relevantes de los niveles inferiores.

Las conclusiones del trabajo con las unidades de niveles inferiores, adecuadamente procesadas e interpretadas, sirven para proporcionar criterios para enunciar contenidos de las estructuras de niveles superiores. De igual modo, los resultados obtenidos en niveles superiores pueden resolver problemas que plantean los indicadores de las variables de los niveles inferiores; especialmente en el caso de variables contextuales.

Nivel -1: Luz natural disponible		
Unidad de análisis	Variable	Valor
Luz natural (en el espacio interior)	Nivel de iluminación (iluminancia)	Numérico, expresado en lux sobre el plano de trabajo
		<i>Indicador:</i> medición directa con luxómetros en casos de estudio o expresada mediante el FLD % según cálculo.
	Superficie de captación (tamaño de abertura)	Superficie en m ²
		<i>Indicador:</i> medición sobre plano arquitectónico
	Distribución de luz en el espacio	Uniforme
		No uniforme
	Dirección de la luz	Lateral
		Vertical
	Obstrucciones exteriores de luz natural	SI
		NO
		<i>Indicador:</i> análisis de documentación arquitectónica / verificación directa en casos de estudio

Nivel -1: Características de la envolvente edilicia en relación con la distribución de la luz natural		
Unidad de análisis	Variable	Valor
Envolvente espacial	Forma y dimensiones del espacio / Proporción geométrica (ancho/largo)	Numérico, expresado como proporción matemática <i>Indicador:</i> medición sobre plano arquitectónico
	Reflectividad de superficies de la envolvente	Alta Media Baja <i>Indicador:</i> índice de reflexión tabulado según color y textura
	Tamaño de la abertura	Superficie en m ² <i>Indicador:</i> medición sobre plano arquitectónico
	Obstrucciones interiores de luz natural	SI NO <i>Indicador:</i> análisis de documentación arquitectónica / verificación directa en casos de estudio
		Presencia de elementos redireccionadores de luz

El valor del indicador permite inferir el valor de la variable, considerando los siguientes pasos: aplicar un procedimiento, que puede arrojar distintos resultados; a partir del resultado obtenido se infiere el valor de la dimensión de la variable y finalmente a partir del valor de la dimensión se infiere el valor de la variable. Estos pasos analógicos son posibles suponiendo que hay estructuras análogas entre los resultados posibles del procedimiento, los valores posibles de la dimensión y los valores posibles de la variable; sin esta suposición no sería posible construir el dato a partir del indicio observado.

Habitualmente se expresa el valor del indicador, no de la variable, y esto lleva a creer que se expresa la variable misma; la variable es un concepto teórico, no observable directamente, sino a través del indicador. Las variables no son concebidas como sustancias, sino que se definen conceptualmente. Lo teórico y lo empírico no son reductibles mutuamente. La definición operacional del indicador implica la reducción del contenido de la variable a ciertas dimensiones relevantes y observables.

Entonces, para construir el valor de algunas variables fue necesario trabajar en un nivel inferior:

Nivel -2: Reflectividad de superficies de la envolvente		
Unidad de análisis	Variable	Valor
Envolvente interior	Reflectividad de paredes	Numérico %
	Reflectividad de pisos	Numérico %
	Reflectividad de techos	Numérico %
		<i>Indicador:</i> en todos los casos, los valores establecidos mediante ensayos físicos y tabulados según color

En este ejemplo, el análisis de la combinación de los valores numéricos correspondientes a los índices de reflectividad de paredes, piso y techo o cielorraso da como resultado los nuevos valores (nominales) de la variable del nivel superior (en el ejemplo, alto, medio y bajo).

Por otra parte, la luz natural disponible también está condicionada por una serie de factores contextuales del edificio que se identifican en una matriz de nivel superior o contextual:

Nivel +1: Disponibilidad exterior de luz natural		
Unidad de análisis	Variable	Valor
Edificio	Según latitud	Buena Regular Reducida
		<i>Indicador:</i> indicación de horas de luz según trayectoria solar
	Según clima	Muy buena Buena Regular Insuficiente
		<i>Indicador:</i> mediciones realizadas en estaciones de medición mediante piranómetros, en lúmenes/m ²
	Según topografía	Muy buena Buena Regular
		<i>Indicador:</i> detección de presencia de accidentes topográficos (por ejemplo montañas) que obstruyan la luz mediante relevamiento directo, mapas o fotos satelitales.
	Según densidad del entorno urbano	Buena Regular Mala
		<i>Indicador:</i> relevamiento directo del entorno urbano o lectura de mapa.
	Según configuración edilicia	Buena Regular
		<i>Indicador:</i> análisis del anteproyecto arquitectónico
	Según condiciones de vegetación exterior	Buena Reducida
		<i>Indicador:</i> relevamiento directo del entorno edilicio

