



ASPECTOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS DE LA LUZ SOLAR EN RECINTOS URBANOS DE ALTA DENSIDAD EDILICIA EN CLIMAS SOLEADOS (PERÍODO INVERNAL)

QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ASPECTS OF SOLAR LIGHT IN
HIGH-DENSITY URBAN SPACES FOR SUNNY CLIMATES. WINTER
PERIOD

LORENA CÓRLICA

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)
Centro Científico Tecnológico (CCT)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
(CONICET) Mendoza, Argentina
lcorica@mendoza-conicet.gob.ar

MARÍA ANGÉLICA RUIZ

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE)
Centro Científico Tecnológico (CCT)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
(CONICET) Mendoza, Argentina
aruiz@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN

La ciudad de Mendoza, situada en la región centro-oeste de la República Argentina, corresponde a un clima semiárido por lo que presenta elevados niveles de radiación solar a lo largo del año. Sin embargo, estos efectos se ven mitigados por la densidad edilicia y por los períodos de foliación del arbolado urbano. Por esto, el objetivo del presente trabajo es realizar el estudio cuantitativo y cualitativo de las condiciones lumínicas durante el invierno. Se propone el abordaje de luz natural en dos casos de estudio característicos de la ciudad, mediante técnicas combinadas de mediciones *in situ* y valoraciones subjetivas de los usuarios de los espacios. Los resultados obtenidos de confort visual en espacios exteriores han determinado que más allá de las diferencias lumínicas de los espacios, los sujetos se encuentran adaptados al clima luminoso de la región, a las diferentes condicionantes que genera la morfología urbana y, consecuentemente, a la diversidad de contrastes que esta puede arrojar en el espacio urbano.

Palabras clave

comportamiento de la luz solar, espacios abiertos, morfología urbana, confort visual.

ABSTRACT

The city of Mendoza, located in the central-western region of the Argentine Republic, has a semi-arid climate and therefore high levels of solar radiation throughout the year. However, these effects are mitigated by the building density and foliage periods of urban trees. Hence, the objective of this research was to carry out a qualitative and quantitative study of daylight conditions during winter. Natural light was examined through two cases that are characteristic of the city, using a combination of *in situ* measurement techniques and subjective assessments of the spaces by users. The results on visual comfort in outdoor spaces show that beyond differences in light, the subjects are adapted to the light environment of the region, to the different conditions generated by the urban morphology, and consequently to the diversity of contrasts that this can cause in the urban space.

Keywords

behavior of sunlight, outdoor spaces, urban morphology, visual comfort.



Figura 1: Vista de la ciudad Oasis de Mendoza. Fuente: Elaboración de las autoras.

INTRODUCCIÓN

La construcción del paisaje urbano constituye la forma más radical de transformación del paisaje natural dado que su impacto no sólo se limita a cambiar la morfología del terreno, su rugosidad, la biodiversidad, sino que transforma fundamentalmente las condiciones climáticas y ambientales del paisaje natural. La ciudad actúa como un modificador del clima local generando microclimas urbanos particulares que pueden favorecer o no a la eficiencia energética de la edilicia y al confort de las personas que lo habitan (Tumini, 2012; Gaitani, Mihalakakou y Santamouris, 2007).

El ambiente natural y el construido constituyen fuerzas bioregionales que influyen en el potencial de iluminación natural en los espacios (Guzowski, 2001). Un abordaje del estudio de la luz solar involucra los modos en que el espacio urbano puede tomar forma, responder, aprovechar y beneficiarse de los recursos de una región específica. La magnitud relativa de las componentes difusa (visión de cielo) y reflejada (edificación circundante) de la radiación está fuertemente condicionada por las características de los recintos urbanos conexos, en aspectos de densidad, altura de las edificaciones, dimensiones, arbolado y reflectividad de las superficies, entre otros (Tregenza, 1995; Tsangrassoulis et al., 1995; Fontoynt, Tsangrassoulis y Synnefa, 2004).

Las regiones áridas determinan condicionantes ambientales hostiles, dados los altos niveles de radiación solar. Sin embargo y precisamente por esta característica, la respuesta de acondicionamiento del hábitat se ha centrado en la búsqueda de las sombras como elemento de control ambiental, para evitar los deslumbramientos desde la perspectiva del confort visual, y la mitigación del calor estival, desde la perspectiva del confort térmico. Sin una mediación morfológica, estos ambientes serían inhabitables.

La ciudad de Mendoza, situada en la región centro-oeste de la República Argentina, presenta un clima semiárido. El 83% del año corresponde a cielo despejado o parcialmente despejado y el promedio anual de duración de sol es de 2850 horas. El Área Metropolitana de Mendoza, se caracteriza por presentar un modelo de "ciudad oasis", en una trama en damero, de calles anchas, flanqueadas por líneas de árboles que conforman túneles verdes. Esta impronta urbana ha dado una respuesta particular a las formas de ocupación del territorio, modificando el paisaje natural con la disposición de un verdadero bosque urbano como estrategia de confort bioclimático donde el árbol es el elemento de mitigación y de control ambiental estacional (Figura 1). De esta manera, la ciudad ofrece una gran variedad de configuraciones espaciales con distintas exposiciones a la luz solar.

Por otro lado, generalmente la idea de un espacio exterior agradable está asociada a una experiencia visual positiva de los usuarios. Dentro del espacio urbano, existen diferentes aspectos que pueden contribuir a que las experiencias visuales sean satisfactorias: las vistas y visuales de los escenarios donde se transita, la arquitectura y las condiciones lumínicas del entorno construido. Sin embargo, hay otros factores que se relacionan con fenómenos físicos, como es el caso del confort visual, y que pueden ser tanto de orden cualitativo como cuantitativo (Compagnon, 2004). Cuando un sujeto se enfrenta al hecho de desplazarse, se ve afectado por diferentes variables de tipo medioambiental (condiciones de contraste, tamaño de los objetos, "desorden visual" del entorno, superficies deslumbrantes, brillos, reflejos, etc.). Quizás una de las variables más críticas a la hora de pronosticar su rendimiento y seguridad durante el período diario y en el espacio exterior, sea la derivada de los efectos de las condiciones de iluminación presentes en cada momento y para cada región, según la capacidad de adaptación al clima luminoso (Goyette y Compagnon, 2004).

