

## **Capítulo 3**

### **Iluminación Eficaz, Calidad y Factores Humanos**

Elisa Colombo, Beatriz O'Donell, Carlos Kirschbaum

#### **1. La influencia de la iluminación sobre el ser humano**

#### **2. Calidad de la iluminación.**

#### **3. Efectos de la iluminación sobre el rendimiento visual supraumbral**

3.1. Rendimiento visual relativo con visión axial

3.2. Tarea de búsqueda visual

3.3. Rendimiento visual, rendimiento de la tarea y productividad

3.4. Alternativas para mejorar la eficiencia visual supraumbral

#### **4. Iluminación y su efecto sobre el confort visual.**

#### **5. Rendimiento visual, confort visual y productividad.**

#### **6. Impresiones de la luz**

#### **7. Efectos fotobiológicos: sistema circadiano**

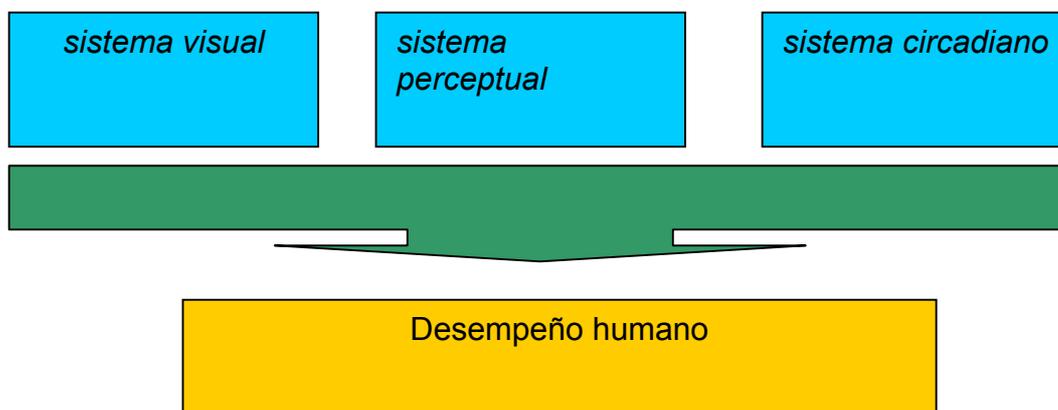
#### **Conclusiones**

#### **Bibliografía**

## 1. La influencia de la iluminación sobre el ser humano

La iluminación tiene la potencialidad de modificar no solamente el estado de operación del sistema visual sino también de afectar la manera en que el ser humano realiza una tarea o se desenvuelve en un medio ambiente luminoso. En este sentido, la iluminación puede actuar como un factor positivo, favoreciendo el desempeño de las personas, o puede influir negativamente sobre la respuesta de las mismas, lo que, a su vez, y dependiendo del contexto, puede afectar la productividad.

El ser humano posee tres sistemas a través de los cuales la iluminación puede influir la forma en que una persona se desempeña en una dada situación: el sistema *circadiano*, el sistema *visual* y el sistema *perceptual* (Boyce, 2000). En la Figura 1 se esquematiza un marco conceptual donde se incluyen los tres caminos a través de los cuales las condiciones de iluminación pueden producir un impacto sobre el rendimiento humano y las interacciones entre ellos.



**Figura 1.-** Marco conceptual que incluye los tres caminos: circadiano, visual y perceptual, a través de los cuales las condiciones de iluminación pueden influir sobre el desempeño humano.

La iluminación regula el ritmo de la fisiología del ser humano, y el de casi todos los seres vivos. El ciclo día-noche regula el comportamiento humano a partir de las variaciones de los ritmos hormonales que ocurren en el período de las 24 horas y cuya manifestación más evidente es la alternancia entre estar despierto y dormido. El órgano que controla estos ciclos en el ser humano es el núcleo supraquiásmico (SCN) que está vinculado directamente a la retina a través de células ganglionales que reciben señales de una zona muy densa de fotorreceptores. De esta manera, la radiación luminosa, y más precisamente la iluminancia retinal -nivel y composición espectral-, actúa a través del sistema circadiano y puede alterar el desempeño humano modificando las bases funcionales del resto del cuerpo, con consecuencias no solamente en los aspectos visuales sino también en los cognitivos.

El efecto de la iluminación sobre la visión es el más evidente y conocido de los efectos que produce la luz sobre el rendimiento humano. El sistema visual humano procesa en forma eficiente, la imagen que del mundo exterior forma su sistema óptico sobre la retina.

El sistema perceptual actúa una vez que la imagen retiniana ha sido procesada por el sistema visual. La salida más simple del sistema perceptual está relacionado con el confort visual. Pero la percepción es un proceso mucho más sofisticado y complicado que no puede reducirse a producir un sentimiento de confort visual o de ausencia del mismo. Por el contrario cada instalación de iluminación proporciona un *mensaje* que se interpreta de acuerdo al contexto en

el cual ocurre y a la propia cultura y experiencia previa. La importancia de este *mensaje* es a veces suficiente para contrarrestar condiciones que podrían disminuir el confort, como podría ser el caso de condiciones de iluminación consideradas extremadamente no confortables en una oficina y sin embargo deseadas por su efecto positivo en un club de baile. Es justamente este mensaje el que puede actuar modificando el humor, estado de ánimo, o la motivación de las personas.

Finalmente, es importante decir que, aunque el impacto de las condiciones de iluminación a través de los sistemas circadiano, visual y perceptual ha sido considerado separadamente, en la práctica esto no ocurre, el impacto es global y por lo tanto es necesario considerar un balance entre los tres sistemas. Por ejemplo una instalación de luz diseñada para un trabajo durante la noche, tendrá que tener en cuenta que la misma debe ser capaz de aumentar el estado de alerta del trabajador, como así también garantizar la visibilidad necesaria, de modo confortable y al mismo tiempo enviar un mensaje apropiado para la gente que usa ese espacio. Encontrar estos múltiples objetivos requiere una consideración cuidadosa de todas las formas en las cuales la iluminación puede influenciar sobre el rendimiento humano en su conjunto.

## **2. Calidad de la iluminación**

Los primeros diseñadores de sistemas de iluminación basaron sus propuestas en mediciones fotométricas con aportes del campo Tecnológico y de la Ingeniería, bajo el supuesto de aprovechar la energía eléctrica disponible de una manera económica.

La importancia de las investigaciones en el campo de la iluminación se evidencia a partir de datos que indican que el consumo de energía eléctrica relacionada con la iluminación corresponde, según el caso, entre el 25 y el 50% de la demanda energética total en edificios.

Los efectos de los estudios realizados y la disponibilidad de lámparas y luminarias más eficientes han sido acompañados por un aumento continuo de los niveles de iluminación. En el caso de Estados Unidos, la cantidad de luz necesaria para realizar una tarea como la de lectura en oficinas ha variado entre los años 1910 y 1959 desde 20 a 750 lux (Collins *et al.*, 1989).

Con el tiempo se fue asociando el criterio de eficiencia no solamente a la disminución del costo sino al mejoramiento de las condiciones de iluminación en consonancia con los objetivos de la misma. En este camino, junto a las crecientes innovaciones tecnológicas surgidas en el campo de la producción de luz -mayor vida útil, mayor eficiencia luminosa, mejor índice de rendimiento de color, aparición de los balastos electrónicos, sistemas de control de la luz, etc.- se fueron incorporando las exigencias que surgen de considerar los factores humanos.

En la actualidad un buen diseñador de iluminación debe ser consciente de la importancia de tener en cuenta la calidad de la iluminación en su forma más global e incorporar todos los resultados disponibles en este sentido para lograr instalaciones de iluminación de mejor calidad (Miller y McGowan, 2000).

¿Cuáles son los aspectos que interesan para diseñar un sistema de iluminación? Estos aspectos dependerán del particular proyecto a realizar, del objetivo del mismo, de las condiciones arquitectónicas y su rol histórico, de las posibilidades de inversión económica y de las preferencias e intereses de los usuarios. De esta manera incorpora el interés del usuario, ya sea

que se trate de un puesto de trabajo, un lugar para la recreación o el descanso, una vía pública o su propio hogar, interesa su edad, necesidades visuales, experiencia previa, expectativas e incluso sus gustos y preferencias.

No hay una clara definición de “Calidad de la Iluminación” existiendo una gran cantidad de aproximaciones para definirla, desde la búsqueda de índices fotométricos simples calibrados a partir de respuestas subjetivas (Bean y Bell, 1992), de resultados de procesos de diseño holísticos basados en patrones de luz (Loe y Rowlands, 1996), de determinaciones de las condiciones de iluminación que tienen impactos deseables sobre la eficiencia de una tarea, la salud y el comportamiento (Veitch y Newsham, 1998), o la sistematización de las características de la iluminación que aumentan nuestra habilidad para discriminar detalles, color, forma, textura y terminación de las superficies sin disminución del confort (Boyce y Cuttle, 1998).

Boyce (1998) plantea como alternativa superadora de esta discusión que la calidad de la iluminación puede ser definida en forma más general como el grado por el cual la instalación logra los objetivos propuestos y se ajusta a las restricciones impuestas por el cliente y el diseñador. Dependiendo del contexto, los objetivos pueden incluir resultados deseados facilitadores, como por ejemplo mejorar el rendimiento en la realización de tareas relevantes, crear impresiones específicas o generar patrones de comportamiento esperados, tanto como asegurar un medio visual confortable. Las restricciones son generalmente impuestas por razones financieras o capacidad presupuestaria, por razones de tiempo para lograr completar el trabajo, y a veces, restricciones que impone el diseño mismo.

