

LUZ Y SALUD

Resumen

Una buena iluminación del lugar y el puesto de trabajo son esenciales para el óptimo desarrollo de las tareas, especialmente si los trabajadores van haciéndose mayores. Los efectos de una buena iluminación se han ido conociendo durante las últimas dos décadas y la Ciencia médica ha venido demostrando la influencia positiva de la luz sobre la salud y el bienestar. Una mejor iluminación contribuye positivamente al rendimiento en el trabajo (en términos de rapidez y de un menor índice de fallos), seguridad e índice de accidentes, abstencionismo, salud y bienestar.

La luz es el "marcador temporal" del reloj biológico, un estimulante directo que influye en los estados de ánimo. Bajo su influencia, las personas rinden más, tienen más reflejos, duermen y se sienten mejor. Los estándares de iluminación futuros deberán basarse tanto en las necesidades visuales como biológicas del ser humano.

La iluminación y sus efectos biológicos

Hasta hace dos décadas, la vida del ser humano estaba determinada por el ciclo diario de luz / oscuridad y el correspondiente ritmo de sueño / vigilia. Desde la revolución industrial y la invención de la luz eléctrica, la Sociedad ha ido extendiendo gradual-

mente el periodo de actividad hasta las 24 horas. Con la globalización de las actividades de muchas compañías, los servicios de TI y los viajes intercontinentales, el número de personas con unos horarios de trabajo irregulares está aumentando rápidamente. En muchos países, el 15 y hasta el 25% de las personas trabajan por turnos en producción, transporte o servicios.

El efecto beneficioso de la luz diurna es bien conocido desde la antigüedad, por ejemplo, en la Helioterapia. La Fototerapia fue popular hasta los años 30; luego, tras el descubrimiento de la penicilina, se impusieron los productos farmacéuticos. En los últimos 20 años, sin embargo, gracias a los avances en investigación médica y biológica, ha vuelto a darse la importancia debida a lo beneficioso de la luz para la salud y el bienestar. No obstante, el conocimiento de los efectos de la luz a través del ojo (la denominada luz ocu-

lar) en las personas sanas no se ha extendido ni apenas se conoce en el sector de la iluminación. Este estudio resume los últimos avances en luz ocular visible.

Se considera que el ojo es el órgano de la visión pero, tras las investigaciones en curso en Fotobiología, es evidente que la luz ocular actúa de mediadora y controla numerosos procesos fisiológicos y psicológicos del ser humano.

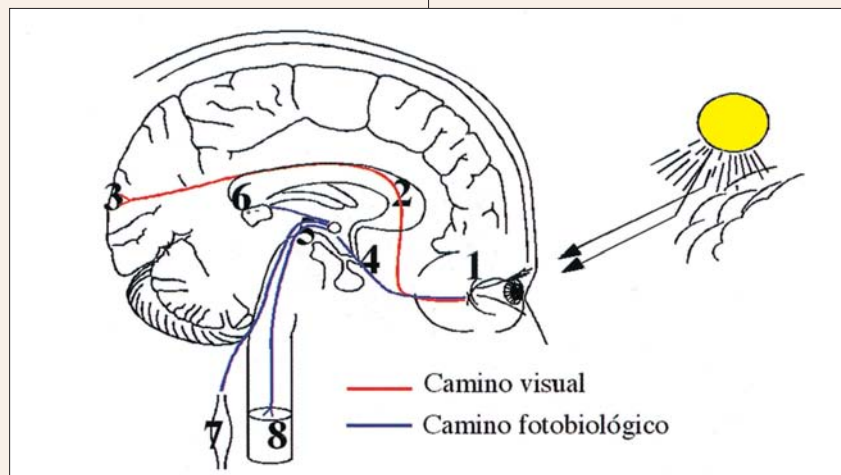
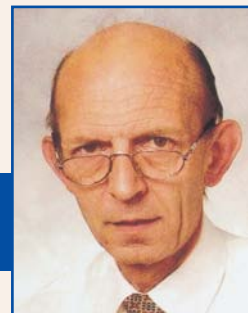
Los efectos de la luz ocular se asocian a:

- Control del reloj biológico.
- Efectos directos (estimulación).
- Influencia sobre el estado de ánimo.