Al mismo tiempo, fue necesario estudiar específicamente la percepción subjetiva de confort para poder incorporarla en el procedimiento de de pre-dimensionado y las variables involucradas se presentan en una matriz simultánea o paralela a las otras que puede considerarse como un nuevo nivel de anclaje

Nivel Anclaje 2: Percepción subjetiva de confort visual		
Unidad de análisis	Variable	Valor
Ocupante	Percepción del nivel de iluminación del ambiente	Malo
		Ligeramente bajo
		Confortable
		Algo alto
		Muy alto
		<i>Indicador: respuesta a encuestas</i>
	Percepción de luz ambiente	Luminoso
		Agradable
		Oscuro
		<i>Indicador: respuesta a encuestas</i>
Percepción de iluminación sobre plano de trabajo	Malo	
	Ligeramente bajo	
	Confortable	
	Algo alto	
	Muy alto	
	<i>Indicador: respuesta a encuestas</i>	
Percepción de iluminación sobre pizarrones	Malo	
	Ligeramente bajo	
	Confortable	
	Algo alto	
	Muy alto	
	<i>Indicador: respuesta a encuestas</i>	
Valoración de vistas y contacto con el exterior	Si	
	No	
	Indiferente	
	<i>Indicador: respuesta a encuestas</i>	

Cabe aclarar que se presentan aquí algunos ejemplos de las matrices de datos con las cuales se trabajó durante el desarrollo del estudio; en el trabajo hay un ida y vuelta constante de mayor complejidad entre matrices de datos de distinto nivel; sin embargo, en cualquier instancia del trabajo, las matrices permiten manejarse con un cierto orden desde el punto de vista de la lógica del método.

Centramientos de los datos para direccionar el análisis

A partir de la identificación de la matriz de datos como el ordenador que orienta el análisis y tratamiento de los datos según sus direcciones, los centramientos del análisis según sus componentes responden a la lógica en los procedimientos de reducción de la información. Considerando los componentes de la estructura del dato, Galtung identifica dos tipos de análisis: el tratamiento centrado en la unidad de análisis y el análisis centrado en la variable; a estas dos direcciones de orden estructural, J. Samaja agrega una tercera, el análisis

centrado en el valor, incorporando una dimensión genético / constructiva, que permite comprender el proceso constructivo del dato.

Los procedimientos de compactación o reducción de la información llevan a la organización formal de los tipos de tratamiento de datos, que pueden ser reducidos a tres tipos de organización del análisis tomando como base la estructura de la matriz de datos: centramientos en dirección de las unidades de análisis, en dirección de las variables, y en dirección del valor, cuyo criterio formal aporta J. Samaja al incluir el concepto de sistema de matrices de datos y niveles de integración.

El análisis centrado en dirección de las unidades de análisis permite combinar la información, analizando los distintos valores que presenta cada unidad de análisis en las variables. Se puede examinar qué tipo de perfiles de unidades de análisis o qué tipo de combinaciones o pautas son significativas o relevantes, combinando el valor de cada variable, observando en dirección de las unidades de análisis. En este análisis se llevan a cabo las tareas de caracterización de configuraciones, perfiles, tipologías o estructuras.

En la tesis desarrollada se realizó un análisis de este tipo para categorizar las configuraciones de espacios (aulas) de similares características para posteriormente llevar a cabo el análisis de las variables. A partir de las condiciones de referencia (dimensiones, altura de dintel y ubicación de aberturas), se agruparon las unidades de análisis en 3 clases generales: aula cuadrada con aberturas en un lado, aulas con aberturas en el lado mayor y aulas con aberturas en el lado menor; dentro de estas grandes clases, se procedió a definir subgrupos (excepto para el aula de forma cuadrada, de proporción 1:1), según progresión de la proporción geométrica, agrupando los casos que resultaran similares para facilitar el análisis de las variables en la siguiente instancia del trabajo.

El análisis centrado en la dirección de la variable permite computar la información, compactar, realizar asociaciones entre variables o analizar sus relaciones de determinación o indeterminación. Cada variable informa sobre el comportamiento de la población de unidades de análisis respecto de uno de sus aspectos relevantes. Este tipo de análisis trabaja en el nivel descriptivo y permite el tratamiento de poblaciones de mediciones. Se resume la información en dirección la variable: cuántas unidades de análisis tienen un cierto valor en una determinada variable; la síntesis implica computar datos y medidas descriptoras. El tratamiento y análisis de información se puede llevar a cabo mediante procedimientos de estadística descriptiva, posibilitando un salto del nivel de las unidades de análisis a la información y explicación del grupo o conjunto, sintetizando la información en un nuevo nivel de integración.