Veitch (2000; 2001a y b) establece que la calidad de un sistema de iluminación está determinada por el grado de excelencia alcanzado, el cual se define como un juicio que depende del contexto en el cual se desarrolla el proyecto de iluminación, incluye las componentes del bienestar de la persona e integra estas necesidades con las restricciones arquitectónicas y económicas. En la Figura 2 se muestra un esquema de las tres componentes que participan en la definición de calidad de la iluminación, a partir del modelo propuesto por Veitch (2000).

Una de las magnitudes que caracterizan un diseño de iluminación es la densidad de potencia instalada lo que explica la tendencia de la industria de la iluminación en aumentar la eficiencia luminosa de las lámparas y la eficiencia de las luminarias, la reducción de la potencia instalada puede ser un parámetro importante, asociado a la reducción de costos y de la polución, siempre y cuando se evite disminuir el confort, el rendimiento de la tarea y la seguridad. Un ejemplo positivo a destacar sería el de las lámparas fluorescentes compactas en las que, junto a una mayor eficiencia luminosa, se ha logrado mejorar el índice de rendimiento de color y el tiempo de encendido.

A modo de síntesis se puede decir que la consideración de la calidad de la iluminación engloba al de eficiencia energética y define un concepto más amplio de iluminación eficiente.



**Figura 2.-** Diagrama de las tres componentes que participan en la definición de calidad de iluminación

El amplio dominio de la investigación en iluminación se podría dividir en tres grandes campos, que si bien se solapan, los tres juegan un rol en el establecimiento de nuevas tecnologías, en la definición de los procesos de diseño y en el conocimiento de todos aquellos factores que puedan aportar al mejoramiento de la calidad de la iluminación. Estos campos son: investigación orientada al desarrollo de tecnologías en iluminación, incluyendo el aporte de la luz natural, la investigación orientada al diseño y la arquitectura, y la investigación sobre los factores humanos, incluyendo los procesos visuales y no visuales así como sus efectos. Este capítulo está orientado al desarrollo de los aspectos vinculados a este tercer campo.

### **3. Efectos de la iluminación sobre el rendimiento visual supraumbral**

En la mayoría de los casos en los que nos movemos, realizando tareas como leer un libro, escribir en una computadora, manejar un auto, buscar un remedio en un estante, detectar una falla en una plaqueta de circuitos eléctricos, cocinar, etc., el sistema visual no trabaja en condiciones umbrales.

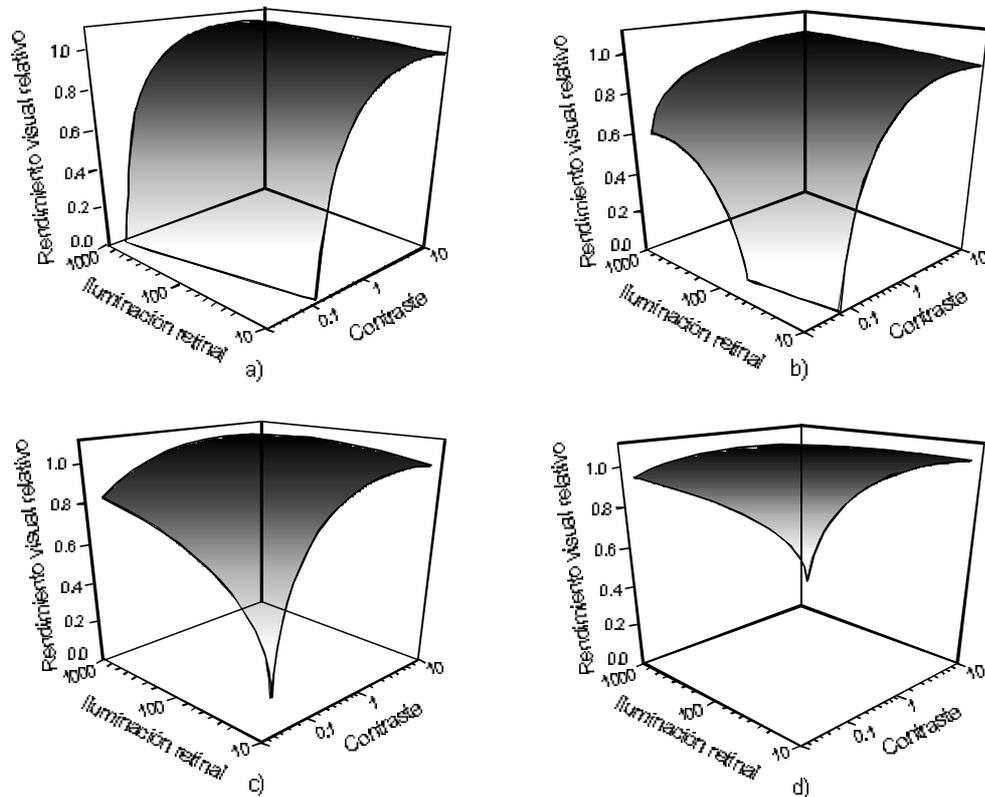
El rendimiento visual es un continuo desde la eficiencia visual umbral hasta el rendimiento en condiciones supraumbrales. En el umbral justo se ve, justo se discrimina o reconoce, etc., cerca del umbral el estímulo se ve siempre pero la precisión con que la tarea se realiza está limitada y toma más tiempo. En el supraumbral siempre se ve el estímulo pero ahora interesa lo bien que se ve, es decir, establecer cuáles son las mejores condiciones para realizar una determinada tarea (Yonemura, 1981).

Si bien el rendimiento visual supraumbral está referido al rendimiento de tareas que son fácilmente visibles, las condiciones de iluminación influyen sobre la velocidad y la precisión con que el sistema visual procesa la información extraída de los estímulos, especialmente influye la "iluminación retiniana", que está determinada por la luminancia del campo visual y, en consecuencia, por la iluminancia sobre las superficies presentes en ese campo y por las características ópticas de las mismas. Pensemos en leer un libro con un nivel muy bajo de

iluminación pero en condiciones en que las letras sean perfectamente visibles: lo podríamos leer, pero lo leeríamos lentamente y con dificultad.

### 3.1. Rendimiento visual relativo con visión axial

El estudio de la influencia de las condiciones de iluminación y de las características de la tarea sobre el rendimiento visual ha llevado a la formulación de modelos empíricos. Entre ellos se destaca el modelo del "Rendimiento Visual Relativo" (RVR) que mide el tiempo de reacción para la detección de diferentes estímulos visuales enfocados en la fovea en función de la luminancia de adaptación, el contraste de luminancia y el tamaño visual (Rea y Oullette, 1988; 1991). La Figura 3 muestra la forma de la superficie predicha por este modelo para cuatro tamaños diferentes del estímulo visual, cuando se representa el RVR en función del contraste y la iluminancia retinal. La forma general de esta superficie muestra dos comportamientos, uno corresponde a una meseta y el otro a una zona empinada (Boyce y Rea, 1987). Se observa que a medida que el tamaño del estímulo aumenta la zona de la meseta se extiende.



**Figura 3.-** Modelo de Rendimiento Visual Relativo en función del contraste y la iluminancia retinal para distintos tamaños del estímulo: a) 2  $\mu$ str, b) 5  $\mu$ str, c) 15  $\mu$ str y d) 130  $\mu$ str aproximadamente

En esencia, lo que estos gráficos muestran es que el sistema visual es capaz de un alto nivel de rendimiento visual en un amplio rango de tamaños visuales, contrastes de luminancias e iluminancias retinales (la meseta), pero para ciertas condiciones, el tamaño visual, el contraste de luminancia o la iluminancia retinal se vuelven insuficientes y el rendimiento visual colapsa rápidamente, representada por la zona empinada de pendiente, hacia el umbral.

Se ha mostrado que este modelo permite predicciones precisas para una gran cantidad de diferentes tareas (Rea, 1986, 1987; Bailey *et al.*, 1993). El Rendimiento Visual también

depende de la definición de los bordes (Colombo *et al.*, 1987, 1990), de las diferencias de color entre fondo y estímulo (Travis, 1990; Eklund, 1999), de las diferencias de luminancias entre píxeles vecinos, o contraste interno para tareas en monitores de video (O'Donnell y Colombo, 1999, 2001) y del parpadeo de la fuente luminosa (Jaen, 1999, 2000).

Los resultados pueden sintetizarse en las siguientes conclusiones:

- Iguales incrementos de iluminación producen incrementos cada vez menores en el rendimiento visual de la tarea hasta que se satura (meseta)
- La iluminancia a la cual el rendimiento se satura depende de la dificultad de la tarea en términos de las variables consideradas, como el tamaño del estímulo. Sin embargo este modelo no tiene en cuenta la nitidez de la imagen ni las diferencias de color. Cuánto menor es el tamaño o el contraste, mayor es la iluminancia a la cual se satura el RVR.
- Importantes cambios en el RVR de la tarea pueden lograrse aumentando el tamaño, el contraste y la definición de los símbolos, más que aumentando la iluminancia sobre cualquier rango posible.
- No es posible hacer que una tarea que es visualmente difícil sea realizada con igual rendimiento que una tarea visualmente fácil aumentando solamente la iluminancia.

Las dos últimas conclusiones indicarían que más luz no significa necesariamente mayor rendimiento necesariamente, sino que una tarea se puede realizar en forma correcta con solo mejorar las condiciones del estímulo. Esta afirmación es importante en el marco de los conceptos de iluminación eficiente pues disminuye la exigencia sobre el nivel de iluminación.

Ante una tarea concreta el modelo de RVR, en condiciones fotópicas, provee un medio cuantitativo de predecir el efecto de cambiar tamaño y contraste de la tarea (si fuera posible) o la luminancia de adaptación para visión axial. La consideración de otras variables, como la nitidez, por ejemplo, puede alejarnos de la zona de la meseta.