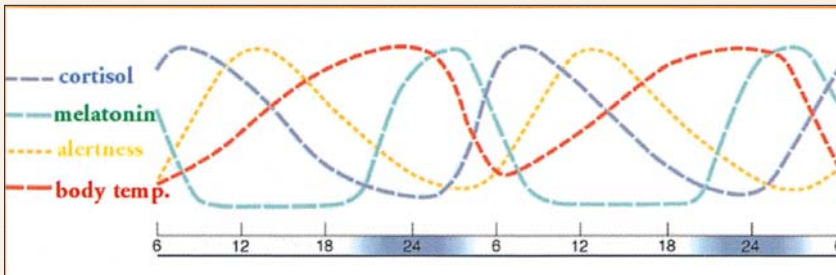
Luz ocular: Efectos no generadores de imágenes. El reloj biológico

En Cronofotobiología, la luz es el factor más importante a la hora de controlar nuestro reloj corporal interno (denominado con frecuencia "marcador temporal") (Fig. 1), situado en el núcleo supraguiasmático (NSQ) de la zona hipotalámica del cerebro. La luz ocular produce señales en las recién descubiertas células ganglionares especiales de la retina, que llegan al NSQ a través de los nervios y controlan los ritmos circadianos (diarios) (Fig. 2) y circanuales (estacionales). En un ambiente natural, la luz ocular sincroniza el reloj corporal con el ciclo de luz / oscuridad de 24 horas de la tierra. Sin luz, el reloj biológico inicia un funcionamiento autónomo que dura aproximadamente 24 horas y 15 minutos, y, por tanto, se va desviando (desincronizando) cada vez más

Ir. Gerrit van den Beld

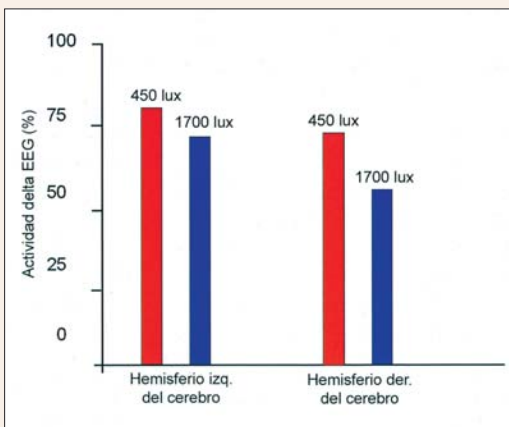
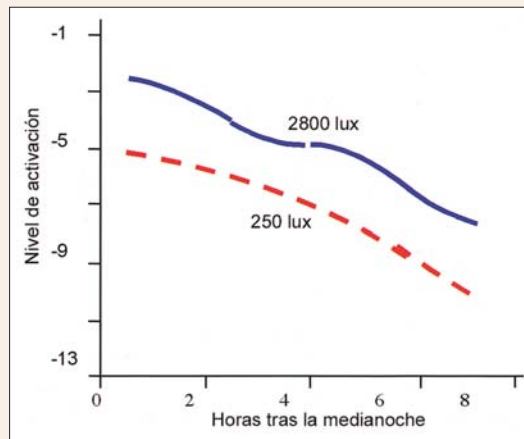


1) Reloj biológico, visión y sistema no generador de imágenes



2) Doble trazado (2 (24 h) de los ritmos circadianos típicos (suavizados) de la temperatura corporal, melatonina, cortisol y estado de alerta del ser humano en un ciclo natural de luz / oscuridad de 24 horas (Varias fuentes).