Ante lo expuesto y frente a esta temática de gran complejidad, el objetivo del presente trabajo es realizar un estudio integral de la luz solar incidente en espacios públicos de la ciudad, comparando escenarios urbanos expuestos a condiciones lumínicas diferentes y la percepción visual que experimentan sus usuarios. Así, se pretende, por una parte, analizar el comportamiento de luz diurna (aspectos cuantitativos) de recintos urbanos en la alta densidad edilicia, según distintas configuraciones morfológicas y su vinculación con el clima local. Y, por otra, cotejar mediciones con las respuestas subjetivas de los usuarios (aspectos cualitativos). De esta forma, se presentan avances observacionales en términos de confort visual en recintos urbanos de climas soleados, teniendo en cuenta la influencia de las componentes de la iluminación natural (directa, difusa y reflejada). En este caso, los resultados corresponden a la condición de invierno, como primera etapa de un estudio anual que contempla las estaciones críticas del año.

METODOLOGÍA

SELECCIÓN DE CASOS DE ANÁLISIS

Dentro de la trama de la ciudad, se identificaron dos recintos urbanos que presentan distintas permeabilidades a la luz solar. Los mismos se ubican en un canal vial urbano (CVU) de alta densidad edilicia. Se trata de la Peatonal Sarmiento, ubicada en el microcentro de la ciudad de Mendoza, y se define en un eje de orientación Este-Oeste, de 30 m de ancho. Su configuración espacial de fachadas está constituida por edificios de entre 3 a 9 niveles, con perfiles heterogéneos en alturas (Figura 2). La especie forestal existente es *Morus alba* "morera", del tipo caducifolia, cuyos índices de transmisividad corresponden a 31,4% para el verano y 66,4% para el invierno (Cantón, Cortegoso y De Rosa, 1994). Resultan ejemplares adultos de segunda magnitud que alcanzan alturas de 12 metros. La distancia de plantación varía entre 5,50 y 6,30 m. El estado vegetativo es de bueno a regular y los forestales no alcanzan a consolidar túnel arbóreo.

El primer caso, denominado **caso de estudio CV**, corresponde al sector circunscripto en el centro de la calle, que presenta un perfil urbano más cerrado, conformado por el sistema de fachadas, calzada y arboleda, además del mobiliario urbano.

El segundo sector, **caso de estudio CC**, se localiza en el cruce de calles, y posee una configuración espacial mucho más abierta, ya que se sitúa en la intersección de calles de las manzanas, donde disminuye el grado de enmascaramiento de la edilicia y la arboleda.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LUZ DIURNA: ASPECTOS CUANTITATIVOS

Para iniciar el estudio del comportamiento de luz diurna, se realizaron mediciones de parámetros climáticos de radiación

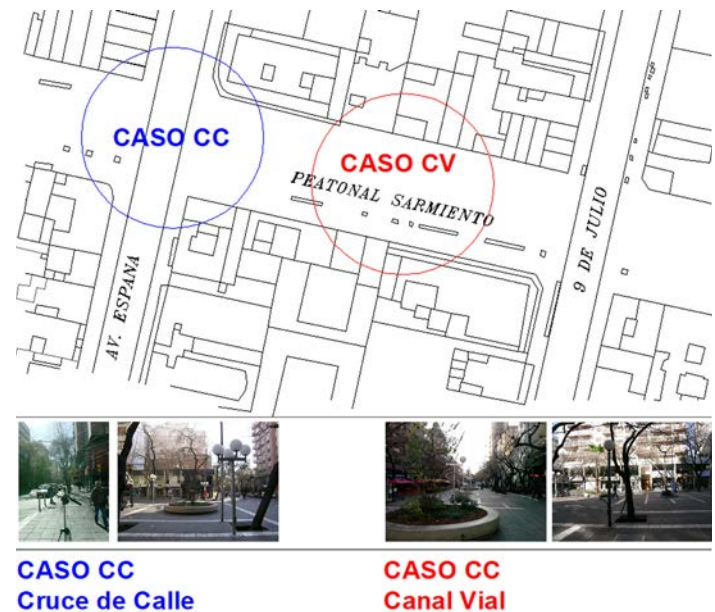


Figura 2: Planimetría del CVU Peatonal Sarmiento.
Fuente: Elaboración de las autoras.

solar y luz natural, durante una jornada completa (de 9 a 18 h), correspondiente al día 22 de julio, con cielo despejado en condición invernal. Los datos climatológicos fueron monitoreados con registros cada 5 minutos, lo que permitió conformar una base de información muy significativa. En este análisis, se obtienen datos del clima local (datos globales de la región), para ser cotejados con los monitoreados en cada caso de estudio (*in situ*) de manera simultánea.

Mediciones de parámetros lumínicos globales, sobre punto base exterior.

Se obtuvieron datos de Radiación Horizontal Global (IR-glo) y Radiación Horizontal Difusa (IR-dif). Como parámetros representativos de las condiciones de luz natural, se consideraron la Iluminancia Horizontal Global (EH-glo) y la Iluminancia Horizontal Difusa (EH-dif). Los mismos fueron obtenidos de la Estación de Mediciones de Iluminación Natural CCT Mendoza, incorporada a la red mundial de la CIE (Comisión Internacional d' Eclairage). Se trata de datos recolectados de manera continua en un punto base sin obstrucción (Figura 3a).

Medición de parámetros lumínicos *in situ* para los casos de estudio.

Las mediciones *in situ* se establecieron según protocolo de mediciones (Córca y Pattini, 2005). Para la toma de datos de radiación solar, se utilizaron dos estaciones meteorológicas móviles marca HOB0®, modelo H21-001, equipadas cada una con un piranómetro de silicón S-LIB-M003, localizados a 1,50 m de altura (Figura 3b). El rango operativo se encuentra entre -20 y +50°C. Las iluminancias fueron relevadas con fotómetros LI-210SA Licor 21, sistema combinado UTA / HOB0 U12-013 como data-logger.