En consecuencia, el deber de cualquier diseñador de sistemas de iluminación es proveer iluminación que asegure que todas las tareas se realicen en el nivel de la meseta y lejos de la zona de la pendiente de las curvas.

### **3.2. Tarea de búsqueda visual**

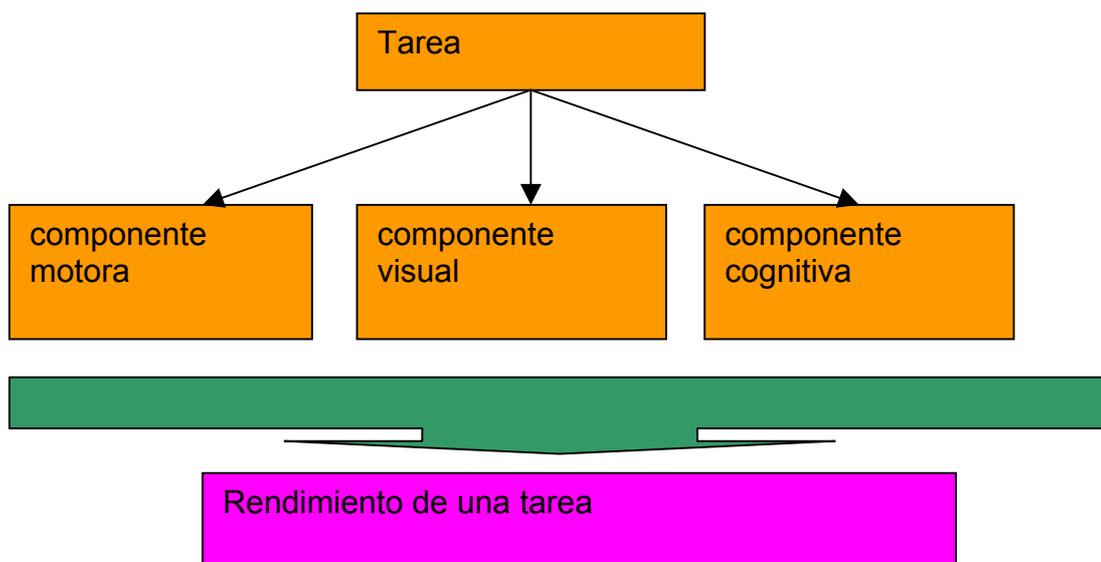
La tarea de interés puede estar en cualquier lugar del campo visual, no solamente en ubicación axial, lo que implica una exigencia de búsqueda visual. Esta tarea se lleva a cabo a través de una serie de fijaciones del ojo, que son guiadas, ya sea, por expectativas sobre dónde es más probable que aparezca el objeto a ser visto, o bien, por la porción de la escena visual que es más importante, y que conducen, en cualquiera de estos casos, a patrones de fijación característicos. Típicamente, el objeto de interés es detectado primero en la periferia y luego confirmado o resuelto por fijación foveal. La velocidad con la cual una tarea de búsqueda visual es llevada a cabo depende de la visibilidad del objeto a ser encontrado, de la presencia de otros objetos en el área de búsqueda y del grado por el cual el objeto buscado es distinto de otros objetos. La tarea de búsqueda visual más simple es aquella en la cual el objeto buscado aparece en alguna parte de un campo visual vacío, como por ejemplo los defectos presentes en la pintura de un automóvil. La tarea de búsqueda visual más difícil es aquella en la cual el objeto buscado está situado en un campo complejo, cuyo contenido es muy similar al objeto buscado, como por ejemplo la búsqueda de un rostro particular en una muchedumbre.

La efectividad de una instalación de alumbrado para revelar la presencia de un objeto se puede estimar a partir de un modelo conocido como *Lóbulo de visibilidad* del mismo (Inditsky *et al.*, 1982), que proporciona la distribución de probabilidad de detección de un objeto dentro de una pausa de fijación, la cual es máxima cuando el objeto es visto sobre la fovea y decrece cuando se incrementa la desviación desde la fovea. Para objetos que aparecen sobre un campo uniforme, el lóbulo de visibilidad está basado en la detección del objeto. Para objetos que aparecen entre otros objetos similares, el respectivo lóbulo de visibilidad se basa en la capacidad de discriminación del objeto a partir de los otros que lo rodean. La búsqueda visual será más rápida para aquellos objetos que posean el mayor lóbulo de visibilidad.

Si bien las condiciones de iluminación necesarias para lograr una búsqueda visual rápida son similares a aquellas usadas para mejorar el rendimiento visual umbral foveal, puede surgir alguna exigencia particular debido a las características físicas del objeto buscado. Por ejemplo, si el objeto es bidimensional, y de reflectancia mate, situado sobre un fondo mate, casi la única opción sería el incremento de la luminancia de adaptación. Sin embargo, si el objeto es tridimensional y posee una componente de reflectancia especular, entonces puede recurrirse a una apropiada distribución de luz para incrementar el tamaño aparente del objeto, mediante la formación de sombras y el contraste de luminancia del objeto, favoreciendo que éste o sus alrededores se destaquen. Asimismo, si el objeto se distingue respecto de su fondo fundamentalmente por el color, es muy importante considerar la composición espectral de la luz utilizada. Es esta necesidad de adaptar las condiciones de iluminación a la naturaleza de los objetos buscados, la que hace que el diseño de instalaciones de iluminación para tareas de inspección sea difícil y diverso (IESNA, 2000).

### 3.3. Rendimiento visual, rendimiento de la tarea y productividad

La mayoría de las tareas en general, poseen tres componentes: *visual*, *cognitiva* y *motora* (Figura 4).



**Figura 4.-** El rendimiento de una tarea depende de la estructura de la misma, es decir de sus componentes visual, cognitiva y motora.

La componente visual se refiere al proceso de extracción de la información relevante para la realización de la tarea utilizando el sentido de la visión. La componente cognitiva es el proceso por el cual los estímulos sensoriales son interpretados y se determina una acción apropiada. La componente motora es el proceso por el cual los estímulos son manipulados para extraer información y/o llevar a cabo las acciones decididas. Cada tarea es única cuando se realiza el balance entre sus componentes visual, cognitiva y motora, y, por lo tanto, en el efecto que las condiciones de iluminación tienen sobre el rendimiento de tarea. El modelo de Rendimiento Visual Relativo para tareas axiales y los modelos de búsqueda visual discutidos precedentemente pueden usarse para cuantificar los efectos de las condiciones de iluminación sobre el rendimiento visual, pero no hay un modelo general que traduzca estos resultados sobre el rendimiento de una tarea, que es en última instancia el que determina la productividad y permite establecer relaciones costo/beneficio mediante la comparación de los costos de provisión de un sistema de iluminación con los beneficios resultantes en función de un mejor rendimiento de la tarea.

El rendimiento visual es lo único que se puede afectar directamente si se cambian las condiciones de iluminación y, en consecuencia, el efecto de la iluminación sobre el rendimiento de la tarea depende de la estructura de la tarea y específicamente del rol de la componente visual con relación a las componentes cognitiva y motora. Las tareas en las cuales la componente visual es grande serán más sensibles a los cambios en condiciones de iluminación que aquellas tareas donde la componente visual es pequeña. Por ejemplo, tareas de lectura para la corrección de textos son mucho más sensibles a los cambios de luz que tareas de lectura que solamente impliquen comprensión (Smith y Rea, 1978; 1982).

El rol de la *componente visual* puede variar al menos de tres maneras diferentes. Primero, la magnitud de la componente visual puede variar de una tarea a la otra. Por ejemplo, la componente visual es más grande cuando debemos entrar datos en una PC desde material escrito que si alguien nos dictara los mismos. Segundo, la relevancia de la componente visual en la estructura de la tarea modifica la importancia de las condiciones de iluminación, y esta relevancia no está necesariamente relacionada con la magnitud de la componente visual. Por ejemplo, en la construcción de un circuito electrónico montado sobre un panel con un circuito impreso, la inspección visual de este panel puede tomar solamente un tiempo corto, pero si una falla no es detectada, las consecuencias pueden ser serias. Tercero, la componente visual puede requerir poner el énfasis en distintos aspectos de las condiciones de iluminación y esto puede ser diferente para diferentes tareas. Por ejemplo, en el caso de lectura con contrastes bajos o letras pequeñas, del tipo que se encuentran en los contratos (para alquilar un auto, o la letra chica de los préstamos o los seguros), es más importante el nivel de iluminación que el contenido espectral de la luz utilizada, mientras que en el caso de una tarea de discriminación entre muestras de telas de diferentes colores, el contenido espectral de la luz puede jugar un rol importante.

Pero la complejidad de la situación no termina aquí, si consideramos cualquier oficina o lugar de trabajo veremos que una única instalación de iluminación sirve para la realización de muy diferentes tareas. En realidad, una misma tarea implica a su vez diferentes exigencias, más aún la componente visual de una tarea puede cambiar a lo largo del tiempo e incluso las necesidades de la gente también pueden cambiar, evidenciando la variabilidad inherente en las demandas visuales de la mayoría de los lugares de trabajo. Sin embargo, es posible realizar recomendaciones sobre condiciones de iluminación basadas en las condiciones más desfavorables, pero no hay garantía que esta solución debiera representar un apropiado

compromiso en la relación costo-beneficio ni siquiera que la iluminación requerida para la situación más desfavorable sea la apropiada para las tareas más fáciles.

Por último quedaría agregar el factor de la edad que afecta al rendimiento de una tarea y por tanto a la productividad. Los efectos de la edad sobre el sistema visual pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

1. Crece la limitación en el enfoque, afectando la nitidez del estímulo.
2. Al incrementar la dispersión en los medios oculares del ojo se reduce la calidad de la imagen que se forma en la retina.
3. La absorción de la luz en los medios oculares reduce la iluminancia retinal y cambia la composición espectral de la luz que llega a la retina.
4. La degeneración de la retina reduce la resolución.