Volviendo al ejemplo del trabajo de tesis, este tipo de análisis se utilizó en la instancia de tratamiento de las encuestas en los casos de estudio, donde se empleó la estadística como herramienta para la comprensión del comportamiento de algunas variables, o bien en el análisis de las variables mismas cuando, por ejemplo, se analizaron los valores de ángulos de cielo visible, con y sin obstáculos, o bien el estudio de los valores de las áreas de superficies interiores en relación con la variación de altura del local.

El análisis centrado en el valor, desde el punto de vista lógico formal, combina la dirección horizontal y la vertical de la matriz de datos, pero opera a nivel subunitario. El tratamiento centrado en el valor permite sistematizar la información perteneciente a una variable que se encuentra desagregada en subvariables o dimensiones; comprende tratamientos destinados a sistematizar, codificar y/o agregar información, en dirección de la construcción de una variable; trabaja con subvariables como si fueran variables, en un nivel inferior, buscando una clasificación u ordenamiento síntesis de la información y es útil para encontrar posibles formas de agrupar valores, orientados a la construcción de sistemas de clasificación.

El ejemplo de este tipo de análisis en la tesis es la construcción de los valores resumen de la reflectividad promedio de las superficies interiores, donde a partir del análisis de los valores numéricos tabulados según color para cada superficie, se llega a nuevos valores síntesis de reflectividad según combinatorias posibles, los denominados tipos 1 a 4 para el posterior trabajo de cruce de variables.

Para construir las matrices de datos que posibiliten poner a prueba las hipótesis, se llevan a cabo una serie de operaciones: *entificar*, identificando las partes componentes del objeto investigado; *clasificar*, ordenando de acuerdo a un sistema de clases o categorías y *operacionalizar*, trabajando con ciertos procedimientos para definir el valor de la unidad de análisis en una variable analizada. Este proceso implica la desagregación de objeto de estudio para poder construir, de acuerdo a las hipótesis y los objetivos de la investigación, el sistema de matrices de datos; el objetivo del tratamiento y análisis de los datos es volver a una síntesis del objeto de estudio, que arroje un nuevo conocimiento sobre el objeto o asunto investigado.

Tipo de análisis llevado a cabo

La realidad es compleja, multideterminada y un fenómeno a investigar es inabarcable en toda su complejidad; para poder trabajar con esos hechos o fenómenos es necesario recortarlos, simplificarlos, reducirlos a proporciones que se puedan manipular. La elaboración del dato (y la construcción de la matriz de datos) implica una selección o recorte

realizado en función de la selección de atributos o aspectos relevantes en función de las hipótesis sustantivas y la carga teórica de la investigación.

En función de las hipótesis y presunciones teóricas, se buscan vínculos o determinaciones entre los atributos o variables que describan el objeto investigado; desde el punto de vista del procedimiento, este es el trabajo desarrollado en el tratamiento centrado en las variables, donde se realiza su cruce con el fin de determinar relaciones de asociación o correlación y/o causalidad. En la elección de las variables a cruzar se reconoce su vinculación en el asunto estudiado, ya que el trabajo de investigación se orienta a la búsqueda de regularidades, de relaciones significativas en el asunto investigado; en la asociación, el fenómeno está afectado por la influencia de una o más variables sobre otra.

El análisis realizado en esta tesis es entonces un análisis multivariado, realizado con el apoyo de la planilla de cálculo EXCEL; dado que el cruce de variables para diseñar el procedimiento de pre-dimensionado de aberturas parte de una ecuación matemática, la mencionada planilla permitió volcar los valores de las variables en varias etapas e ir así estudiando su influencia en los resultados numéricos finales (en la tesis, los valores del FLD resultantes); el gráfico para el pre-dimensionado final es una síntesis del resultado del cruce entre las variables.

En el capítulo donde se describe el procedimiento de pre-dimensionado de aberturas, que toma como base la ecuación del cálculo del FLD, se analizan por separado las posibles variaciones en el valor de las variables involucradas (superficie de envolvente, reflectividad promedio, ángulos de cielo visible), para finalmente cruzarlas en las planillas EXCEL y estudiar los resultados obtenidos.

Comentario final

En este capítulo se explicitó, desde el punto de vista metodológico, cómo a partir de un problema en un determinado contexto, se operó sobre el mundo real, recortando y fragmentando ese mundo empírico para crear un "objeto modelo", el objeto de investigación, y se trabajó con él a partir de una hipótesis para llegar a un resultado que permitiera, o al menos intentara, confirmarla.

A partir del análisis del cruce de variables y sus resultados, se pudo elaborar el procedimiento propuesto como objetivo de la investigación, producto de la incorporación del dato "asimilado" en todo el proceso realizado. El proceso fue desde la percepción subjetiva de confort visual expresada por los ocupantes del espacio hasta su sistematización en un procedimiento de predimensionado aplicable en el proceso de diseño arquitectónico.