3) Estado de ánimo expresado como nivel de "alerta" (arousal level), con iluminación uniforme de 250 lux y 2.800 lux en función del número de horas de los trabajadores del turno de noche (Boyce et al.)



4) Actividad delta en el EEG de los empleados de oficina bajo niveles de iluminación de 450 y 1.700 lux (Kuller, Wetterberg).

del tiempo del reloj ambiental. Los síntomas que se presentan son similares a los del desfase que se produce después de viajar por distintas zonas horarias. Pasados unos días, los síntomas desaparecen y la regulación circadiana se restablece porque la luz en la fase temporal apropiada (el nuevo ciclo diario luz / oscuridad) cambia el reloj corporal y propicia la resincronización. Estos efectos de la luz sobre el cambio de fase pueden utilizarse para acelerar los reajustes en el caso del desfase horario y también para optimizar la adaptación a los turnos de trabajo nocturnos.

Los niveles de cortisol aumentan por la mañana y preparan el cuerpo y la mente para la actividad del día. Al mismo tiempo, el nivel de melatonina (la hormona del sueño) disminuye y reduce la somnolencia. El aumento de los niveles de melatonina por la tarde nos prepara para el periodo de sueño y mantiene la buena calidad de éste durante la noche. Otros ritmos circadianos importantes son, por ejemplo, el periodo de sueño / vigilia, la somnolencia, la atención o grado de alerta, la fatiga, el estado de ánimo y el rendimiento.

Efectos fisiológicos de la estimulación directa de la luz en el cuerpo

Los efectos estimulantes directos son los producidos por la luz exterior en verano y en invierno, así como los efectos de la luz en ambientes de interior (trabajo). Los distintos niveles de luz producen, por ejemplo, cambios en el patrón EEG, así como la inhibición de la melatonina. Recientes descubrimientos indican que existe una influencia directa de la luz en la frecuencia cardíaca y el nivel de insulina. Muchos de estos efectos podrían estar igualmente relacionados con el reloj biológico, y las investigaciones demuestran que la fototerapia es útil para tratar los trastornos del sueño. Actualmente hay en curso varios estudios sobre la enfermedad de **Alzheimer** y otras: anorexia, bulimia, sistema inmunitario, etc.

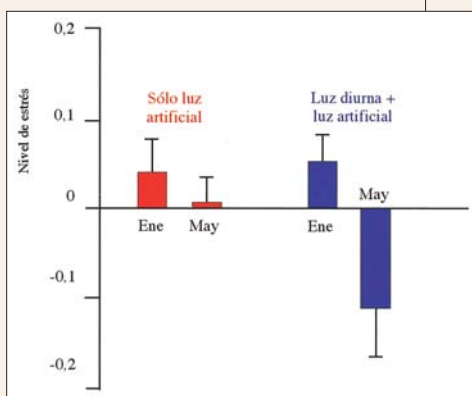
Luz, estado de ánimo y estado de "alerta"

El estado de ánimo es un reflejo de las sensaciones de una persona: físicamente, sentirse bien o mal, y mentalmente estar más o menos alerta. Otros factores que se sabe influyen en el estado de ánimo son el tiempo atmosférico y las estaciones, y en el trabajo, las condiciones visuales y el entorno (visual).

Un aspecto bien conocido es la variabilidad estacional del estado de ánimo, el nivel energético y la vitalidad de sectores importantes de la población de nuestras latitudes. Según estudios realizados con 145 trabajadores de oficina (sanos, turno diario, utilizando al menos durante una hora diaria una luminaria de escritorio con 2.500 lux), el 62% del grupo sufría menos efectos estacionales negativos y mejoraba su estado de ánimo, nivel de energía y bienestar.