Todos los problemas que afectan a una persona de visión normal se ven magnificados con la edad y por tanto un diseño de iluminación deberá ser más cuidadoso e implica conocimientos más específicos.

### **3.4. Alternativas para mejorar la eficiencia visual supraumbral**

Se puede lograr una mejora del rendimiento visual supraumbral modificando las características de la tarea como de la iluminación, teniendo en cuenta que cada situación tendrá su solución más apropiada o factible. En el caso de la tarea, se puede aumentar el tamaño o el contraste de luminancia del detalle, hacer que el objeto a detectar sea claramente distinto de los objetos que lo rodean en la mayor cantidad posible de dimensiones, como por ejemplo tamaño, contraste, color y forma, cuando se trata de tareas fuera del eje de visión en un campo complejo, asegurar que el objeto forme una imagen clara y definida sobre la retina. También es posible modificar el entorno visual incrementando la luminancia de adaptación, seleccionando fuentes de luz con mejores propiedades de color, diseñando la iluminación de manera que no haya deslumbramiento fisiológico ni reflexiones de velo, incrementando el tamaño aparente y el contraste de luminancia del objeto.

## **4. Iluminación y su efecto sobre el confort visual**

Las instalaciones de iluminación tienen que ser diseñadas no solamente para asegurar un buen rendimiento visual sino también incluir consideraciones sobre el confort visual. Los aspectos de la iluminación que causan molestias visuales incluyen aquellos relevantes al rendimiento visual pero se extienden más allá. La razón es que los factores relevantes al rendimiento visual están generalmente restringidos a la tarea y su entorno cercano, mientras que los factores que afectan al confort visual tienen que ver con todo el medio iluminado. Los resultados indican que el confort visual es más sensible a los cambios en la iluminación que el rendimiento visual. Más aún, si una dada condición luminotécnica es considerada no confortable puede llegar a disminuir el rendimiento visual, aún cuando las condiciones no afecten directamente al estímulo.

A continuación nos referiremos a las situaciones que con mayor frecuencia provocan disminución de confort.

Cada tarea posee un determinado grado de dificultad visual. Una alta exigencia visual provoca una pérdida de confort visual. Por ejemplo, en el caso de un texto con letras pequeñas la

reacción usual es acercar la tarea a los ojos para incrementar el tamaño angular de las letras, lo que a su vez implica ajustar los mecanismos de acomodación de los ojos para mantener definida la imagen sobre la retina. Este ajuste puede llegar a producir fatiga muscular y, en consecuencia, reducción de confort visual.

Otra situación en que puede evidenciarse falta de confort visual ocurre cuando el observador no encuentra en la escena información relevante para extraer –subestimulación- o bien cuando existe excesiva información –sobrestimulación- de manera que en los dos casos la situación es de incomodidad. Ejemplos característicos de información nula se producen cuando se conduce un vehículo en la niebla o en una tormenta de nieve, en ambos casos, el sistema visual está esperando encontrar alguna información significativa, como la presencia de un obstáculo, que puede aparecer repentinamente, y a su vez requerir una respuesta rápida. Es una experiencia común el estrés que se genera cuando se conduce en estas condiciones. En el caso de sobrestimulación, la tarea se ve enmascarada por un fondo complejo, como por ejemplo cuando se quiere leer un texto impreso sobre un fondo con información similar. Estas dos situaciones, en las que un sujeto tiene que realizar una tarea, pueden provocar la aparición de dolores de cabeza, migrañas y dificultades adicionales para la realización de la tarea misma.

El sistema visual posee un campo periférico grande que detecta la presencia de objetos que posteriormente son examinados, en detalle, utilizando la fovea. Si estos objetos tienen altos valores de luminancia, se mueven o parpadean serán más fácilmente detectados. Pero si, después de ser examinados, resultan tener poco interés para el observador, se vuelven causas de distracción debido a que su poder de atención no disminuye después de una observación. Tratar de ignorar los objetos que automáticamente atraen la atención es estresante y puede ser causa de síntomas de disminución de confort visual.

El entorno visual consiste de un patrón de luminancias determinado por las diferentes reflectancias de las superficies presentes en el campo visual y la distribución de iluminancias sobre esas superficies. En algunos casos puede ocurrir que un patrón de luminancias entre en conflicto con el que corresponde al campo visual asociado a la tarea que se realiza, produciendo confusión perceptual, lo que es fuente de pérdida de confort visual.

La falta de confort visual puede dar origen a una gran variedad de síntomas: enrojecimiento, inflamación, picazón, hormigueo y lagrimeo de los ojos; dolores de cabeza y migraña; problemas gastrointestinales; dolores y molestias asociados con una mala postura, etc. Sin embargo, la reducción de confort visual no es la única fuente posible de estos síntomas, por lo cual es de gran importancia considerar la naturaleza del entorno visual antes de adjudicar alguno de estos síntomas a las condiciones de iluminación.

Las condiciones de iluminación deben asegurar, además de un buen nivel de rendimiento visual, un buen grado de confort visual. Esto implica que a partir de la identificación de la tarea, o de las tareas a ser realizadas, se deben evitar factores de distracción, tratar que la estimulación sea suficiente, evitar elementos que produzcan confusión perceptual, etc. Analizaremos diferentes aspectos de la iluminación que pueden afectar el confort visual y las posibles soluciones en cada caso.

*Variación temporal de la iluminación y sensibilidad del sistema visual humano*

La luz natural provee una iluminación prácticamente constante en el tiempo o a lo sumo con variaciones lentas a lo largo del ciclo diario. En cambio, la luz artificial es en general variable, dependiendo esta variación del tipo de fuente de alimentación y del mecanismo de emisión de la luz. Las lámparas incandescentes tienen parpadeo poco visible debido a la inercia térmica del filamento, sin embargo las lámparas de descarga pueden producir parpadeo. La variación temporal de la iluminación, o parpadeo, es un fenómeno común en tubos fluorescentes, pantallas de televisión o monitores de computadora, luces estroboscópicas decorativas, etc.

El parpadeo es altamente nocivo para el ser humano, sobre todo a muy bajas frecuencias. La frecuencia crítica de fusión, frecuencia a la que el observador ya no percibe el parpadeo, es muy variable según el individuo y se ubica en general entre 60 a 80 Hz. Este límite se modifica fuertemente con la edad encontrándose los máximos valores de frecuencia de fusión a los 20 años, de manera que la población de jóvenes estudiantes es la de mayor riesgo. Sin embargo, por encima de esta frecuencia el parpadeo sigue siendo detectado por estructuras superiores del sistema visual e influye de alguna manera en el sistema nervioso en su totalidad (Jaen, 1999a).

En los últimos 50 años se han utilizado los tubos fluorescentes como principal fuente de luz en oficinas, establecimientos educativos y a veces en los hogares. Hoy en día se ha generalizado el uso de lámparas fluorescentes compactas (LFC), cuyo principio de funcionamiento es idéntico al de los tubos fluorescentes. Se han registrado quejas frecuentes de dolores de cabeza en trabajadores de oficinas con iluminación fluorescente, con y sin pantallas de computadoras, las que han sido vinculadas a la modulación de 100 Hz de luz emitida por los tubos (Brundrett, 1974; Wilkins, 1989; Lindner y Kropf, 1993). Cuando se introducen balastos electrónicos se eleva la frecuencia de parpadeo de la luz a unos 30-50 kHz. Diferentes trabajos de investigación evidencian que este tipo de balasto disminuye las quejas de dolores de cabeza, aumenta el bienestar e incluso disminuye la tensión nerviosa de personas más sensibles (Wilkins, 1993). El efecto también se evidencia en mediciones de eficiencia visual en condiciones umbrales (Jaen, 1999b) y supraumbrales (Jaen, 2000a y b). En este último caso mediciones con anillos de Landolt revelan que la velocidad de realización de la tarea mejora para una iluminación con lámparas fluorescentes con balastos convencionales modulada a más baja frecuencia (100 Hz) que cuando se utilizan balastos electrónicos que conducen a una frecuencia alta (30 kHz). Sin embargo, la exactitud de la tarea es significativamente mayor en el segundo caso. Estos resultados, que aparentemente se contradicen, pueden ser interpretados en términos de que las modulaciones de la luz a una frecuencia justo por encima del límite de fusión, son transmitidos por los nervios ópticos a los centros cerebrales y pueden originar alteraciones en el sistema nervioso central provocando un mayor estado de excitación nerviosa y como consecuencia una mayor velocidad y menor exactitud en la tarea visual, situación que no se evidencia con iluminación modulada a muy alta frecuencia, en donde el observador, más relajado, dedica un tiempo mayor a la realización más precisa de la tarea.

De todo lo dicho se evidencia la importancia de conocer en qué manera este problema afecta la calidad de la iluminación que se está suministrando, máxime cuando en muchos casos se trata de un efecto del cual el observador no tiene conciencia, de manera que su efecto puede provocar incomodidad y molestias sin que la persona sepa bien las razones.