RESPUESTAS DE LOS USUARIOS A LAS CONDICIONANTES LUMÍNICAS DE LOS ESPACIOS: ASPECTOS CUALITATIVOS.

Con el fin de relacionar las sensaciones de los usuarios con las características físicas del campo luminoso, se hicieron preguntas específicas a las personas en los espacios abiertos. Como parámetros representativos para su evaluación lumínica, se registraron mapeos de luminancias que contienen información de los ambientes visuales en términos de reflectividad incidente en el campo visual, además del registro de luz proveniente del entorno construido, en este caso la iluminancia cilíndrica.

Las evaluaciones subjetivas se procesaron estadísticamente mediante la técnica de Diferencial Semántico. El método constituye una escala de clasificación que mide el significado subjetivo que los estímulos provocan en los sujetos. Contiene dos elementos fundamentales: conceptos y escalas bipolares.

Las preguntas fueron incluidas en un cuestionario donde se consultaron aspectos relacionados al confort visual tales como *preferencia de cantidad de sol*; *nivel de luz en el espacio*; *sensibilidad al deslumbramiento: nivel de tolerancia* y *superficie de procedencia de los brillos o reflejos molestos*, entre otros.

Las encuestas se efectuaron de manera personalizada a lo largo de la jornada y se tuvo en cuenta el horario de las entrevistas para el entrecruzamiento de las variables y la correlación con las mediciones objetivas. En el caso de estudio CC se obtuvo un total de 195 N, mientras que en CV, 198 N.

Los mapeos de luminancias se confeccionaron a partir de fotografías de Amplio Rango Dinámico (HDRI) (Inanici y Galvin, 2004). Las imágenes se tomaron cada 1 hora con cámara Nikon Coolpix 5400 y lente Nikon FC-E9 y fueron procesadas por medio del software Photosphere-MAC OS. Este software combina todas las imágenes de bajo rango dinámico (LDR) en una de alto rango, correspondiendo cada pixel a un valor fotométrico de luminancia. La calibración de las imágenes se obtiene con luminancias de control a través de Luminancímetro Minolta LS 110.

La iluminancia horizontal no considera la luz reflejada del entorno construido, en especial las provenientes de las fachadas que afectan una gran parte del campo visual de los usuarios (Compagnon, 2000). La magnitud que incide en los ojos de las personas como principales receptores verticales está dada por la iluminancia cilíndrica (E_{cyl}), que incluye la cantidad de luz vertical proveniente de todas las direcciones. Por lo tanto, está relacionada a las sensaciones de los usuarios con respecto a las características del entorno lumínico (Compagnon y Goyette-Pernot, 2003; Rombauts, Vandewyngaerde y Maggetto 1989; Gutorov, 1963). De ese modo, se utilizó un Luxímetro marca LMT con cabezal para la medición de iluminancia cilíndrica, el cual fue ubicado a la altura del observador, de 1,50 m (Figura 3c).



(a)



(b)



(c)

Tabla 3: (a) Estación de mediciones CCT- Mendoza. (b) Disposición de equipamiento in situ. (c) Cabezal y sensor de iluminancia cilíndrica. Fuente: Elaboración de las autoras.

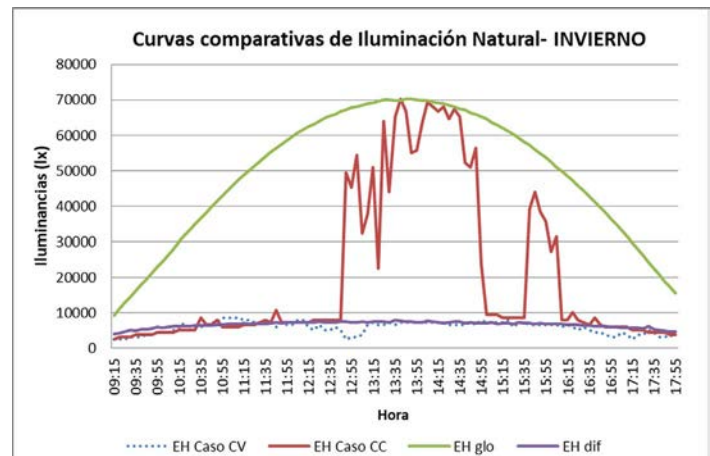
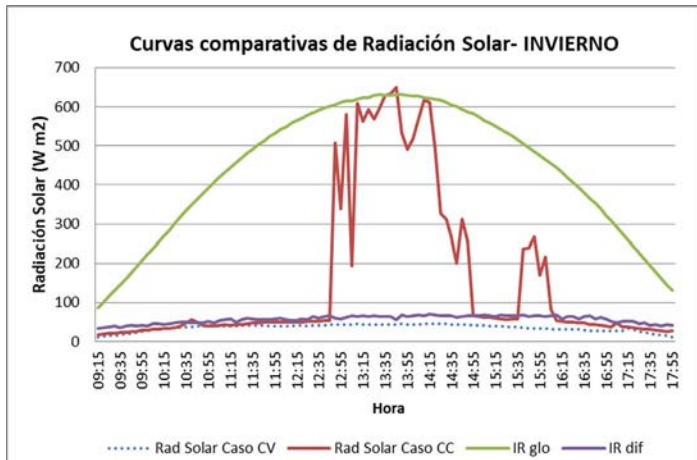


Figura 4: Valores de radiación solar para la jornada de medición. Fuente: Elaboración de las autoras.

Figura 6: Valores de iluminancias para la jornada de medición. Fuente: Elaboración de las autoras.