En *Epistemología y metodología*, Juan Samaja agrupa las tareas del proceso de investigación en cuatro instancias de validación, con fases y momentos dentro de cada una de estas instancias, en relación con la necesidad de establecer y probar distintos tipos de hipótesis, sintetizando la totalidad del proceso en lo que denomina *Modos del Método*. A modo de muy breve resumen del trabajo de investigación realizado en la tesis y tomando como base los *Modos del Método* mencionados se pueden sintetizar los pasos realizados:

- *Instancia de validación conceptual:*

Fase 1- De planteamiento: se analizaron los antecedentes sobre el tema (variables subjetivas de confort visual) y se revisaron de antecedentes de investigaciones sobre temas de confort visual en edificios escolares.

Fase 2- Formulativa: se formuló del problema y, a partir de él, la hipótesis sustantiva como respuesta tentativa; se formularon también los objetivos del trabajo de tesis.

- *Instancia de validación empírica:*

Fase 3- Diseño del objeto: comprendió el planteo inicial de unidades de análisis (espacio del aula) y variables a partir del marco teórico y conocimientos previos.

Fase 4- Diseño de los procedimientos: se definieron los tipos de diseño de investigación (exploratorio y descriptivo) según las etapas de trabajo; se eligieron los casos de estudio y diseñaron los instrumentos para recopilar los datos (encuesta).

- *Instancia de validación operativa:*

Fase 5- Recolección y procesamiento: se realizaron las encuestas a ocupantes de las aulas y las mediciones fotométricas simultáneas

Fase 6- Tratamiento y análisis: evaluación de encuestas mediante estadística descriptiva y métodos cualitativos para interpretar la percepción subjetiva de confort visual. Cruce de variables utilizando el programa EXCEL para finalmente elaborar el procedimiento de pre-dimensionado a partir de los resultados obtenidos.

Con respecto a la última instancia de validación, la *expositiva*, se ha elaborado esta tesis teniendo en cuenta el reconocimiento de los destinatarios posibles, presentando la información de manera que pudiera ser comprendida por lectores que no contaran con conocimiento técnico específico sobre iluminación natural en arquitectura.

Conclusiones

Habiendo completado el desarrollo del trabajo de tesis, cabe agregar aquí algunas reflexiones generales sobre el trabajo realizado y los resultados obtenidos.

Cuando se comenzó a trabajar en el tema, se buscó aportar una herramienta aplicable a la instancia de diseño del anteproyecto, elaborada a partir de los conocimientos previos, disciplinares y propios adquiridos a través de la práctica profesional vinculada al tema de investigación, que permitiera incorporar la sensación subjetiva de confort en el proceso de desarrollo de esa herramienta.

En el proceso se trató avanzar más allá de la simple indicación normativa tradicional de que la superficie de abertura debe ser una proporción matemática o porcentaje de la superficie del local, incorporando las variables que influyen en el confort visual de los ocupantes. La tarea realizada describe un camino posible, que relaciona el confort visual con las condiciones espaciales, las características de la envolvente arquitectónica y la disponibilidad de luz resultante.

Al respecto, se corroboró la idea propuesta en la hipótesis, ya que se identificaron y definieron variables subjetivas de confort visual vinculadas con calidad de la iluminación natural, y se incorporaron junto con otras variables en un procedimiento de sencillo para pre-dimensionar aberturas, que asegure desde el anteproyecto una adecuada calidad de luz natural, y por lo tanto condiciones favorables para el confort visual de los ocupantes. Esto compensa las deficiencias del método de dimensionado tradicional (proporción matemática) y permite además tener en cuenta las condiciones reales de luz natural en relación con las condiciones climáticas.

Adicionalmente, la propuesta de cruce de las variables involucradas utilizando una planilla EXCEL como base de cálculo permite modificar rápidamente los valores de las variables de modo de facilitar el análisis de nuevas combinaciones de valores, posibilitando reajustar el gráfico base para el pre-dimensionado según los requerimientos de diseño.

Más allá del objetivo específico del trabajo de tesis, el resultado ha sido el disparador de nuevas inquietudes y perspectivas de estudio desde el punto de vista disciplinar, que serán trabajadas en el futuro, como por ejemplo, la incorporación en el procedimiento de sistemas de redireccionamiento de luz o distintas variantes de sistemas de protección de la radiación solar.

Los estudios sobre la percepción subjetiva de confort visual se encuentran en pleno desarrollo y buscan, precisamente, avanzar con el fin de mejorar las condiciones de confort de los ocupantes, más allá de un parámetro físico con un registro numérico. La propuesta de esta tesis fue realizar un aporte, con un fin más práctico que teórico desde el punto de vista de la práctica profesional, para contribuir a diseñar ambientes más confortables, saludables y producir una arquitectura ambientalmente responsable, tanto desde el punto de vista de los recursos energéticos como de la calidad del espacio interior ofrecido al ocupante.