Las soluciones posibles para disminuir el parpadeo son muy diferentes. Una de ellas está relacionada con la fabricación de la lámpara y sugiere el uso de fósforos con mayor persistencia, atendiendo no solamente la elección de los fósforos vinculados al índice de

reproducción cromática sino también a este efecto perjudicial. Otra alternativa está vinculada al diseño de la instalación e implica la conexión de las lámparas a fases diferentes de modo de introducir un desfase en las emisiones de los distintos tubos utilizados en la instalación, produciendo un aparente aumento de frecuencia de la luz emitida. Sin embargo, la solución que más se está generalizando es el uso de los balastos electrónicos por su efecto de elevar la frecuencia de modulación. La modulación de la onda de luz a la salida, que en las distintas lámparas conectadas a circuitos convencionales varía entre 10 a 30%, se reduce con el balasto electrónico al 2%. Sin embargo, no todos los balastos electrónicos que existen en el mercado aseguran la eliminación efectiva de la componente de 100Hz en la modulación de la emisión luminosa. Las lámparas fluorescentes compactas son en su mayoría integrales, incorporando un balasto electrónico; sin embargo, las modulares, como por ejemplo las fluorescentes lineales, trabajan con el equipo auxiliar separado, de manera que pueden operar con cualquiera de los dos tipos de balastos, lo que obliga a analizar las alternativas propuestas para evitar los efectos nocivos del parpadeo.

### *Deslumbramiento*

Múltiples situaciones de la vida cotidiana son experimentadas por las personas como deslumbrantes. Sin embargo, las distintas formas de deslumbramiento pueden clasificarse en tres tipos diferentes (Vos, 1999), y cada uno de ellos necesita soluciones diferentes

El *deslumbramiento fisiológico* se refiere al efecto de enmascaramiento de la visión debido a la dispersión de la luz, proveniente de fuentes en cualquier lugar del campo visual, producida por los distintos medios del ojo. Este enmascaramiento tiene el efecto de reducir el contraste de luminancia de la imagen de interés que se forma en la retina en la zona de la fovea.

Si bien este tipo de deslumbramiento no es muy frecuente en alumbrado interior es muy común en calles durante la noche, en especial por causa de las luces de automóviles que circulan en sentido opuesto. En este caso es necesario considerar además otros medios, externos al ojo, que también producen dispersión, como por ejemplo la atmósfera, partículas de polvo o marcas en el vidrio del parabrisas. También durante el día, especialmente cuando se tiene el sol de frente, tanto en el amanecer como en el ocaso.

El efecto que produce este tipo de deslumbramiento puede determinarse sumando una luminancia de velo equivalente a la escena, y la magnitud de la luminancia de velo equivalente puede calcularse a través de la ecuación clásica de Stiles-Holladay (IESNA, 2000):

$$L_v / E_g = 10 / \theta^2$$

donde  $L_v$  es la luminancia de velo expresada en  $\text{cd/m}^2$ ,  $E_g$  es la iluminancia debida al deslumbramiento sobre el ojo, medida en lux, y  $\theta$  es el ángulo entre la línea de visión y la de la fuente deslumbrante, expresado en grados, que para la mayoría de los fines prácticos es suficientemente precisa.

Se puede reducir el deslumbramiento fisiológico mediante una adecuada selección, distribución en planta y orientación, de las luminarias para disminuir la intensidad luminosa en las direcciones cercanas a la línea de visión.

En muchos casos es posible experimentar el deslumbramiento fisiológico sin afectar al confort, dependiendo del contexto. Por ejemplo, si bien para una persona sentada por horas frente a una televisión por libre elección, el monitor puede constituir una fuente deslumbrante, sin embargo, la misma no es calificada como tal. Otro ejemplo puede ser cuando hay interés específico sobre la fuente deslumbrante, como podría ser una araña en una casa, la que puede no resultar deslumbrante, o, el caso de una fuente extensa como una ventana, tampoco resultaría deslumbrante si juega el rol de proveer contacto con el exterior y contribuyendo a la iluminación interior.

La mayoría de los trabajos que estudian el efecto de deslumbramiento lo hacen para condiciones fotópicas en términos de umbrales de visibilidad de detección o reconocimiento y en condiciones estables de adaptación. Sin embargo, en los últimos años nuevas investigaciones realizadas para condiciones de deslumbramiento transitorio, para bajos niveles de iluminación -similares a los que se encuentran en conducción nocturna- y niveles supraumbrales de contraste, proponen una metodología para cuantificar el deslumbramiento a partir de la pérdida de claridad de la escena (Barraza *et al.*, 1998; Colombo *et al.*, 1999, 2000; Issolio *et al.*, 2000) y muestran que el deslumbramiento transitorio reduce la sensibilidad al movimiento del ser humano (Barraza y Colombo, 1997, 1999a y b, 2000, 2001).

*El deslumbramiento que ocasiona molestia o incomodidad*, es el que produce distracción de la tarea en el campo central -foveal- debido a fuentes luminosas en el campo periférico. En la mayoría de la bibliografía en castellano se lo encuentra como deslumbramiento psicólogo, pues se considera que no produce ningún cambio en el rendimiento visual, pero sí es causa de disminución de confort. Existen diferentes formas de predicción de la magnitud del deslumbramiento psicólogo provocado por instalaciones de alumbrado interior (CIBSE, 1994; IESNA, 2000). Todos estos sistemas están basados en una ecuación en la cual el grado de deslumbramiento psicológico aumenta con la luminancia y el ángulo sólido de la fuente deslumbrante y decrece cuando la luminancia de fondo y la desviación respecto de la fuente deslumbrante aumentan. Los fabricantes de luminarias utilizan esta relación para producir tablas del grado de deslumbramiento psicológico producido por una distribución regular de luminarias, para tipos de interiores representativos. Estas tablas brindan la precisión necesaria para la estimación del grado promedio de deslumbramiento psicológico, semejante al que realmente ocurriría en un interior real.

Al igual que en el caso anterior se puede reducir el deslumbramiento psicológico mediante una adecuada selección y distribución de las luminarias. Se debe emplear las recomendaciones locales o curvas de luminancias límites de Söllner adoptadas por las normas IRAM-AADL (IRAM-J20) para estimar la magnitud del deslumbramiento psicológico. El uso de superficies de alta reflectancia en el ambiente, como el aumento de la luminancia de fondo contra la que son vistas las luminarias, ayuda a reducir este tipo de deslumbramiento.

El tercer tipo de *deslumbramiento es el causado por niveles de luz excesivos* en la escena visual, que enceguece y produce fotofobia. Consideremos por ejemplo una persona leyendo bajo la luz del sol, el observador entorna sus ojos, parpadea o mira lejos, produciendo una situación incómoda en la tarea que se está realizando. Las soluciones en este caso pasan por el apantallamiento de la radiación, lo que no siempre puede realizarse fácilmente.

*Sombras*

La magnitud de una sombra depende, no solamente del tamaño del objeto opaco que intercepta la radiación, sino también de las distancias involucradas entre la fuente y el objeto y, del tamaño mismo de la fuente. Una sombra será mayor cuánto mayor sea el objeto, más puntual sea la fuente y más próxima esté del objeto.

Las sombras pueden constituir un problema severo, dejando en la oscuridad una zona de la escena que sea de interés, llegando incluso a provocar exigencias de adaptación en tiempos cortos, provocando en estos casos molestia visual. Pero también puede ser un elemento esencial para revelar la forma de objetos tridimensionales utilizando las técnicas de disposición de luminarias que se basan en la idea de crear un juego de luces y sombras para modificar el aspecto percibido del objeto iluminado. Este último caso es muy común con fines artísticos donde también con las sombras se busca crear un determinado clima, por ejemplo de miedo o terror.

Entre los casos de falta de confort podemos citar el típico problema del alumbrado industrial donde grandes piezas de maquinarias producen sombras en áreas adyacentes. El efecto de estas sombras puede ser contrarrestado ya sea incrementando la proporción de luz interreflejada, usando superficies con alta reflectancia, o bien instalando alumbrado localizado sobre las áreas sombreadas. En cambio, en el caso de objetos pequeños, la sombra puede caer sobre una zona significativa, lo que puede provocar confusión perceptual, en particular si dicha sombra se mueve. Un ejemplo cotidiano se presenta cuando la iluminación en un escritorio es interceptada por la mano, produciendo sombra sobre la zona de interés. Este problema se puede minimizar colocando una lámpara de escritorio ubicada apropiadamente.

La cantidad y tipo de sombras dependen de la cantidad de fuentes luminosas y de la magnitud de las interreflexiones de la luz que se producen en el espacio. Las sombras más profundas se producen a partir de una única fuente luminosa concentrada en una habitación oscura. Sombras débiles se producen cuando las fuentes luminosas son extensas y el grado de interreflexiones es elevado. Si no se desean sombras en el ambiente se deberá usar superficies con elevada reflectancia con el fin de incrementar la cantidad de luz interreflejada, y utilizar mayor cantidad de lámparas de baja potencia para lograr el valor de iluminancia deseado. Esta última es la solución más adecuada cuando las sombras no pueden evitarse debido a la extensión de la obstrucción. Si las sombras no pueden ser evitadas por su extensión se puede usar iluminación localizada en dichas áreas.

### *Reflexiones de velo*

Cuando la radiación visible, proveniente de una fuente de alta luminancia, por lo general una luminaria o una ventana, se refleja especularmente en una superficie, tal como un papel satinado o una pantalla de video, aparecen las conocidas y molestas reflexiones de velo. La luminancia de la imagen reflejada cambia el contraste de luminancias del estímulo de interés, un texto en la página satinada o una imagen en la pantalla. La eficiencia visual disminuye y este cambio se puede cuantificar utilizando el modelo de Rendimiento Visual Relativo. Sin embargo, la pérdida de confort visual no es tan fácilmente cuantificable, aunque se considera una reducción del 20% del contraste de luminancia como el límite aceptable sin que cause disminución en el confort visual (Boyce, 1997). De todos modos genera posturas incómodas por medio de las cuales el sujeto trata de evitar los reflejos molestos.

La especularidad del material que está bajo observación y la geometría entre el observador, el objeto y la fuente de alta luminancia son los factores que determinan la magnitud de las

reflexiones de velo. Al igual que las sombras, las reflexiones de velo también pueden aprovecharse cuando quiere destacarse algo por medio de un acento de luz.