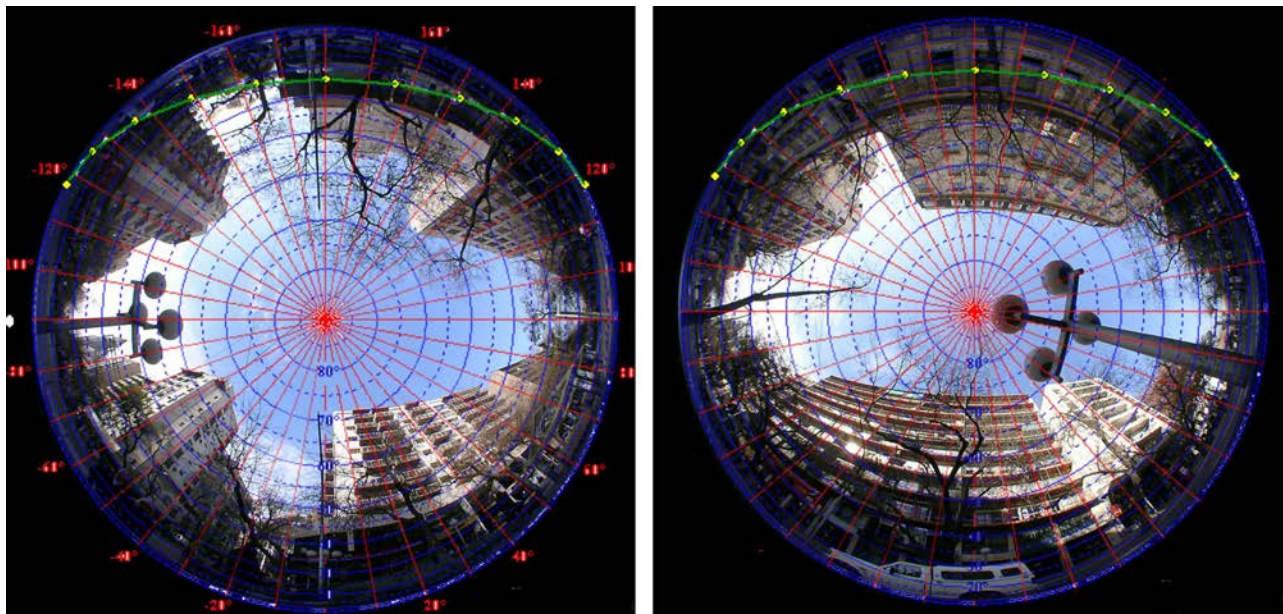


Figura 5: Trayectorias solares de invierno. Caso CV (derecha) y CC (izquierda). Fuente: Elaboración de las autoras.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

ASPECTOS CUANTITATIVOS

El gráfico de la Figura 4 expone de manera comparativa la radiación global recibida (directa y difusa) en la Estación de Mediciones, así como también la correspondiente a los escenarios monitoreados. Las particularidades arquitectónicas del centro del cañón (CV), de un perfil urbano cerrado (fachadas-calle), determinan que la radiación solar se mantenga estable y con niveles muy bajos durante toda la jornada. Mientras que CC registra comportamientos similares al anterior, hasta las 13h donde se da un incremento con picos que incluso superan levemente la radiación global.

Esto se explica por el efecto conjunto del mediodía solar, los vacíos edilicios y el aporte de radiación reflejada por las fachadas de los edificios. En las horas de la tarde (a partir de las 16h), la situación vuelve a presentar niveles mínimos.

Las curvas obtenidas demuestran que los ambientes urbanos presentan notables diferencias en relación al espacio no urbano. Esta situación evidencia que los comportamientos en el medio construido se ven condicionados por la relación volumétrica de la edificación-dinámica diaria de la rotación solar (Figura 5). Es fundamental aclarar que en esta estación del año la especie arbórea no se muestra como variable significativa en las distribuciones de radiación solar y, consecuentemente, tampoco en la iluminación natural de los espacios urbanos abiertos, por la pérdida de follaje.

En la Figura 6 se cotejan las curvas obtenidas para el análisis de iluminación natural. Las distribuciones lumínicas globales tomadas en el espacio exterior, exponen un comportamiento normal con rangos de iluminancias máximas alcanzadas al mediodía solar de 70240 lx de EH glo y 7900 lx EH dif.

Para CV, las iluminancias representan valores muy bajos y uniformes todo el día (EH media: 5800 lx; EH máx.: 8600 lx). El espacio recibe principalmente el aporte de luz difusa. Este efecto se define a partir de que los edificios de la fachada norte actúan como un bloque que obstruye la incidencia de luz solar ante los ángulos solares bajos característicos de esta época del año. La condición lumínica predominante para un día de invierno es de sombra, estableciendo un recinto oscuro y con rangos críticos en las distribuciones lumínicas que incluso afectan no sólo las condiciones visuales sino también térmicas del sector (Córca, 2010).

El Caso CC, ubicado en el cruce de calle, supone mayor amplitud edilicia, lo que mejora los niveles de iluminancias provenientes de todas las componentes, pero fundamentalmente de luz directa, en varias horas del día. Las curvas muestran claramente escenarios de sombra en los períodos de mañana y tarde. Mientras que al mediodía se da una penetración de luz directa que alcanza valores de 70000 lx.

Puede detectarse que los rangos en los espacios urbanos muestran un progresivo incremento comparados con las disponibilidades de luz difusa global obtenida en la estación. Esto surge como resultado del aporte de luz reflejada proveniente de las superficies verticales orientadas al Norte, de forma tal que dichos rangos en algunas horas del día pueden superar 2000 lx. Los ángulos de incidencia de la componente directa de la radiación visible sobre las superficies captoras tienden a incrementar los niveles de iluminancias. Si bien el acceso al sol se encuentra restringido en el recinto, los aportes de luz reflejada por las fachadas constituyen una verdadera fuente complementaria de iluminación natural.

ASPECTOS CUALITATIVOS: CONFORT VISUAL.

Mapeos de luminancias

La variación de las reflectancias de los acabados es un factor importante que afecta no sólo la calidad lumínica de los espacios, sino también el confort visual de los usuarios. Las propiedades reflectivas de los materiales como vidrios, superficies metálicas o revestimientos claros, pueden causar efectos de deslumbramiento en las personas (Brotas y Wienold, 2014). La CIE define como deslumbramiento a la condición de la visión en la que hay incomodidad o una reducción en la capacidad de ver detalles u objetos, causados por una distribución inadecuada o por contrastes extremos. En tareas al aire libre, los brillos o reflejos que se registran en el sistema visual determinan deslumbramiento discapacitante o perturbador y, por consiguiente, el deterioro de la visión,

lo que puede causar accidentes (CIE, 2002). En muchas ocasiones, el deslumbramiento está dado por la luz solar reflejada o incluso proveniente desde la fuente directa del sol (Brotas y Wilson, 2002).