Con respecto a la metodología de investigación, se planteó un determinado proceso en función del objetivo de la investigación y del conocimiento previo sobre el tema; también se tomaron en cuenta las dificultades que implica trabajar con una percepción que es individual y subjetiva (el confort visual del sujeto), para poder incorporarla en algo más pragmático y objetivo como un procedimiento de para pre-dimensionar un elemento que forma parte de un proyecto arquitectónico (la abertura), con el fin de obtener un adecuado nivel de iluminación natural.

El esquema metodológico expuesto en el capítulo 6 fue el ordenador del proceso, y también es producto de una serie de decisiones que el investigador va tomando al realizar su trabajo; no siempre están claramente delimitadas las matrices de datos y su interrelación en los niveles de integración; en muchas ocasiones se descartaron variables que parecían relevantes y finalmente no aportaban mayor información; otras se focalizó el trabajo en subniveles para definir los valores de variables, y ese ir y venir no es planificado sino que se va construyendo el proceso mismo durante el trabajo. Ciertas decisiones, recortes y revisiones de alcances y contenidos también formaron parte del trabajo de investigación.

Durante el proceso hubo idas y vueltas, cambios de formulación, y cambios operativos que son propios de cualquier proceso de investigación. Y los resultados obtenidos han sido lo suficientemente fructíferos como para plantear nuevas inquietudes que derivarán en nuevos problemas... y nuevas hipótesis a resolver, más allá de la propuesta de este trabajo de tesis.

Bibliografía

- AGUILAR RICO M. y GIMENEZ VICENTE B. *Iluminación y color*. Editor: Servicio de Publicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 1995. ISBN 84-7721-354-2
- ALTOMONTE S. "Daylight for energy savings and physio-psychological well-being in sustainable built environments", en *Journal of Sustainable Development*, Vol. 1, nº 3, Noviembre 2008, en <http://www.ccsenet.org/journal.html>
- ALTOMONTE S., "Daylight and the occupant: visual and physio-psychological well-being in built environment", en *Proceedings of PLEA 2009- 26º Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Quebec, Canada, 2009.
- AAVV *Daylight in Buildings. A source book on daylight systems and components*. IEA, International Energy Agency, Published by Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000, en www.iea-shc.org
- AAVV, *Luz, Visión, Comunicación*. Tomo I. Asociación Argentina de Luminotecnia (AADL), Buenos Aires, 2001. Cap. 5: *Factores humanos en iluminación*; autora Dra. Colombo Elisa, y Cap. 6: *Iluminación natural*; autor John Martin Evans.
- AXARLI K., TSIKALOUDAKI K. *Enhancing visual comfort in classrooms through daylight utilization*. Proceedings of Clima 2007 Finlandia, Wellbeing Indoors, en www.docstoc.com
- BAKER N. editor, *Daylight design guidelines*. London: James & James, 1998.
- BAKER N. & STEEMERS K., *Daylight design of buildings*, London: James & James (Science Publishers) Ltd. , 2002. ISBN 1-873936-88-5
- BELL J. & BURT W., *Designing buildings for daylight*, BRE (British Research Establishment) Publications, Construction Research Communications Ltd., London, 1995. ISBN 1-86081-026-8.
- BELLIA L., CESARANO A. IULIANO G., SPADA G. *Daylight glare: a review of discomfort indexes*. En www.fedoa.unina.it/1312/1/Bellia_paper.pdf
- BLALOCK H. *Introducción a la investigación social*. Amorrortu Editores, Buenos Aires, 2001, ISBN 950-518-032-2
- BOYCE P., HUNTER C. y HOWLETT O. *The benefits of daylight through windows*. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 2003, en www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/DaylightBenefits.pdf
- BOYCE P. "Reviews of Technical Reports on daylight and productivity", Lighting Research Center, 2004, En www.lrc.rpl.edu/programs/daylighting
- BRANZ Ltd. + Ministry of Education, New Zealand, *Designing Quality Learning Spaces: Lighting*, Nueva Zelanda, 2007. ISBN 0-478-13619-6, Web ISBN 0-478-13619-2.
- BRENNAN J. *Effects of light in humans*, 2007, en es.scribd.com/doc/37010204/Brennan-Effects-of-light-in-humans-full-version
- CASABIANCA G., "Relación entre mediciones *in-situ* y respuestas de los ocupantes en una evaluación post-ocupación de edificios escolares", Art. Técnico, en *Anais del V Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construido, ENCAC*, Ouro Preto (Brasil), 2007.