En otros estudios de investigación se ha descubierto que los efectos estimulantes de la luz intensa durante los turnos de día y de noche favorecen los niveles elevados de alerta y rendimiento. Los estudios sobre niveles de estrés y quejas en personas que trabajan con luz eléctrica sólo se han realizado en comparación con otras personas que trabajaban con

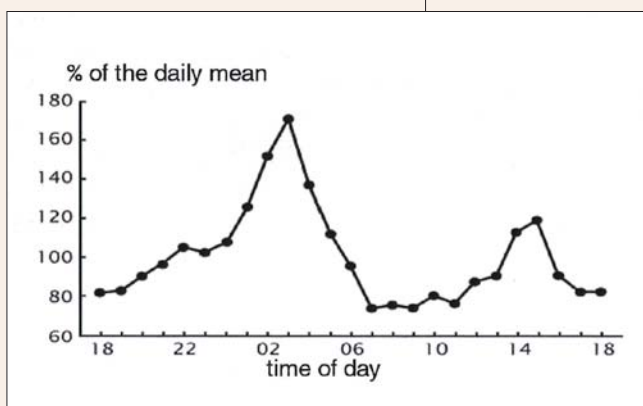
una combinación de luz eléctrica y luz diurna. Apenas se han encontrado diferencias en las quejas por estrés invernales y estivales cuando sólo se ha utilizado luz artificial (mismo nivel de iluminación). No obstante, en el grupo que usaba la combinación de luz, el estrés era considerablemente menor en verano que en invierno (Fig. 5) de donde puede deducirse



5) Niveles de estrés de un grupo de empleados que trabajan sólo con luz eléctrica o con una combinación de luz natural y artificial (Kerkhof).

que el componente de luz diurna predominante en la época estival contribuye a reducir el número de quejas. La luz intensa en invierno parece compensar la diferencia.

En la bibliografía pueden encontrarse comparaciones sobre grados de alerta, rendimiento, índices de siniestralidad / riesgo y absentismo de los trabajos realizados en turnos de día o de noche (Figs. 6 y 7). Otros



6) Errores expresados en porcentaje sobre la media diaria realizada por los trabajadores por turnos (N=62.000) que ejecutan distintas tareas en cada uno de ellos. Adaptado por Kerkhof.

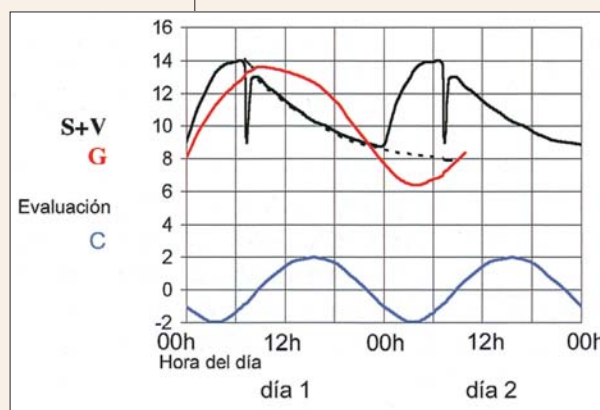
factores relevantes serían las diferencias individuales, las condiciones de trabajo y el tipo de tarea, así como el reloj biológico. El "modelo de tres procesos" (Fig. 7) muestra los elementos más importantes del grado de alerta. El primer periodo de ocho horas representa el sueño, seguido por el despertar y el estado de vigilia hasta la medianoche (curva superior), y el estado de sueño hasta las 8 horas de la mañana siguiente.

La curva discontinua muestra una situación en que el sujeto permanece despierto, es decir, un trabajador del turno de noche. En este caso, la curva roja, que incluye el componente circadiano, representa la evaluación subjetiva global del grado de alerta en un periodo de 36 horas incluido el primer turno de noche, donde se puede apreciar una caída en torno a las 4 de la mañana. La regulación circadiana incrementará el componente exógeno en lugar de disminuirlo (el componente C máximo es desplazado al periodo nocturno).