Generalmente, la distribución de luminancias espaciales de un ambiente visual no es uniforme. Por lo que los mapeos de luminancias arrojan información necesaria para evaluar contrastes, impactos y cambios temporales y espaciales, según las intensidades lumínicas.

Las imágenes de la Figura 7 muestran el escenario real y su correspondiente mapeo de luminancias para distintas horas del día, con escala de distribuciones mínimas y máximas representadas en cd/m^2 . El escenario CV presenta un ambiente uniforme sin grandes variaciones, donde predomina la condición de sombra sobre la superficie horizontal, consecuencia de la obstrucción edilicia (promedio: $30 \text{ cd}/\text{m}^2$), con mejoras en horas cercanas al mediodía solar.

Dadas las dimensiones del cañón, cuyas proporciones son similares en la relación ancho-alto, pueden observarse altas luminancias en los niveles superiores de las fachadas captoras. Los colores de los acabados y presencia de aventanamientos, generan situaciones de contrastes en algunos momentos del día.

En el caso del Cruce de calle (Figura 8), el escenario lumínico cambia drásticamente. En horas de la mañana, los edificios en altura se muestran como superficies reflectantes, en contraste con rangos muy bajos provenientes del piso. A partir del mediodía, las personas se ven expuestas a la fuente directa del sol durante muchas horas, efecto que supone deslumbramientos en el campo visual. Pero, a la vez, se suma la contribución de luminancias provenientes del suelo por efecto de luz reflejada, las cuales aparecen de gran importancia (valores cercanos a los $9000 \text{ cd}/\text{m}^2$).

Los casos expuestos demuestran que, en el espacio urbano, las distribuciones superficiales no son homogéneas, debido a los cambios espaciales y temporales. Y arrojan una gran complejidad de ambientes de contrastes lumínicos a los que se exponen las personas a la hora de transitar o permanecer en el espacio público.

Niveles de iluminancia cilíndrica.

Las curvas de E_{cyl}, obtenidas en las Figura 9, confirman los escenarios visualizados en ambos casos. A mayor visión de cielo definida por el cruce de calles se da una variación de niveles, fundamentalmente en la franja horaria del mediodía y tarde. Esto se produce como efecto de la temporalidad de la luz solar y el ingreso de la componente directa de la iluminación natural y la proyección de sombras causada por los perfiles construidos.

La Tabla 1 expone datos estadísticos descriptivos de E_{cyl} para cada uno de los casos. Los valores corroboran de manera clara que la condición del centro de CVU presenta

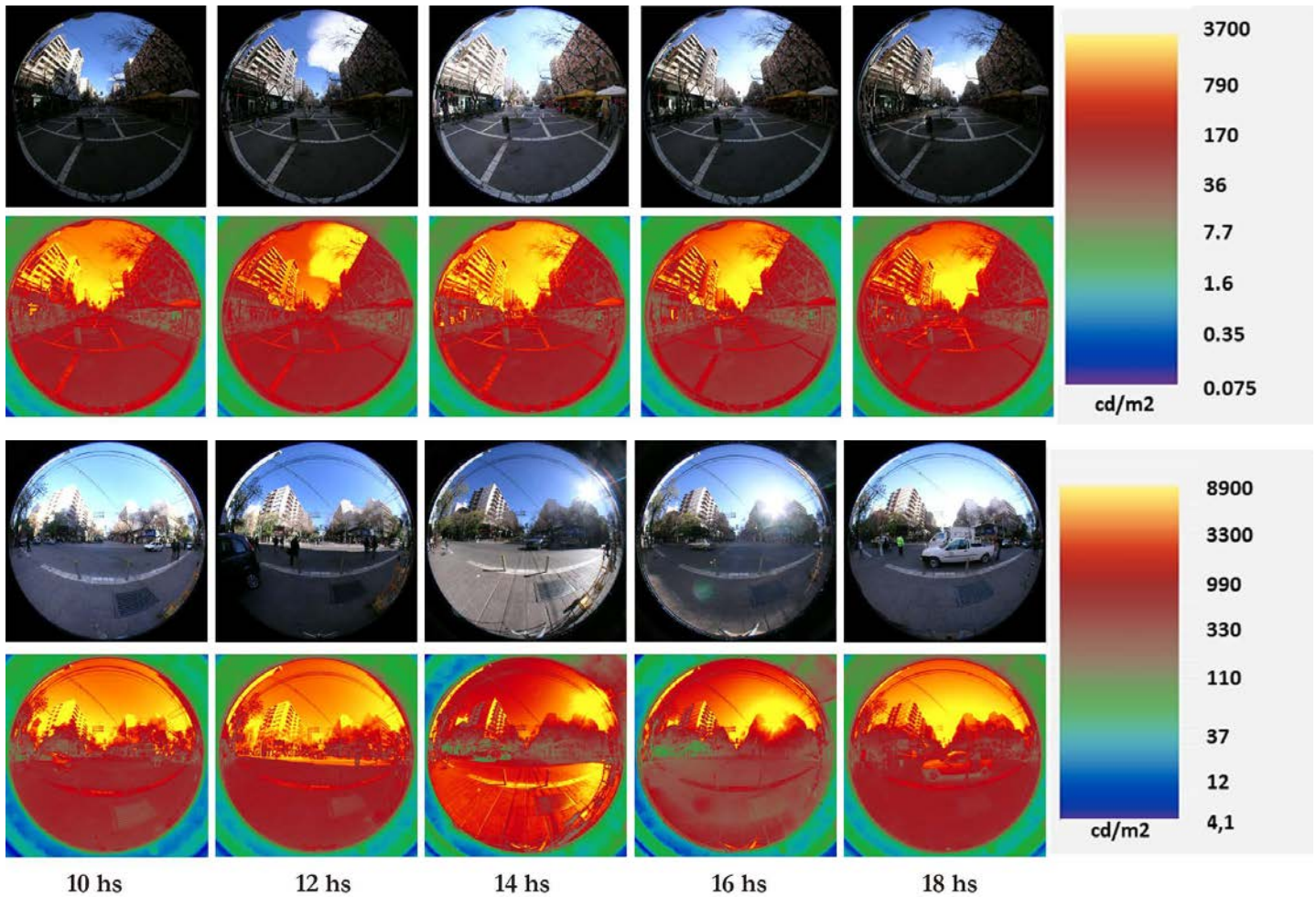


Figura 7. Imágenes HDR y mapeos de luminancias- Caso CV. Fuente: Elaboración de las autoras.
 Figura 8. Imágenes HDR y mapeos de luminancias- Caso CV. Fuente: Elaboración de las autoras.