El efecto de las reflexiones de velo puede disminuirse: a) reduciendo la componente especular de la reflectancia de la superficie observada, b) cambiando la geometría entre el observador, la superficie observada y la zona afectada, c) disminuyendo la luminancia de las luminarias, d) aumentando la cantidad de interreflexiones de luz en el ambiente. Si las reflexiones de velo aparecen en una superficie autoluminosa, como una pantalla de video, también es posible, aumentar la luminancia de la pantalla eligiendo letras oscuras contra un fondo claro.

## **5. Rendimiento visual, confort visual y productividad.**

De las secciones sobre eficiencia y confort es evidente que un sistema de iluminación no solamente debe asegurar un buen nivel de rendimiento visual sino también que el medio visual sea confortable, pues ambos aspectos se complementan.

Lo que distingue el confort de la eficiencia visual es que mientras esta última está esencialmente determinada por el estímulo presentado al sistema visual y por las capacidades del mismo, los factores que afectan al confort visual dependen del medio iluminado en su conjunto, de las motivaciones y expectativas. Dado que los individuos tienen diferentes capacidades visuales se esperarían diferencias en el rendimiento visual; sin embargo, ya que todos los sistemas visuales son similares en su constitución es esperable que respondan con la misma tendencia ante similares modificaciones del estímulo. Lo mismo no puede decirse de los resultados de confort visual ya que parte de la variabilidad, o de las diferencias individuales, se debe al hecho de que cuando una persona debe identificar una fuente de molestia necesita realizar no solamente una tarea de discriminación (si hay molestia o no) sino también utilizar un criterio de evaluación. La componente de discriminación de este proceso está determinada por las características del sistema visual que agrega algo de variabilidad pero la parte del criterio agrega otro elemento de variabilidad que está basado en la experiencia pasada, en las expectativas y en las actitudes de las personas.

Las recomendaciones establecidas por los distintos países sobre valores de iluminancia que deben proveerse en puestos de trabajo (CIBSE, 1994; IESNA, 2000) tienen como objetivo lograr, no solamente un rendimiento alto sino también, un buen nivel de confort.

Existen evidencias experimentales de que las medidas de confort visual son más sensibles a los cambios en la iluminación que la eficiencia visual, como lo muestran los trabajos que se citan a continuación.

Boyce (1996) encuentra que los valores de iluminancia que surgen del modelo de Rendimiento Visual Relativo son considerados oscuros, no confortables e inaceptables. Esto puede explicarse pues por ejemplo el nivel de iluminancia calculado a partir del modelo RVR para la realización de una tarea de lectura sobre papel impreso de contraste 0,7 y tamaño de carácter tipo Arial 10, es de 100 lx, mientras que las normas (IESNA, 2000) recomiendan para una situación similar 500 lx.

Un resultado similar encuentran Muck y Bodman (Boyce, 1996), en un experimento en el cual la tarea consistía en buscar un número de dos dígitos entre 99 del mismo tipo, distribuidos al azar sobre una hoja, encontraron que la velocidad de detección incrementaba con la iluminancia en no más del 1%, para una variación de iluminancia entre 50 y 10000 lx,

mientras que los resultados de confort visual indicaban un valor óptimo de iluminancia de 500 lx.

En una serie de trabajos llevados a cabo en el Departamento de Luminotecnia (Colombo *et al.*, 1987; Colombo y Kirschbaum, 1990) se estudió la influencia de la luminancia y la definición de bordes de estímulos presentados en tareas de lectura típicas de oficina; en este caso las tareas consistían en comparar listas de números y en buscar palabras en una lista. Se encontró que para valores de iluminancia sobre la tarea entre 67,3 y 1122 lx, que corresponden a valores de luminancia entre 15 y 250 cd/m<sup>2</sup> la eficiencia visual no cambia significativamente. Sin embargo, cuando se evalúa el grado de confort, en una escala de categorías de *Pobre*, *Suficiente* y *Excesivo*, mas del 80% de las opiniones indican que el nivel de 67,3 lux es considerado *insuficiente*, y, solamente entre un 10% y 20%, encuentran al nivel más alto, esto es 1122lx, como *excesivo*. Un alto porcentaje de respuestas (entre el 80 al 95%) considera que la iluminación es *suficiente* en el rango de niveles entre 200 a 1100 lx, aproximadamente.

Otra investigación (Kirschbaum y Tonello, 1997) logra acotar más precisamente estos resultados. En la misma los observadores juzgan los niveles de iluminancia entre 250 lx y 1235 lx sobre un texto presentado en un escritorio, según una escala de cinco puntos entre *Insuficiente* y *Excesivo*. Los resultados indican que un 76% de los observadores consideran al nivel de 1200 lx como *óptimo*, elevándose este porcentaje a un 90% al considerar las respuestas entre las categorías *optimo* y *suficiente*, mientras que un valor de 600 lx fue considerado en un 50% como *suficiente* y en un 70% entre *optimo* y *suficiente*. Estos resultados acuerdan con las normas argentinas que sugieren valores entre 500 y 750 lx para tareas de oficina.

Mas aún, experiencias de campo llevadas a cabo en oficinas de planta abierta con pantallas de video, sobre 250 puestos de trabajo, muestran que en un 62 % de los casos para los cuales el nivel medio de iluminancia sobre el plano horizontal era de 500 lx fue juzgado como *suficiente*, mientras valores menores de 200 lx fueron considerados *insuficientes* en un 55% de las veces y valores mayores de 1000 lx como *excesivo* en un porcentaje de 37% (O'Donell y Kirschbaum, 2000).

Estudios sobre el rol del contraste en estímulos presentados en pantallas de video para diferentes resoluciones del monitor, polaridad de contraste, luminancia de fondo e iluminancia, mostraron al contraste interno como la variable significativa (O'Donell y Colombo, 2001). Las pruebas de eficiencia resultaron menos sensibles que las de confort respecto de las variables consideradas, es así que mientras la eficiencia visual no mostró un cambio significativo con la polaridad del contraste o luminancia de fondo, las medidas de confort mostraron que la polaridad negativa y fondo gris son consideradas confortables, en acuerdo con otras investigaciones.

Estos ejemplos indican que la eficiencia y el confort visual representan dos restricciones sucesivas en una aproximación a las condiciones óptimas de iluminación, que deben tenerse en cuenta en las recomendaciones. Sin embargo, si bien el confort visual es una cuestión muy importante en algunas situaciones, por ejemplo para el usuario de una oficina e incluso para un jugador de tenis en una cancha iluminada artificialmente, hay otras situaciones en las que factores como el deslumbramiento son muchos menos críticos, como para una persona bailando en una discoteca o conversando en una confitería. En estos casos es necesario introducir otros factores vinculados al impacto psicológico que puede producir el medio

ambiente iluminado relacionado con el humor, la creación de climas, las expectativas, etc. creando efectos positivos y negativos, campo sobre el cual se ha avanzado mucho en los últimos tiempos, aunque por ahora no se reflejan en normas o recomendaciones. Estos últimos aspectos los consideraremos como impresiones o mensajes provistos por la iluminación.

## 6. Impresiones de la luz

La iluminación de un dado espacio inevitablemente contribuye a crear impresiones en las personas. La luz le da un carácter al espacio, este puede ser dramático, depresivo, aburrido, relajante, interesante, funcional, etc. Estas impresiones pueden ser buenas o malas, apropiadas o inapropiadas, firmes o vagas, pero existen, produciendo efectos negativos, positivos o neutros. Los aspectos negativos producen falta de confort, mientras los positivos crean sentimientos de placer.

Si bien en un diseño de iluminación es necesario tener en cuenta las normas para ciertas tareas como lectura, dibujo, etc., un diseñador debe ser capaz de poder hacer un uso correcto de la luz a fin de reforzar la atención hacia algo de interés, crear impresiones de espacialidad, estimular sensaciones de intimidad, calidez o excitación, etc., dependiendo de la interacción espacio-actividad.

En este sentido, la iluminación puede tener un carácter *indiferente*, como es el caso cuando la misma está destinada sólo a permitir la realización de tareas, o cuando un diseño se realiza sin importar la ubicación de cada puesto de trabajo, o cuando la luz le imprime al espacio un sentido público mas que privado, en todos los cuales la iluminación no juega un papel preponderante. Sin embargo, la iluminación puede tener un rol más activo, en el sentido que inflencie sobre el comportamiento, refuerce impresiones tales como relajación o privacidad, basándose en la idea que la luz es un vehículo que modifica la atención o altera la información contenida en el campo visual, como es el caso de comercios, restaurantes, vidrieras.

La manera de estudiar las impresiones que causa la iluminación sobre las personas puede llevarse a cabo desde un nivel simple, en el que se trata de establecer una correlación entre las impresiones y las variables físicas de interés (estudios correlacionados) hasta un nivel más complicado en el que se recurre a procedimientos multidimensionales donde no siempre existe un correlato entre las variables perceptuales y las físicas.

La iluminación de objetos en exhibidores o vidrieras presenta aspectos interesantes desde el punto de vista de las impresiones que puede causar un sistema de iluminación, en este caso a fin de lograr la atención de las personas y del mensaje que se quiere enviar.