- CASABIANCA G y EGUIA S. *Evaluación post-ocupación de confort térmico y visual en edificios escolares: aporte de los usuarios y validación mediante ensayos y simulaciones*. En *Confort y Eficiencia Energética en la Arquitectura*. Editado por la UAM – Universidad Autónoma Metropolitana. Editores: V. Fuentes Freixenet et al. Ciudad de México. Págs. 127 a 132, Vol. I, ISBN 968-18-6744-0. Año 2005.
- CASABIANCA G., EVANS J. y SNOJ M. “Evaluación de condiciones de iluminación en aulas del área de Educación Deportiva de la UBA”, en *Revista AVERMA: Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 13, INENCO, UNSa, 2009. ISSN 0329-5184
- COLOMBO E., O'DONNELL B. y KIRSCHBAUM C. *Iluminación eficaz, calidad y factores humanos*. En www.edutecne.utn.edu.ar/eli.iluminación
- Dep. Of Energy (DOE), *National Best Practices Manual for Building High Performance Schools*. 2008. En www.doe.gov/bridge.
- ECO U. *Como se hace una tesis*. Edit. Gedisa Mexicana S.A., México D.F., 2004. ISBN 968-852-116-7
- ENERGY STAR *Energy Star Building Manual*. Cap.6: Lighting. En www.energystar.gov.
- FORD A. *Designing the sustainable school*. Images Publishing Group, Victoria, Australia, 2007, ISBN 978-186470-237-8.
- GALASIU A. & VEITCH J. “Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review”, en *Energy and Buildings*, v. 38, nº 7, julio 2006, pp 728-742, NRCC 47621, en <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>
- HERSCHONG MAHONE GROUP, *Daylighting in Schools, an investigation into the relationship between daylighting and human performance. Condensed report*, Daylighting Initiative, Pacific Gas and Electric Company, California y EREN, DOE, USA, 1999; en www.pge.com/pec/daylight/
- HERSCHONG L., WRIGHT R. & OKURA S. “Daylight impacts on human performance in school” en *Journal of the Illuminating Engineering Society*, summer 2002. En www.lightingcontrols.com/campus/pdf/IESNA_paper41_school.pdf
- HERSCHONG L., WRIGHT R. “Daylight impacts on human performance: latest findings” en *Human and social dimensions of energy use*. 8.91 a 8.104. En eec.vcdavis.edu/ACEEE/2002
- INNOVATIVE DESIGN *Guide for daylighting schools*. Daylighting dividends- Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, 2004, en www.lrcrpi.edu, www.daylightdividends.org.
- IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales), Normas IRAM AADL J 20-02 y J 20-03: Iluminación natural de edificios, Buenos Aires: IRAM, 1969, y Norma IRAM AADL J 20-04, Iluminación Natural en Escuelas, Buenos Aires, 1974.
- JAGO E., TANNER K. *Influence of the school facility on student achievement: lighting*. Department of educational leadership, University of Georgia, 1999. En www.coe.uga.edu
- KIRSCHBAUM D. *El color de la luz y sus efectos*. En *Revista Megaluz*, Año 4, Nº 23, noviembre/diciembre 2005, Edigar Grupo Editor, Buenos Aires.
- LESLIE R., SMITH A., RADETSKY L., FIGUEIRO M., YUE L. *Patterns to daylight schools for people and sustainability*, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, 2010, en www.lrc.rpl.edu/programs/daylighting