rangos muy bajos en cuanto a disponibilidad lumínica exterior. Mientras que, para el entorno de cruce de calle, la máxima registrada supera los 26000 lx, con una mayor variabilidad en los rangos de iluminancia.

Tanto los mapeos de luminancias como los valores de iluminancias logrados, fundamentan la diferencia de rangos propicios para cotejar los valores con la percepción de los usuarios en los mismos.

Sensación de cantidad de sol.

Como parte de la información básica a conocer dentro del estudio, se consultó a los usuarios su opinión sobre la cantidad de sol disponible en el espacio.

Para el centro del cañón (CV), el 52% de las personas consultadas, consideran que las cantidades de sol son adecuadas y “están bien”, el 48% restante preferiría mayor cantidad o presencia de sol.

De las personas testeadas en el cruce de calle (CC), el 64% determinaron que la cantidad de sol “está bien”, el 35%

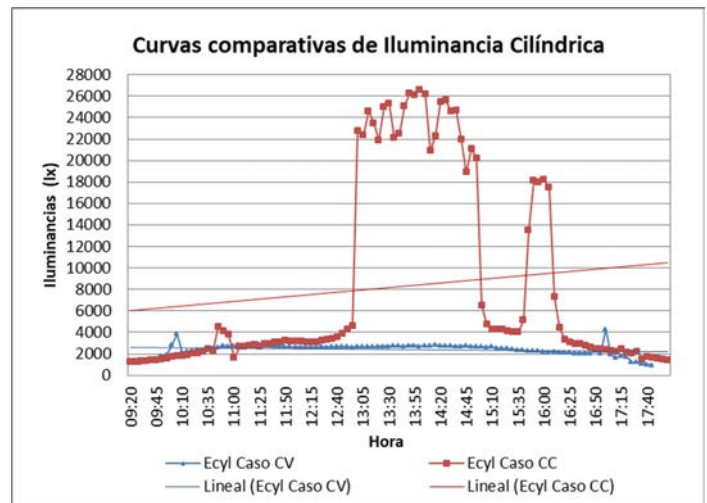


Figura 9. Registro comparativo de iluminancias. Fuente: Elaboración de las autoras.

| | N | Mínimo | Máximo | Media | Desviación típica |
|---------|-----|--------|--------|---------|-------------------|
| Caso CC | 195 | 1261 | 26600 | 9254,01 | 9392,314 |
| Caso CV | 198 | 945 | 4283 | 2433,98 | 494,344 |

Tabla 1: Estadísticos descriptivos de iluminancia cilíndrica para cada caso de estudio (lx).
 Fuente: Elaboración de las autoras.



Figura 10. Voto de sensación de luz natural (a) en el caso CV y (b) en el caso CC. Fuente: Elaboración de las autoras.

preferiría más sol y sólo el 1% restante, preferiría menos sol, teniendo en cuenta que este caso representa horas de la componente directa incidente sobre el campo visual.

PERCEPCIÓN DE LA LUZ NATURAL.

Los resultados preliminares obtenidos sobre la sensación luminosa de los espacios exteriores bajo la incidencia de diferentes condiciones de la luz natural, han determinado que las opiniones de los encuestados son similares, a pesar del hecho de que los contextos lumínicos sean adversos.

En líneas generales (Figura 10), existe un predominio de opiniones correspondientes a niveles "suficiente" y "óptimo". Las barras correspondientes al caso CV (Figura 8a) demuestran que, más allá de la presencia de bajos niveles de iluminancias, existe un predominio de opiniones correspondientes a niveles "suficientes" (52% del total de la muestra) y "óptimos" (32%). Se registran muy pocos votos como "insuficientes" (5%) o "apenas suficientes" (14%). Los mismos se manifiestan principalmente en los rangos de iluminación natural más bajos, correspondientes a 2000 y 4000 lx.

En el caso CV (Figura 10a), 49% de las personas encuestadas perciben que el ambiente presenta una cantidad de luz natural "suficiente" y 30%, "óptima".

Si bien en el caso CC (Figura 10b) aparece un mayor nivel y dispersión de iluminancias, las opiniones no presentan gran variabilidad. Existe una tendencia alta de opiniones

en condiciones suficientes y óptimas (84% entre ambas). Esto permite presumir que existe una adaptación visual de las personas al clima luminoso, es decir, que los sujetos se encuentran habituados a los elevados rangos globales de la región, o bien, la posibilidad de que los usuarios prefieran la sensación de sol desde el punto de vista de confort térmico (las temperaturas mínimas son del orden de los 6,3° C, mientras que las máximas 16,0 °C). Una de las razones puede ser que las personas priorizan la presencia de sol, teniendo en cuenta las bajas temperaturas registradas en la fecha de monitoreo, más allá de las molestias por desconfort a partir de deslumbramientos.

Percepción de reflejos y fuentes de deslumbramiento.

En cuanto al procesamiento estadístico para la sensibilidad de las personas a deslumbramientos, se ha propuesto una división de los distintos niveles de luminancia de cada caso, teniendo en cuenta los percentiles 33, 66 y 100.

En el caso CV, casi la totalidad de la muestra no percibe molestias por deslumbramientos (Figura 11a), respuesta consecuente con los bajos rangos lumínicos que presenta el entorno urbano. La minoría que manifestó molestias, distinguió que los mismos estaban generados por luz reflejada proveniente de la edilicia, puntualmente de las superficies vidriadas en la fachada con exposición al Norte, como lo expresa la Figura 11b.