Una experiencia sobre la apariencia de frutas y verduras colocadas en vidrieras (Mirkin, 1997) iluminadas con diferentes fuentes luminosas, mostró que mientras más alto es el nivel de iluminancia mayor es la valoración de los colores y apariencia de los exhibidores. A partir de 2000 lux el incremento en la calificación subjetiva es proporcionalmente menor que el aumento en el nivel de iluminación. Las fuentes usadas fueron: fluorescentes tubulares de 36W con diferentes emisiones espectrales, fluorescente compacta de 23W ( $T_c = 2700 \text{ °K}$ ), incandescente halogenada de 200W ( $T_c = 2900 \text{ °K}$ ), sodio de alta presión de 250 W ( $T_c = 2150 \text{ °K}$ ) y, sodio blanco de 100 W ( $T_c = 2500 \text{ °K}$ ). Los resultados asimismo mostraron que vidrieras iluminadas con sodio blanco y fluorescente compacta poseían mayor calificación para el color y la apariencia respecto de las otras lamparas usadas. Se observó además que vidrieras iluminadas con sodio blanco e incandescente halógena eran mejor calificadas para

un menor nivel de iluminancia mientras que, para alcanzar igual valoración con fluorescente compacta era necesario un mayor nivel de iluminancia.

La iluminación de vidrieras muestra la importancia de la elección del tipo adecuado de lámpara de acuerdo al tipo y carácter de objetos a exhibir en la creación de impresiones o en los mensajes que se quieren enviar, ya que última instancia redundan en beneficios económicos.

## **7. Efectos fotobiológicos: sistema circadiano**

La fotobiología estudia la interacción entre los sistemas biológicos y la radiación ultravioleta, infrarroja y visible que absorben los fotorreceptores del sistema visual humano. Como ya se indicó el órgano que constituye la fuente de los ritmos biológicos en el ser humano es el núcleo supraquiásmico (SCN) que está vinculado directamente a la retina. La melatonina u hormona del sueño es segregada durante la noche por la glándula pineal, la que está relacionada con el SCN, con un máximo alrededor de las 2 de la madrugada.

Los ritmos biológicos son: el ciclo día/noche o circadiano, el lunar y el estacional. Estos ciclos son importantes ya que las capacidades visuales, el estado de ánimo y la fisiología humana varían dentro de ellos.

El ciclo más fuertemente estudiado es el ciclo circadiano, ya que está relacionado con los horarios de trabajo. El trabajo en horarios nocturnos produce como consecuencia inmediata, problemas de fatiga por la necesidad de dormir durante el día y el estado de alerta durante la noche, y a largo plazo también puede ser origen de problemas cardiovasculares, gastrointestinales, emocionales y sociales.

El conocimiento de cómo afectan las condiciones de iluminación al rendimiento humano a través del sistema circadiano ha crecido rápidamente en los últimos años. Hay dos efectos distintos: un corrimiento, en el cual la fase del ritmo circadiano puede ser adelantado o retrasado por exposición a la luz en tiempos especificados, y un efecto agudo relacionado con la supresión de la hormona melatonina en la noche. Puede esperarse que ambos efectos acentúen el rendimiento humano en circunstancias correctas. Se han realizado intentos para usar el corrimiento de fase para lograr una adaptación más rápida de gente que trabaja durante la noche. Estos intentos llevan a resultados cruzados, y esto puede deberse a que esta exposición debería controlarse durante las 24 horas y no solamente durante la noche. En cuanto al efecto agudo, hay una clara evidencia que la exposición a la luz aumenta el estado de alerta durante la noche y que esto puede conducir a mayor rendimiento de tareas cognitivas complejas, pero este efecto solamente parece ocurrir cuando la melatonina ha sido producida, es decir, durante la noche biológica.

Los problemas de corto plazo en los trabajadores pueden ser aliviados con la exposición a la luz, produciendo un corrimiento en el ritmo circadiano. Muchas investigaciones han mostrado que se logran mejoras en el estado de alerta y el rendimiento cognitivo como consecuencia de una exposición a altas intensidades de luz durante la noche, junto con cambios fisiológicos con relación al ritmo circadiano.

Otro problema con relación a la exposición de la luz y los ciclos es el llamado desorden afectivo estacional (SAD). Personas que sufren estos efectos experimentan depresión, menor energía, mal estar y necesidad de dormir más durante los meses de invierno.

El uso de la luz como forma de alivio a todos estos problemas es una evidencia mas de la existencia de la relación entre la misma y el bienestar del ser humano.

### **Conclusiones**

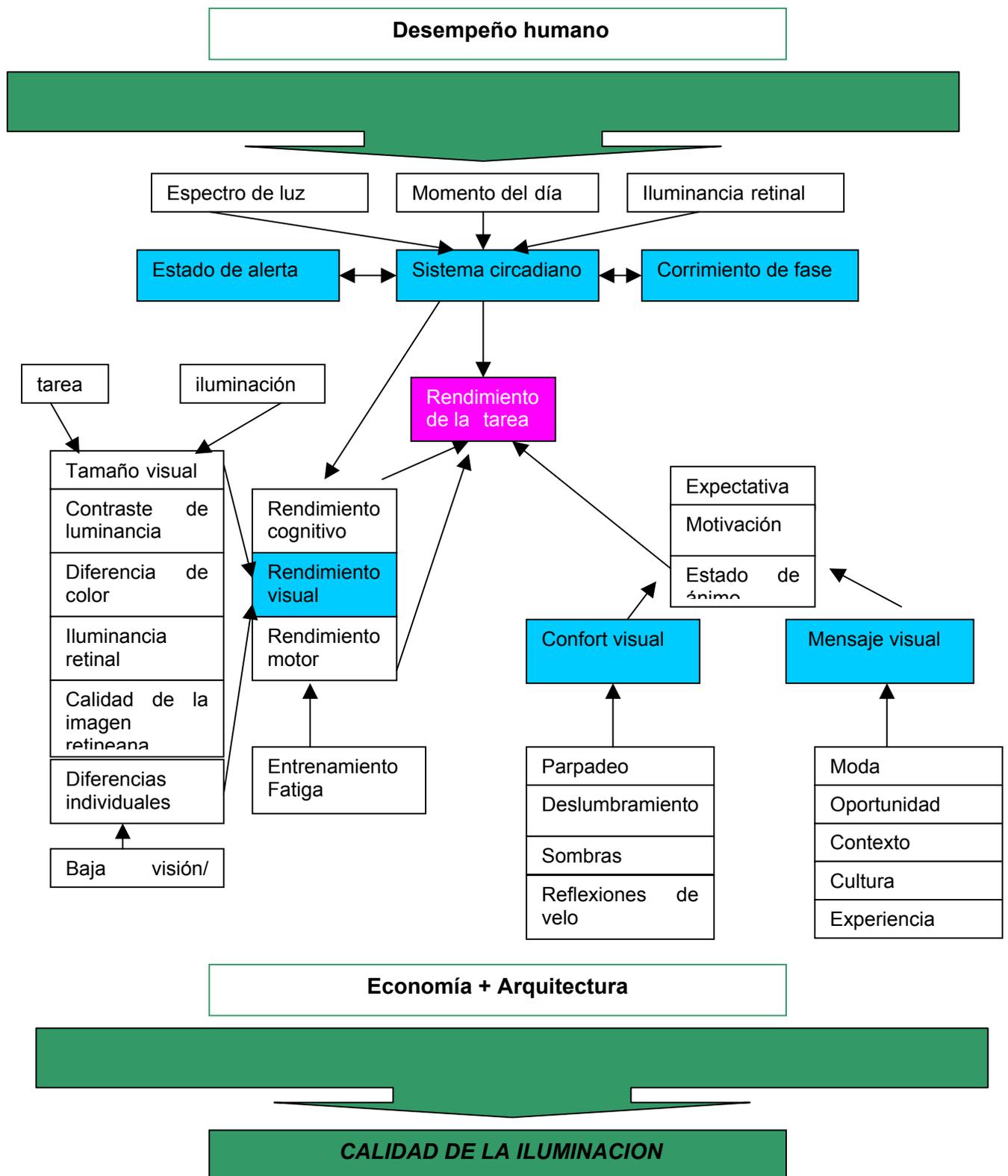
Ya que casi el 95% de las instalaciones de alumbrado son diseñadas por personas que poseen un conocimiento limitado sobre los efectos de la iluminación, es importante tener conciencia que la calidad de un sistema de iluminación no sólo se traduce en términos de rendimiento y confort sino como un medio que envía mensajes, redundando en productividad, salud y seguridad de quienes ocupan estos espacios y, en ultima instancia, en beneficios económicos.

Boyce (2000) califica como *indiferentes* a sistemas de iluminación diseñados solamente en base a normas o recomendaciones, ya que los mismos proveen sólo una buena visibilidad y confortabilidad; sin embargo, la diferencia entre este tipo de diseño y uno de buena calidad está centrado en las demandas del contexto, de la moda y de la oportunidad. Según el contexto, un sistema de iluminación puede ser atractivo en una oficina pero no en un restaurante donde puede requerirse un ambiente mas íntimo. La moda es importante ya que ofrece elementos que despiertan interés en las personas, y la oportunidad tiene que ver con el aprovechamiento de la tecnología del momento, lo que al cambiar con el tiempo no es fácilmente cuantificable.

Por todo lo dicho, cuando se afirma que iluminar es una mezcla de arte y ciencia, precisamente se hace referencia a que una buena iluminación no surge solamente de aplicar técnicas a través de recomendaciones sino que quien diseña debe ser capaz de interpretar el espacio en términos de las necesidades de las personas que ocuparán el mismo, de modo que el mismo transmita impresiones positivas, de valorizar la arquitectura o estilo del espacio y de contribuir a un uso eficiente de la energía. Si se entiende el rol de un diseñador de este modo los beneficios económicos llegan por añadidura. Por estos motivos, es crucial comprender los mecanismos mediante los cuales las condiciones de iluminación afectan a las personas: visibilidad, estado de ánimo, impresiones y fotobiología.