- MARINCIC I. y OCHOA J. M. *Metodología para el análisis de iluminación natural para edificios educativos en climas cálidos secos*. En Anais do ENCAC-COTEDI 2003, Curitiba, Brasil, 2003
- MATIELLO M. *Situaciones que afectan al confort visual*. En Revista Megaluz, Año 4, N° 20, Mayo/junio 2005, Edigar Grupo Editor, Buenos Aires.
- O'CONNOR J. *et al, Tips for daylighting with windows. The integrated approach*. Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, 1997.
- PATTINI A. *Iluminación en entornos de trabajo*. En www.cricyt.edu.ar
- PATTINI A. *Estudiando a la luz de la energía solar. Escuelas con iluminación natural en sus espacios interiores para optimizar la calidad ambiental y el ahorro de energía*. En Revista Megaluz, Año 4, N° 19, marzo/abril 2005, Edigar Grupo Editor, Buenos Aires.
- PATTINI A. y KIRSCHBAUM C. "Evaluación subjetiva de aulas iluminadas con luz natural" en Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), Vol 2, N° 1, año 1998, ISSN 0329-5184, INENCO, Salta, 1998.
- PHILLIPS D. *Daylighting: natural light in architecture*. Architectural Press, Elsevier, Oxford, U.K., 2004, ISBN 0-7506-6323
- RODRIGUEZ R. y PATTINI A. *Determinación de satisfacción visual por medio de evaluaciones post-ocupacionales no residenciales. El caso de oficinas*. En Revista AVERMA (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente), Vol 14, año 2010, pp5.57 a 5.64, ISSN 0329-5184, INENCO, Salta, 2010.
- RUCK N. *et al, Daylight in Buildings. Report of IEA SHC Task 21*, International Energy Agency, 2000, <http://www.iea-shc.org>
- SAMAJA J. *Epistemología y metodología*. Edición ampliada. EUDEBA, Buenos Aires, 1993, ISBN 950-23-0931-6
- SAMAJA J. *Proceso, diseño y proyecto en investigación científica*. JVE Ediciones, Buenos Aires, 2004, ISBN 987-9203-40-2
- TREGENZA P. y LOE D. *The design of lighting*. E&FN SPON, Londres, 1998, ISBN 0-419-20440-7
- Van BOMMEL W. y Van der BELD G. *Lighting for work: a review of visual and biological effects*. Lighting Research Technology, 36, 4, pp 255 a 269, 2004. En www.solq.nl
- VEITCH J. *Lighting quality contributions from biopsychological processes*. NRCC 42468. Journal of the Illuminating Engineering Society, 30 (N° 1) 3-16, 2001, en www.nrc-cnrc-cg.ca/.../nrcc42468/nrcc42468.pdf
- VEITCH J. "Lighting guidelines from lighting quality research" CIBSE National Conference, 2000.
- VELDS M. *User acceptance studies to evaluate discomfort glare in daylight rooms*, Solar Energy, 73(2), 95-103, 2002.
- WALL K., DOCKRELL J., PEACEY N. *Primary Schools: the built environment*. Institute of Education, University of London, University of Cambridge, U.K., 2008, en www.primaryreview.org.uk
- YNOUB R. *El proyecto y la metodología de la investigación*, 1º Edic., Cengage Learning, Buenos Aires, 2008 ISBN 978-987-22665-7-8

I – Cuestionario para relevamiento sobre iluminación y confort visual

II- Glosario de términos específicos vinculados al tema iluminación

Cuestionario para relevamiento sobre iluminación y confort visual

**RELEVAMIENTO DE CONFORT VISUAL
ILUMINACION NATURAL – VENTANAS y ASOLEAMIENTO DIRECTO**

IDENTIFICACION ESPACIO:

Indicaciones generales:

El objetivo de esta encuesta es relevar las condiciones de confort visual de las aulas, talleres y otros espacios del edificio, considerando el punto de vista de sus ocupantes. Este relevamiento se complementa con mediciones del nivel de iluminación con instrumental específico. La respuesta de los ocupantes es muy importante para detectar problemas de confort y orientar las soluciones o mejoras a proponer.

TALLER / PISO					
ORIENTACION DEL TALLER					
TURNO					
CONDICIONES GENERALES DEL AULA (Estado general, pintura, limpieza)	MBuena	Buena	Regular	Mala	No sabe

CONDICIONES DE ILUMINACION NATURAL:

Iluminación	Malo	Algo Bajo	Confortable / bueno	Ligeramente alto	Muy alto
Cómo percibe el nivel de iluminación ambiente					
Cómo lo preferiría					
Iluminación sobre plano de trabajo					
Iluminación sobre pizarrones					

Preferencias en iluminación	Iluminación natural	Iluminación artificial	Ambas combinadas

Impresión de la luz ambiente	Luminoso	Agradable	Oscuro

Distribución de la luz en el ambiente	Desigual (Especificar problemas)	Uniforme / agradable

Disconfort visual / causas	Contrastes	Reflejos (especificar fuentes)	Otros problemas detectados

PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE CONFORT VISUAL CON ILUMINACIÓN NATURAL:

Defina mediante 3 a 5 palabras (Ejemplo: *claro, brillante, luminoso, oscuro, etc.*)

Cómo percibe el espacio:	Cómo lo preferiría:

ILUMINACION NATURAL – VENTANAS y ASOLEAMIENTO DIRECTO

VENTANAS	SI	NO	INDIFERENTE
Considera importante la presencia de ventanas			

Motivo de valoración de las ventanas	Luz	Vistas	Contacto con el exterior- otras
Causas			

Problemas respecto a las ventanas	SI	NO
Tamaño: Grandes		
Pequeñas		
Satisfactorio		
Entra mucho calor en épocas cálidas		
Frío o entrada de aire por infiltraciones en épocas frías		
Exceso de luz o ingreso de sol directo no confortables		
Problemas de contrastes o deslumbramientos		
Problemas de ruidos exteriores		
Necesidad de controles de acceso de la luz natural o el sol directo		

Condiciones generales del espacio:

Está de acuerdo con la disposición general de:	SI	NO
Organización general del equipamiento		
Ubicación de las mesas		
Ubicación de pizarrones		
Relación mesas / ventanas		
Qué elementos cambiarían?		

Glosario de términos específicos vinculados al tema iluminación***Unidades y magnitudes de iluminación***

Flujo luminoso: energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Unidad de medida: lumen (lm).