En este punto cabe aclarar que el 93% de las personas encuestadas no presentaban ningún tipo de protección solar como lentes de sol o gorras y que, dada la presencia

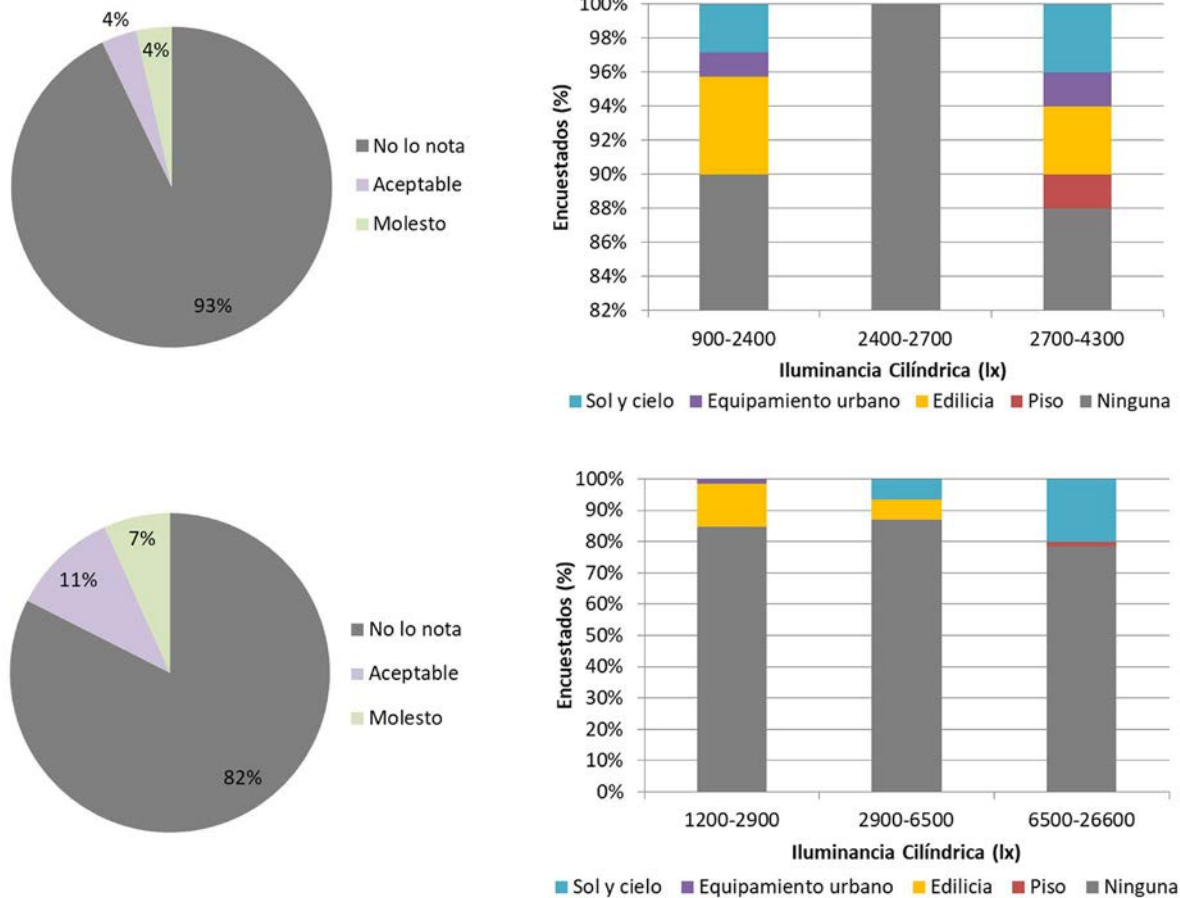


Figura 11. Percepción de deslumbramiento y de reflejos provenientes del entorno. Caso CV. Fuente: Elaboración de las autoras.
 Figura 12. Percepción de deslumbramiento y de reflejos provenientes del entorno. Caso CC. Fuente: Elaboración de las autoras.

de sombras tampoco se manifestaron gestos o movimientos para apantallar sus ojos del exceso de luz (por ejemplo, disposición de las manos sobre los ojos, girar o doblar la cabeza, parpadeos).

En el espacio con mayor exposición al sol (CC), el 82% no percibe sensación de deslumbramiento (Figura 12a). Y en este punto, sorprende ver que, aunque los sujetos se encuentran bajo la incidencia de luz directa en el campo visual, no perciben sensación de deslumbramiento, incluso cuando prevalecen niveles de iluminancia cilíndrica superiores a los 20000 lx. Esto confirma nuevamente la capacidad de adaptación de las personas al clima luminoso regional. El resto de los usuarios se divide entre percepciones aceptables y molestas, y la distribución de las barras (Figura 12b) establece que la causa más frecuente de deslumbramientos parece ser la proveniente del sol y cielo (hasta 20%).

En este caso, la proporción de personas que presenta elementos de protección del sol y que manifiesta gestos para apantallar sus ojos es superior al caso CV (13 y 9%, respectivamente). Este porcentaje sigue siendo bajo si se considera los altos niveles de iluminancia.

CONCLUSIONES

El trabajo presentado muestra resultados precisos de un estudio integral de luz solar y del confort visual en espacios abiertos de entornos urbanos típicos de la alta densidad edilicia, correspondiente a la estación invernal. El estudio permite analizar de qué manera se correlacionan parámetros subjetivos de las personas, en términos de preferencias, con aspectos físicos o cuantitativos según las diferentes componentes de la iluminación natural.

Por un lado, el análisis cuantitativo arrojó que los comportamientos lumínicos responden claramente a las configuraciones espaciales de la volumetría edilicia y a su vinculación con el clima local. En climas áridos, se comprueba una vez más que la radiación solar resulta determinante del comportamiento lumínico. Asimismo, se valora especialmente la volumetría como factor clave que condiciona la radiación incidente.