Resta a los investigadores profundizar en aquellos aspectos pendientes, como por ejemplo: 1) proponer una sistematización y clasificación de las tareas de acuerdo a su sensibilidad frente a las condiciones de iluminación, 2) integrar los aportes de la visión periférica en los modelos RVR, 3) analizar la información de las condiciones de iluminación sobre las respuestas perceptuales a través de diseños integrados y ecológicos, más próximos a las condiciones reales y finalmente, en el área de la fisiología, 4) estudiar la sensibilidad espectral de los fotorreceptores que controlan el núcleo supraquísmico a fin de identificar el espectro de luz más efectivo, y 5) analizar la relación entre dosis de luz y momento del día.

En la Figura 5 se esquematiza un marco conceptual donde se incluyen los tres caminos a través de los cuales las condiciones de iluminación pueden producir un impacto sobre el rendimiento humano, el cual junto a consideraciones económicas y arquitectónicas definen la calidad de la iluminación



**Figura 5.-** Marco conceptual que incluye los tres caminos: circadiano, visual y perceptual, a través de los cuales las condiciones de iluminación influye sobre el desempeño humano y que definen la calidad de iluminación. Las flechas indican la dirección del efecto.

## Bibliografía

- Bailey, I., R. Clear y S. Berman, 1993. "Size as a determinant of reading speech" *Journal of the Illuminating Engineering Society* 22, 102-117.
- Barraza, J. y E. Colombo, 1997. "Glare influence on discrimination of motion direction on roadways". *Proc. Lux Europa "The 8<sup>th</sup> European Lighting Conference"*, 58-71.
- Barraza, J. y E. Colombo, 1999a. "Glare influence on gratings motion detection under night driving conditions". *Proc. CIE (Commission International d'Eclairage) 24th Session – Warsaw '99*, vol. 1, 148-150
- Barraza, J. y E. Colombo, 1999b. "Influencia del tiempo de adaptación sobre el umbral inferior de movimiento". *Anales AFA*.
- Barraza, J. y E. Colombo, 2000. "Transient glare: its effect on the lower threshold of motion". *Optics Express*, 14 August 2000, vol.7, No.4, 172-177.
- Barraza, J. y E. Colombo, 2001. "The time course of the lower threshold of motion during rapid events of adaptation". *Vision Research: An International Journal for Functional Aspects of Vision*, 41, 1139-1144.
- Barraza, J., L. Issolio y E. Colombo, 1998. "Deslumbramiento y evaluación de claridad en condiciones de alumbrado vial". *Revista Luminotecnica (AADL)*, vol. 6, 1-4.
- Bean, A. y R. Bell, 1992. "The CSP index: a practical measure of office lighting quality as perceived by the office worker" *Lighting Research & Technology* vol.24, 215-115.
- Boyce, P. y M. Rea, 1987. "Plateau and escarpment : the shape of visual performance, Proceedings". Venecia, CIE 21<sup>st</sup> Session.
- Boyce, P. Y C. Cuttle, 1998. "Effect of correlated colour temperature on the perception of interiors and colour discrimination index". *Lighting Research & Technology*, 22, 19-36.
- Boyce, P., 1998. "Lighting quality: the unanswered questions". Orlando, First CIE (Commission International d'Eclairage) Symposium on Lighting Quality, Mayo 1998.
- Boyce, P., 2000. "Lighting and human performance: A review." CIBSE National Conference 2000.
- Boyce, P., 1997. "Illumination" Capítulo 26, *Handbook of Ergonomics of Human Factors*. Editado por Gavriel Salvendy, 858-890.
- Boyce, P., 1981. *Human Factors in Lighting*. London, Applied Sciences Publishers.
- Boyce, P., 1996. "Illuminance selection based on visual performance and other fairy stories" *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol. 25 no. 2, 1996.
- Brundrett, G., 1974. "Human sensitivity to flicker". *Lighting Research & Technology*, 6(3), 127-143.
- CIBSE, 1994. *Code for Interior Lighting*. Chartered Institution of Buildings Services Engineers, London.
- Collins, B., S. Fischer, G. Gillete y R. Marans, 1998. *Evaluating Office Lighting Environments: Second Level Analysis*, US Department of Commerce, NISTIR 894069, April 1989.

- Colombo, E., J. Barraza y L. Issolio, 1999. "Evaluation of transient glare in the scotopic-mesopic range". SPIE - *The International Society for Optical Engineering*, Vol 3749, 504-505.
- Colombo, E., J. Barraza y L. Issolio, 2000. "The effect of brief exposure to glare on brightness perception at scotopic-mesopic range". *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(2), 65-70.
- Colombo, E. y C. Kirschbaum, 1990. "Print quality and visual performance". *Lighting Research & Technology* 1990, Vol 22, N° 2, 85 -93.
- Colombo, E., M. Raitelli y C. Kirschbaum, 1987. "Legibility of texts: the influence of blur". *Lighting Research & Technology*, 1987, Vol 19, N° 3, 61-79.
- Eklund, N., 1999. "Exit sign recognition for color normal and color deficient observers". *Journal of the IES* winter 71- 81.
- IESNA, 2000. *Lighting Handbook*, 9<sup>th</sup> edition. Illuminating Engineering Society of North America.
- Inditsky, I., H. Bodmann y H. Fleck, 1982. "Elements of visual performance, contrast metric – visibility lobe- eye movements" *Lighting Research & Technology*, 14, 218-231.
- Issolio, L., E. Colombo y J. Barraza, 2000. "El efecto del deslumbramiento transitorio sobre la relación claridad-luminancia en el curso del tiempo". Anales AFA.
- Jaen, M., 1999a. *Variación temporal de la iluminación: sensibilidad del sistema visual humano*. Publicación Dpto. Luminotecnia Luz y Visión, Serie Fascículos sobre Luz y Visión N° 6, 1-31
- Jaen, M., 1999b. "Visual sensibility to the modulation of light from fluorescent lighting". Proc. CIE 24<sup>th</sup> Session Warsaw'99, 97-101.
- Jaen, M., 2000a. "El uso de balastos electrónicos en la iluminación fluorescente: ¿favorece un mejor rendimiento visual?". *Memorias Lux América 2000*, San Pablo.
- Jaen, M., 2000b. "Efectos de la modulación temporal de la luz sobre el sistema visual humano". Anales AFA.
- Kirschbaum, C., y G. Tonello, 1997. "Visual appearance of office lighting". *Proceedings Right Light 4th European Conference Energy-Efficient Lighting*, Dinamarca. Vol. 1, 143-148.
- Lindner, H. y S. Kropf, 1993. "Asthenopic complaints associated with fluorescent lamp illumination (FLI): the role of individual disposition". *Lighting Research & Technology*, 25(2), 59-69.
- Loe, D. y E. Rowlands, 1996. "The art and science of lighting: a strategy for lighting design" *Lighting Research & Technology*, vol.28, 153-164.
- Miller, N. y T. Mc Gowan, 2000. "Lighting quality and how it is being applied to lighting design - a progress report" CIBSE National Conference 2000.
- Mirkin, M., 1997. "Appearance of fresh fruit and vegetables with incandescent and discharge lamps". *Proceedings Lux Europa "The 8<sup>th</sup> European Lighting Conference"*, 992 –997.
- O'Donell, B. y C. Kirschbaum, 2000. "VDU's lighting in subtropical regions" *Proc. IESNA Conference*, Washington, Julio.
- O'Donell, B. y E. Colombo, 2001. "Inner contrast and perceptual quality in tasks with video display units" *Lighting Research & Technology*, en prensa.

- O'Donnell, B. y E. Colombo, 1999. "The perceptual quality at video display unit's tasks: contrast, resolution and luminance" *Proc. 23th CIE (Commission International d'Eclairage) Session*, Warsaw, I-1, 102-106.
- Rea, M., 1986. "Toward a model of visual performance: foundations and data". *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Vol. 15, summer 1986, 41- 57.
- Rea, M., 1987. "Towards a model of visual performance: a review of methodologies" *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 16, 128-142.
- Rea, M. y M. Oullette, 1991. "Relative visual performance: a basis for application" *Lighting Research & Technology*. 23(3) 135-144.
- Smith, S. y M. Rea, 1978. "Proof reading under different levels of illumination" *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 8, 47-52.
- Smith, S. y M. Rea, 1982. "Performance of a reading test under different levels of illumination" *Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol.12, no. 1, 29-33.
- Travis, D., S. Bowles, J. Seton y R. Peppe, 1990. "Reading form color displays, a psychophysical model". *Human Factors Society* 32(2) 147-156.
- Veitch, J. y G. Newsham, 1998. "Lighting quality and energy-efficiency effects on tasks performance, mood, health, satisfaction and comfort" *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27, no. 1, 107-129.
- Veitch, J., 2000. "Lighting guidelines from lighting quality research" CIBSE National Conference 2000.
- Veitch, J., 2001a. "Lighting quality contributions from Biopsychological processes" *Journal of the the Illuminating Engineering Society* Vol. 30 , no. 1, winter , 3-16.
- Veitch, J., 2001b. "Psychological processes influencing lighting quality" *Journal of the IES* Vol. 30 , no. 1, winter , 124 – 140.
- Vos, J., 1999. "Glare today in historical perspective: towards a new CIE glare observer an a new glare nomenclature". *Proc. 23th CIE Session*, Warsaw, I-1, 38-42.
- Wilkins, A., 1989. "Fluorescent lighting, headaches and eyestrain" *Lighting Research & Technology*, 21 (1), 11-18.
- Wilkins, A., 1993. "Reading and visual discomfort". In D. Willows R. Kruk y E. Corcos. Eds. *Visual Process in Reading and Reading Disabilities*. Hillsdale N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Yonemura, 1981. "Criteria for recommending lighting levels" *Lighting Research & Technology*, vol. 13 no. 3.