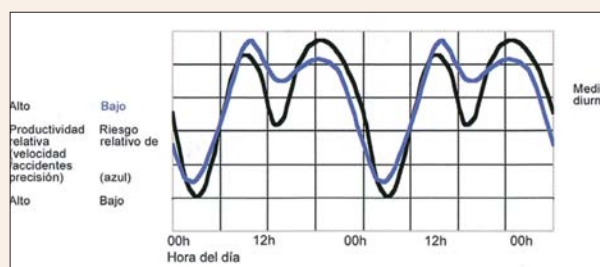
Las diferencias entre los turnos de noche y de mañana son significativas para muchos tipos de tarea, tanto en el rendimiento como en el número de ac-

cidentes (Fig. 8). Algunos estudios demuestran que hay un 20% más de incidencias por la noche que en el turno de mañana, incluso un 80% más de incidencias graves. Las diferencias también son sustanciales en el porcentaje de fallos, que puede incrementarse hasta un 50%, y en el rendimiento, que puede descender entre un 10 y un 20% con respecto a los turnos de mañana. La mayor caída se da, siguiendo el modelo, entre la medianoche y las 06:00 horas, y la segunda caída, menos profunda, entre el mediodía y las 16:00 horas. Esta "caída post-almuerzo" viene causada por el fuerte ritmo que imprimen las 12 horas de propensión al sueño, con un segundo pico a primeras horas de la tarde (nota: este valle se produce incluso sin "almuerzo").

Los métodos utilizados para estudiar el absentismo difieren significativamente por lo que no es fácil extraer conclusiones generales. Muchos estudios demuestran una mayor fre-



7) Modelo de grados de alerta evaluado subjetivamente: componente endógeno (Circadiano) (azul) y exógeno (sueño + vigilia) (negro). El grado de alerta global (G) incluido el primer turno de noche del 2º día aparece en rojo. Extraído de Folkard, Akerstedt.



8) Doble trazado de distribución diaria típica de la productividad (negro) y el riesgo de accidentes (azul). En función de la tarea, las diferencias pueden ser aún mayores del 20% entre el turno de mañana y el de noche.

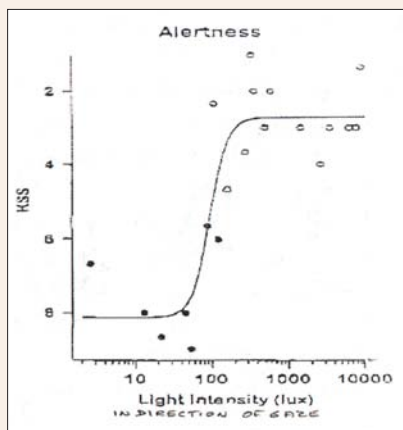


diurna durante el trayecto del trabajo al hogar (por ejemplo, llevando gafas oscuras) también provoca cambios sustanciales de fase. Para acelerar la adaptación, es importante disponer de un ciclo de luz / oscuridad de 24 horas bien controlado.

más efectiva. La mayor sensibilidad se encuentra en una longitud de onda más corta que para la visión fotópica o escotópica (Fig. 10). Se sostiene como hipótesis que la efectividad en los cambios de fase del reloj biológico sigue el mismo espectro de acción. Las lámparas normales se basan en la sensibilidad fotópica (curva verde) y, por tanto, son moderadamente eficaces para el cambio de fa-

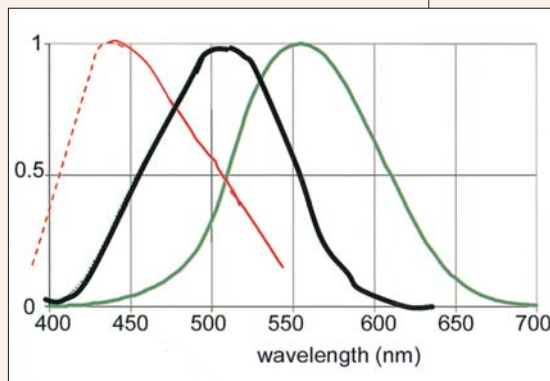
cuencia de quejas y enfermedades en los trabajadores por turnos que en los de jornada de día, pero no tiene por qué corresponderse con las tasas de absentismo. Una de las razones podría ser, por ejemplo, que las consultas a los médicos de cabecera, dentistas, etc., normalmente se realizan durante el día.