Desde el punto de vista lumínico, se ha determinado que, en cañones urbanos de alta densidad edilicia, existe una condición de sombra establecida resultante de la

componente de luz difusa (obstrucción de la edilicia). Mientras que, en configuraciones más abiertas, como cruces de calles, las condiciones son variables debido a contrastes de luz directa y difusa.

Los mapeos de luminancias muestran que las distribuciones lumínicas superficiales obtenidas no son homogéneas. Ello plantea la necesidad de medir y evaluar la distribución de luminancias no uniformes y sus cambios en el espacio y en el tiempo.

Finalmente, las opiniones resultantes de las valoraciones subjetivas, en la mayoría de las encuestas, han determinado que la cantidad de luz incidente en el campo visual muestra niveles suficientes en los espacios exteriores, más allá de las diferentes condiciones lumínicas que se puedan generar en el escenario urbano.

En cuanto a las opiniones sobre la presencia de sol, puede interpretarse que más allá de las diferencias lumínicas de los espacios, los sujetos se encuentran habituados al clima luminoso de la región, a las diferentes condicionantes que genera la morfología urbana y, consecuentemente, a la diversidad de contrastes que puede arrojar en el espacio urbano. En ese sentido, se puede corroborar que existe un efecto de adaptación del sistema visual de las personas a las particularidades de los climas luminosos de cada región, como se ha demostrado en estudios de confort visual en espacios exteriores de otras localizaciones, como Fribourg (Suiza), desarrollados por otros autores (Goyette y Compagnon, 2004).

A futuro, se propone continuar trabajando en el procesamiento de datos, esta vez correspondientes a la condición estival, y de esa forma poder constituir un abordaje integral del confort visual. Además, se planea llevar a cabo la interpolación de los aspectos lumínicos con los térmicos, de manera de generar pautas y guías en propuestas de diseño urbano.

AGRADECIMENTOS

Las autoras agradecen la colaboración de la Ing. Agr. Claudia Martínez; Arqs. Noelia Alchapar, Victoria Mercado; Ing. Érica Correa; y los D.I. Ayelén Villalba, Juan Manuel Monteoliva y Andrea Pattini que posibilitaron el trabajo de encuestas y recogida de datos.

Cabe aclarar que el presente trabajo se desarrolló gracias a los recursos financiados por la AGENCIA NACIONAL DE PROMOCIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, en los proyectos: PICT 2006-2415 y PICT 2010 N° 2475.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROTAS, Luisa y WILSON, Michael. Reflected sunlight in urban canyons. Towards a new approach. En: *EPIC 2002 AIVC Energy Efficient & Healthy Buildings in Sustainable Cities – The 3rd European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings*. Lyon, France: Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC), 2002, pp. 703-708.

BROTAS, Luisa y WIENOLD, Jan. Solar reflected glare affecting visual performance. En: *Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a Changing World*. Cumberland Lodge, Windsor Park, UK, London, 2014, Volume: In proceedings, pp. 688-693.

CANTÓN, María Alicia; CORTEGOSO, José Luis y DE ROSA, Carlos. Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings*, 1994, n° 20, pp. 219-230.

COMISIÓN INTERNACIONAL D' ECLAIRAGE (CIE). Collection on Glare 2002: Equation for disability glare, 146 CIE C 1-50 report and Glare from small, large and complex sources, 147 CIE TC 3-01 report Commission Internationale de Léclairage.

COMPAGNON, Raphaël. *Solar and Daylight availability in urban areas*. PRECis project Final Technical Report, Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg, 2000.

COMPAGNON, Raphaël. Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings*, 2004, n°36, pp. 321-328.

COMPAGNON, Raphaël y GOYETTE-PERNOT, Joëlle. Visual comfort in urban spaces. En: ROGORA, Alessandro y DESSI, Valentina. *Il comfort visivo negli spazi urbani*. Monfalcone (Gorizia): EdicomEdizioni, 2003, pp. 63-73. CÓRICA, Lorena. *Comportamiento de la luz natural en entornos urbanos representativos del modelo oasis en regiones áridas. Caso de estudio: ciudad de Mendoza*. Tesis doctoral. Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión Herberto Büller. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán, 2010.

CÓRICA, Lorena y PATTINI Andrea. Protocolo de mediciones de iluminación natural en recintos urbanos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2005, vol. 3, n° 2, pp. 05.85-05.90.

FONTOYNONT, Marc; TSANGRASSOULIS, Aris y SYNNEFA, Afroditi. *Daylighting*. In: *SynthLight Handbook*. Bruselas: European Comision, 2004.

GAITANI, Niki; MIHALAKAKOU, G., y SANTAMOURIS, Mattheos. On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces. *Building and Environment*, 2007, n°42, pp. 317-324.

GOYETTE, Joëlle y COMPAGNON, Raphaël. RUROS - Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces Project: two case studies in Fribourg, Switzerland. En: *ICUC-5 Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz, Poland, 2004.

GUTOROV, Mikhail. Srednjaja cilindreskaja osvetsesnost (Die mittlere zylindrische Beleuchtungsstärke), *Svetotekhnika* 9, 1963, n° 10, pp. 10-13.

GUZOWSKI, Mary. *Daylightin for sustainable design*. New York: McGraw Hill, 2001.

INANICI, Mehlika y GALVIN, Jim. *Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique*. LBNL Report n° 57545, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.

ROMBAUTS, Patrick; VANDEWYNGAERDE, Hans y MAGGETTO, Gaston. Minimum Semicylindrical Illuminance and Modelling in Residential Area Lighting. *Lighting Research and Technology*, 1989, vol. 21, n° 2, p. 49-55.

TREGENZA, Peter. Mean daylight illuminance in rooms facing sunlit streets. *Building and Environment*, 1995, vol. 30, n° 1, pp. 83- 89.

TSANGRASSOULIS, Aris; SANTAMOURIS, Mattheos; GEROS, Vasilis; WILSON, Michael y ASIMAKOPOULOS, Dimosthenis. A method to investigate the potential of south-oriented vertical surfaces for reflecting daylight onto oppositely facing vertical surfaces under sunny conditions. *Solar Energy*, 1995, vol. 66, n°6, pp. 439-446.

TUMINI, Irina. *El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura-Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España, 2012.