Intensidad luminosa: flujo luminoso emitido en una dirección determinada por una luz que no tiene una distribución uniforme. Unidad de medida: candela (cd).

Iluminancia o nivel de iluminación: cantidad de luz incidente sobre una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo luminoso de un lumen. Unidad de medida: lux = lm/m².

Luminancia o brillo fotométrico: se define para una superficie en una dirección determinada, y es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por un observador situado en la misma dirección (superficie aparente). Unidad de medida: cd/m². Lo que realmente percibimos es el espacio iluminado; no la iluminación total sino la diferencia de luminancias entre los objetos y el entorno, debido a la capacidad de adaptación del ojo. Para tareas visuales en interiores la diferencia de luminosidad no debe superar la relación 3/1 y en exteriores lo adecuado es una relación de 10/1.

Contraste: diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes de un objeto.

Reflectancia: proporción de la luz que es reflejada por una superficie. En la iluminación de espacios interiores, la reflectancia influye en la calidad y en el confort visual; la luz que se dispersa al chocar con las superficies de los objetos contribuye a la iluminación difusa del entorno.

Rendimiento visual: término que se utiliza para describir la velocidad de funcionamiento del ojo y la exactitud con la que se lleva a cabo una tarea. Para el logro de una buena visibilidad, el factor más importante está relacionado con la luminancia de la tarea y su entorno. Las propiedades del sistema visual afectadas por adaptación a la luminancia son: agudeza visual (capacidad para discriminar entre detalles u objetos que están muy juntos), sensibilidad al contraste (capacidad para distinguir las pequeñas diferencias de luminancia relativa) y eficiencia de las funciones motoras oculares para la acomodación, convergencia, contracción pupilar, movimientos del ojo, etc.

Satisfacción visual: término utilizado para describir la aceptabilidad de las condiciones visuales. En espacios interiores, la satisfacción visual está relacionada con la facilidad para desarrollar la tarea y con lo agradable que resulte el ambiente visual. Está afectada por el ambiente luminoso y por las preferencias individuales.

Nómina de siglas y abreviaturas	2
Introducción	3
Capítulo 1: Introducción al tema de la tesis	
Introducción	5
Problema de investigación	8
Justificación del tema	9
Objetivos	11
Marco teórico	11
Iluminación natural en arquitectura	14
Factores humanos en iluminación	18
Confort visual e iluminación natural en edificios	23
Iluminación natural, confort visual y diseño de edificios educacionales	26
Capítulo 2: Antecedentes	
Estado de la cuestión	30
Confort visual y factores humanos	31
Confort visual y calidad de iluminación	33
Iluminación natural en aulas de edificios educacionales	35
Capítulo 3: Variables vinculadas a la iluminación natural y el confort visual.	
Variables relacionadas con la calidad de la iluminación natural y el confort visual	48
Variables relacionadas con el confort visual en espacios destinados a educación	53
Características de la envolvente arquitectónica y confort visual	56
Resumen	66
Capítulo 4: Identificación de variables subjetivas de confort visual a partir de casos de estudio.	
Introducción	69
Encuestas para evaluación subjetiva de confort visual	70
Desarrollo de los casos de estudio: relevamiento de la percepción subjetiva de confort visual en aulas	74
Edificio escolar de nivel primario – Escuela n° 37 Tte. Gral Pablo Ricchieri	75
Edificio escolar de nivel secundario – Colegio Nacional de Buenos Aires (CNBA)	84
	159

Edificio educacional de nivel universitario – Aula-taller de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires	91
Edificio educacional de nivel universitario superior (posgrado) – Aulas de la Dirección de Deportes de la Universidad de Buenos Aires	95
Identificación de variables subjetivas de confort visual a partir de los casos de estudio	102

Capítulo 5: Desarrollo y descripción de un procedimiento para optimizar condiciones de confort visual con luz natural en aulas de edificios educacionales.

Introducción	108
Análisis de la influencia de las variables involucradas en el dimensionado de la superficie de aberturas para optimizar condiciones de iluminación natural	111
Procedimiento de pre-dimensionado de superficies de aberturas para optimizar iluminación natural en aulas de edificios educacionales.	126
Conclusiones	129

Capítulo 6: Desarrollo metodológico del trabajo de tesis.

Introducción	131
Elaboración de hipótesis	132
Recopilación de los datos	133
Muestra	137
Plan de análisis y tratamiento de los datos	138
Estructura de las matrices de datos	140
Centramientos de los datos para direccionar el análisis	145
Tipo de análisis llevado a cabo	147
Comentario final	148

Conclusiones

150

Bibliografía

152

Anexos

I – Cuestionario para relevamiento sobre iluminación y confort visual	156
II - Glosario de términos específicos vinculados al tema iluminación	158