La luz intensa con unos pocos miles de lux puede servir para adaptar el reloj circadiano a los turnos de noche, mejorando la calidad del sueño su duración y el grado de alerta (Fig. 9). Algunos estudios demuestran también que unos niveles más bajos de iluminación y la ausencia de luz



9) Atención subjetiva y nivel de iluminación después de una exposición a la luz de 6,5 horas. La exposición se centra 3,5 horas antes del mínimo de temperatura corporal central, esto es, a primera hora de la noche.

Ensayo de laboratorio **Cajochen et al., Harvard Medical School**. De este experimento bien controlado puede suponerse que, en la práctica, una iluminación de 500 a 1.000 lux en vertical hacia el ojo (o de 1.000-2.000 lux horizontal) puede maximizar la atención.



10) Espectro de acción de la inhibición de melatonina (línea roja, línea roja punteada suponiendo la transmisión de la lente, Figura 1) con un máx. entre 410 y 460 nm y referente a visión fotópica (verde) y escotópica (negro).

Administración de luz saludable

Los niveles de iluminación deben medirse en el ojo, es decir, no por iluminancia horizontal como se suele recomendar en iluminación de interiores. El efecto depende del nivel de iluminación, sensibilidad espectral, secuenciación y duración. Los niveles de iluminación del orden de 1000-2000 lux a la altura de los ojos durante tres horas pueden inducir a cambios de fase de dos a cuatro horas en función de la hora. Los retardos de fase se dan por la exposición a la luz antes de alcanzar el mínimo de temperatura corporal (Fig. 2), (la luz a última hora de la tarde o la luz de noche) y los adelantos de fase se producen por la exposición después de alcanzar el mínimo de temperatura corporal (luz de madrugada, es decir, después de las 6 de la mañana).

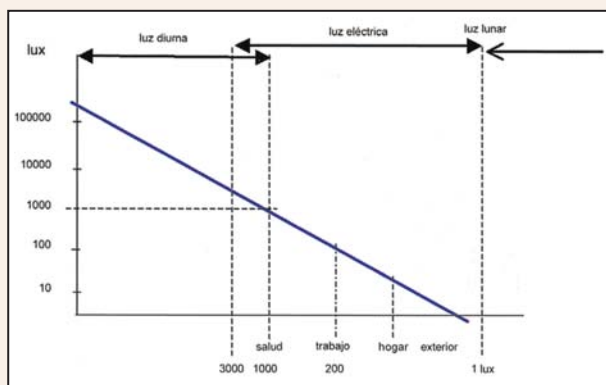
Una investigación realizada en agosto de 2001 sobre la inhibición de melatonina y el descubrimiento de un tipo especial de célula ganglionar, demuestra que la región de longitudes de onda entre 410 y 460 nm es la

se debido a la diferencia de sensibilidad (curva roja). Las lámparas con diferentes distribuciones espectrales específicas podrían tener una eficacia de cambio de fase o mínima o muy elevada. En este último caso, se necesitarían niveles de iluminación muy bajos (en comparación con el uso de lámparas estándar) para lograr el mismo cambio de fase del reloj biológico.

Efectos positivos

Muchos de los efectos positivos mencionados proceden de proyectos de investigación médicos y biólogos que demuestran que la luz eléctrica puede ser tan efectiva como la luz natural. Sin embargo, en un ambiente interior, los niveles de iluminación





11) Incremento relativo de la productividad con un aumento del nivel de iluminación de 300 a 2.000 lux en el sector metalúrgico.

lux sobre la aportación de luz diurna imperante). La conclusión en este sentido es evidente: mejorar todas las instalaciones actuales con los estándares

de iluminación más recientes constituye sólo el primer paso para dotar al lugar de una luz saludable.

Efectos de una iluminación de calidad deficiente

Las personas que trabajan con una iluminación de escasa o baja calidad pueden padecer tensión y fatiga ocular, y rendir mucho menos. En muchos casos, puede provocar la aparición de dolores de cabeza.

Las causas son con frecuencia el escaso nivel de iluminación, el deslumbramiento y las relaciones de luminancia mal equilibrados en el lugar y puesto de trabajo. Los dolores de cabeza pueden deberse en ocasiones al parpadeo de las lámparas cuando se usan balastos magnéticos a la frecuencia de la red eléctrica (50 Hz). En algunos casos, el parpadeo también puede originar estrés en las personas. Los balastos electrónicos que funcionan a altas frecuencias de aproximadamente 25 kHz no producen parpadeo, por lo que se reducen las incidencias de dolores de cabeza.

Efectos del aumento en el nivel de iluminación

Aquí se hace referencia a las tablas del *Manual de iluminación* (*Tables in Handbuch für Beleuchtung*), que ofrecen datos cuantitativos sobre el efecto resultante de aumentar la iluminación en la industria del metal de 300 lux hasta 2.000 lux:

- Mayor rendimiento localizado o de tarea.
- Menor número de rechazos.
- Reducción de accidentes.

El incremento de la productividad provendrá en parte de unas mejores condiciones visuales, aunque con estos niveles de iluminación elevados también se habrán logrado otras ventajas no visuales. Será preciso realizar investigaciones a gran escala para confirmar los aumentos de productividad indicados, especialmente en condiciones de luz diurna.

Conclusiones

- La luz desempeña una importante función biológica, distinta de la reproducción de imágenes, que contribuye a la salud y el bienestar del ser humano.

- Es fundamental para controlar el reloj biológico y los ritmos fisiológicos durante el día y las estaciones.

- Induce efectos estimulantes directos e influye sobre el estado de ánimo.

- Los nuevos descubrimientos en fotorreceptores retinianos y su sensibilidad espectral amplían posibilidades en la búsqueda de nuevas soluciones de iluminación.

- El aumento del nivel de iluminación de 300 a 2.000 lux en la industria del metal permite elevar la productividad entre el 15 y el 20%.

- En los turnos de noche se puede esperar un aumento similar de la productividad, desde el 8% a más del 20%. ■

(De Lucus CEI)

son generalmente mucho menores que incluso los mínimos del exterior. Estos pueden oscilar entre los 1.000-2.000 lux de un día gris y los 100.000 lux de un día soleado (Fig. 11).

Los niveles de interior sin aportación de luz diurna dan iluminación horizontal de tan sólo 100-500 lux, aunque afortunadamente en muchos casos la luz diurna penetra en los edificios durante varias horas al día, aumentando sustancialmente los niveles de iluminación global. Otra diferencia entre la luz diurna y la eléctrica es la variación de nivel y de temperatura de color de la primera, factores que faltan en un interior (sin ventanas). Suele aceptarse que los cambios en la luz diurna tienen efectos positivos sobre el estado de ánimo y la estimulación, y hay pruebas que indican que estas influencias positivas pueden duplicarse con una iluminación de interior dinámica. Un amplio estudio realizado sobre entornos de oficina ha demostrado que las personas prefieren una gran cantidad de luz eléctrica adicional (media de 800

Metalurgia	Aumento del nivel de iluminación de 300 a 2.000 lux	Incremento relativo de la productividad (300 a 2.000 lux)
Mejora del rendimiento + 16 de la tarea		+ 1,16
Reducción del nº de rechazos ÷ 29		+ 1,03
Reducción de accidentes ÷ 52 (%)		+ 1,03
Incremento relativo total de la productividad		+ 1,23